# PROCEEDINGS

## The 4th NSRU Conference on Science and Technology

SCITECNSRU

**รายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ**
**ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**
**มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**
**ครั้งที่ 4**

**27 สิงหาคม พ.ศ. 2568**
**คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**

# รายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ 4

## The Proceedings of the 4th NSRU Conference on Science and Technology

**วันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2568**

**นำเสนอผ่านระบบออนไลน์**

จัดโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

# สารจากประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ 4

การประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จัดโดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ซึ่งดำเนินการภายใต้กิจกรรมสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติส่วนภูมิภาคและได้ดำเนินการต่อเนื่องทุกปีจนถึงครั้งที่ 4 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างเครือข่ายแลกเปลี่ยนองค์ความรู้จากการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเปิดโอกาสในการฝึกประสบการณ์การทำวิจัยและการนำเสนอผลงานวิจัยของนิสิต นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและอุดมศึกษา รวมถึงคณาจารย์และนักวิจัย งานประชุมวิชาการเปิดรับบทความวิจัยทั้งแบบฉบับเต็ม (Full Paper) ความยาว 8-10 หน้า และแบบเฉพาะบทคัดย่อ (Abstract) โดยขอบเขตหัวข้อของบทความวิจัยครอบคลุม 5 กลุ่ม ได้แก่:

กลุ่มบทความที่ 1 วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป)
กลุ่มบทความที่ 2 คณิตศาสตร์ สถิติ วิทยาการข้อมูล และการสอนคณิตศาสตร์
กลุ่มบทความที่ 3 วิทยาศาสตร์สุขภาพ อาหาร และสิ่งแวดล้อม
กลุ่มบทความที่ 4 การสอนวิทยาศาสตร์
กลุ่มบทความที่ 5 คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีมัลติมีเดีย

บทความวิจัยแต่ละเรื่องจะได้รับการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยอย่างน้อย 3 ท่านจากหลากหลายสถาบัน และประเมินบทความตามเกณฑ์และแบบฟอร์มที่กำหนดแบบ Double-Blind Peer Review (ปกปิดทั้งชื่อผู้ประเมินและผู้เขียนบทความ) หลังจากผู้เขียนดำเนินการปรับแก้ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิให้ข้อเสนอแนะครบถ้วนแล้ว ผู้เขียนอย่างน้อย 1 ท่านต่อบทความวิจัยต้องเข้าร่วมการนำเสนอแบบปากเปล่า (Oral Presentation) ผ่านระบบออนไลน์ด้วยการนำเสนอสดและไม่อนุญาตให้ใช้การเปิดวิดีโอการนำเสนอที่บันทึกไว้ล่วงหน้า ในห้องนำเสนอของแต่ละกลุ่มบทความจะประกอบไปด้วยผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้องนำเสนอบทความอย่างน้อย 3 ท่านจากหลากหลายสถาบัน ร่วมเป็นผู้พิจารณาการนำเสนอและให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม บทความวิจัยที่ผ่านการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิฯ และได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการครบถ้วนแล้วจึงจะได้รับการตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ (Conference Proceedings) ฉบับนี้

ในนามของคณะกรรมการจัดงาน ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ นักวิจัย และนักศึกษาทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการจัดและเข้าร่วมประชุมวิชาการครั้งนี้ รวมถึงทุกภาคส่วนที่ให้การสนับสนุนจนทำให้งานประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

(อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ 4

# ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย และผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้องนำเสนอบทความวิจัย

| | |
|---|---|
| อาจารย์ธนัชชา กุญแจทอง | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ผศ.ดร.ศุภัตรา ประทุมชาติ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| ผศ.ดร.เอกชัย หลายศิริกุล | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| อาจารย์ ดร.รัศมี จันทร์กวีกูล | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| อาจารย์ ดร.สุจิตตรา สาระคนธ์ | มหาวิทยาลัยพะเยา |
| อาจารย์ ดร.จันทนี ธีรเวชเจริญชัย | มหาวิทยาลัยรามคำแหง |
| อาจารย์ ดร.ณัฐนนท์ พลชัย | มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| อาจารย์สุริยงค์ ประชาเขียว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย |
| ผศ.ดร.ปกรณ์ จันทร์อินทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน |
| อาจารย์สุภัตรา สิริสถิรสุนทร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก |
| อาจารย์วันชนะ จูบรรจง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก |
| อาจารย์ ดร.นิภาพร ช่วยธานี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง |
| ดร.อนงค์นาฎ ครุณรัมย์ | โรงเรียนเมืองตลุงพิทยาสรรพ์ |
| ผศ.ดร.ภัทรมน กล้าอาษา | มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม |
| ผศ.ดร.ภาวิณี เทียมดี | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| อาจารย์ดวงกมล แสงธีรกิจ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม |
| ผศ.ดร.พงษ์พันธ์ จุลทา | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม |
| อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม |
| ผศ.ดร.อาทิตย์ หู้เต็ม | มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ |
| ผศ.ดร.นลินี เอี่ยมสะอาด | มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ |
| อาจารย์ ดร.เทวิกา เบ็ญจวรรณ | มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ |
| อาจารย์ภควรรณ คงจันตรี | มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ |
| ผศ.ดร.พิศิษฐ์ นาคใจ | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |
| ผศ.ดร.สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |
| รศ.ดร.ชลดา เดชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |

| | |
|---|---|
| รศ.ดร.ทินพันธุ์ เนตรแพ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| รศ.ดร.นันทวุฒิ นิยมวงษ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| รศ.ดร.อรสา เตติวัฒน์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.กันยา อนุกูลธนากร | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.จีรพรรณ เทียนทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ฉัตริยะ ศิริสัมพันธ์วงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ชนิตา ขนันทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ชยันต์ นันทวงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ทะเนตร อุฤทธิ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ธนัชพร ศรีนพคุณ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ธิติมา วทานียเวช | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ธีระยุทธ เตียนธนา | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.เรณู อยู่เจริญ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.วัญเพ็ญ คงเพ็ชร | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.สาวิตรี ซัคลี่ย์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ดร.อภิชาติ บุญมาลัย | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ณัฐภัทร ศิริคง | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ถิรายุ ปิ่นทอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ปฏิวิชช์ สาระพิน | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ปริญญารัตน์ จินโต | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.พันธ์ระวี หมวดศรี | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.มณีรัตน์ น้ำจันทร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.ยุภาวดี สำราญฤทธิ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| ผศ.วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| อาจารย์ ดร.ดุษฎี คำบุญเรือง | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| อาจารย์ ดร.ปนัดดา สิทธิเขตรกรณ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| อาจารย์ ดร.พีรพัฒน์ คำเกิด | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |

อาจารย์กฤษณะ ขุมเพ็ชร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
อาจารย์พรรนิพา พวันนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
อาจารย์รังสิตา จันทร์หอม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

**KEYNOTE SPEAKER**

**“Empowering Local Enterprises Through IoT and Appropriate Technology”**

**เสริมพลังธุรกิจท้องถิ่น ด้วย IoT และเทคโนโลยีที่เหมาะสม**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชาติ บัวชุม**
รองผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยและพัฒนา
อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

**ประวัติการศึกษา**

- ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

**ความเชี่ยวชาญและงานที่สนใจ**

- การวิเคราะห์ข้อมูลออนไลน์-ข้อมูลอนุกรมเวลาและการพยากรณ์
- ระบบอัจฉริยะทางด้านการจัดการฟาร์มด้านพลังงาน และด้านสิ่งแวดล้อม
- การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์-การเรียนรู้ของเครื่อง
- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และภูมิศาสตร์สารสนเทศ

**ประสบการณ์สอน**

- 2565 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตร วท.ม.เทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล
  บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- 2555 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตร บธ.บ.คอมพิวเตอร์ธุรกิจ-บธ.บ.ระบบสารสนเทศทางธุรกิจ
  คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- 2553 - 2555 อาจารย์ผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
  คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

- 2553 - 2555 อาจารย์พิเศษ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
- 2549 - 2553 อาจารย์ประจำหลักสูตร บธ.บ.ระบบสารสนเทศทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 2544 - 2549 อาจารย์ประจำหลักสูตร บธ.บ.คอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

**ประสบการณ์บริหาร**

- 2568 - ปัจจุบัน กรรมการสภาคณาจารย์และข้าราชการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (สมัย 2)
- 2567 - ปัจจุบัน รองผู้อำนวยการ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- 2564 - 2565 กรรมการสภาคณาจารย์และข้าราชการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (สมัย 1)
- 2564 - 2565 กรรมการสภาวิชาการ ผู้แทนคณะฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (สมัย 2)
- 2563 - 2565 ผู้ช่วยคณบดี ฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- 2562 - 2563 กรรมการสภาวิชาการ ผู้แทนคณะฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม (สมัย 1)
- 2560 - 2563 ผู้ช่วยคณบดี ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- 2559 - 2560 หัวหน้าศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

**รางวัลที่ได้รับ**

- ประกาศเกียรติคุณศิษย์เก่าดีเด่น ด้านวิชาการและนวัตกรรม ประจำปี พ.ศ. 2567 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ประกาศนียบัตร ยกย่องเชิดชูเกียรตินักวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2563 นักวิจัยด้านองค์ความรู้รับใช้สังคม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- รางวัลเหรียญเงิน (Silver Medal) ผลงาน “The IoT Model for Semi-Transparent Solar Cells for Agriculture” การประกวดผลงานนวัตกรรมและนวัตกรรมนานาชาติ ในงาน International Trade Fair Ideas-Inventions-New Products (iENA2019) ครั้งที่ 71 ณ เมืองนูเรมเบิร์ก สหพันธรัฐเยอรมนี

- รางวัล FIRI Award จาก The 1st Institute Inventors and Researchers in I.R.IRAN (FIRI) ผลงาน “The IoT Model for Semi-Transparent Solar Cells for Agriculture” การประกวดผลงานนวัตกรรมและนวัตกรรมนานาชาติ ในงาน International Trade Fair Ideas-Inventions-New Products (iENA2019) ครั้งที่ 71 ณ เมืองนูเรมเบิร์ก สหพันธรัฐเยอรมนี

**กำหนดการ**

**งานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ 4**

**(The 4th NSRU Conference on Science and Technology)**

**วันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2568**

**รูปแบบออนไลน์ โดยโปรแกรม Zoom**

| เวลา | กิจกรรม |
|---|---|
| 08.30 – 08.45 น. | ลงทะเบียน |
| 08.45 – 09.00 น. | พิธีเปิดการประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>โดย อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา<br>คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ |
| 09.00 – 10.00 น. | การบรรยายพิเศษในหัวข้อ “Empowering Local Enterprises Through IOT and Appropriate Technology: เสริมพลังธุรกิจท้องถิ่นด้วย IOT และเทคโนโลยีที่เหมาะสม”<br>โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชาติ บัวชุม<br>รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม |
| 10.00 – 12.00 น. | นำเสนอบทความวิจัย (ช่วงเช้า) |
| 12.00 – 13.00 น. | พักรับประทานอาหารกลางวัน |
| 13.00 – 16.00 น. | นำเสนอบทความวิจัย (ช่วงบ่าย) |

## กลุ่มบทความที่ 1 วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป)


| | บทความวิจัย | หน้า |
|---|---|---|
| TRK1-001 | **คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมันแกวที่ปลูกนอกพื้นที่ GI จังหวัดมหาสารคาม**<br>*มัณฑนา นครเรียบ, วรัญญู แก้วดวงตา และอนัศยา ท่อนโพธิ์* | 2 |
| TRK1-002 | **ผลของแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่ผลิต Indole-3-Acetic Acid ต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา**<br>*ฐิติปวีณ์ แซ่หลี, ธัญลักษณ์ ใจป้อม และธนวุฒิ พรหมบัญชาชัย* | 4 |
| TRK1-003 | **ผลของน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส (MC) /แป้งข้าวโพด (Cst) และการตอบสนองต่อค่า pH**<br>*ปวีณ์ธิดา ปักใคหัง, ณภัทร เปรื่องการ, สาธุกานต์ กาบคำ, รัชนีวรรณ กุลจันทร์ และนพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา* | 12 |
| TRK1-004 | **การพัฒนากาวชีวภาพปราศจากบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลังกับกัวร์กัมสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูก**<br>*สาธุกานต์ กาบคำ, ปวีณ์ธิดา ปักใคหัง, พิพัฒน์ เนียมเปรม และนพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา* | 23 |
| TRK1-005 | **การเคลือบกระดาษลูกฟูกด้วยไคโตซานและกรดสเตียริกโดยเทคนิคชั้นต่อชั้นเพื่อเพิ่มสมบัติกันน้ำ**<br>*นพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา, พรหมพร สอนรอด, สาธุกานต์ กาบคำ, เกดประวีณ ฮั่นตระกูล และศิริวรรณ ตั้งแสงประทีป* | 33 |
| TRK1-006 | **การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สเตนเลสเป็นตัวรับความร้อน**<br>*ฐิติวัฒน์ กล้าหาญ, พิสุทธิ์ แท่นทอง, ปรีดา จันทวงษ์, พินธุดิฐ กลิ่นขจร และดุสิต งามรุ่งโรจน์* | 43 |
| TRK1-007 | **การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่มีความสามารถในการสร้าง Indole Acetic Acid (IAA) จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อย**<br>*ธัญลักษณ์ ใจป้อม, ฐิติปวีณ์ แซ่หลี และธนวุฒิ พรหมบัญชาชัย* | 52 |
| TRK1-009 | **การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำรับยาสมุนไพรผสมระหว่างขมิ้นชัน ว่านหางจระเข้ บัวบก และเปลือกมังคุด โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพร**<br>*ณัฐณิชา จานทอง, มุกรวีย์ มิตรสงเคราะห์, พัฒน์ศรัญย์ เลาหไพบูลย์ และอรณิชา คงวุฒิ* | 61 |
| TRK1-010 | **การพัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถะสูง**<br>*กรณิศา เกิดแก้ว, ธัญพิชชา โสแก้ว, พัฒน์ศรัญย์ เลาหไพบูลย์ และอรณิชา คงวุฒิ* | 74 |
| TRK1-012 | **การกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแผ่นลอกกราไฟต์**<br>*ชยากร หลิมเลิศรัตน์, สายัณห์ ผุดวัฒน์ และสุริยะกิจ ย่อมมี* | 88 |
| TRK1-013 | **การประยุกต์สเปกตรัมไดอิเล็กโตรฟอเรซิสในการจำแนกและแยกเซลล์ยีสต์ที่ยังมีชีวิต**<br>*ปภาวรินทร์ ศรีจันทร์, ศักย์ชิน บุญถวิล และคทา จารุวงศ์รังสี* | 98 |

| | บทความวิจัย | หน้า |
|---|---|---|
| TRK1-014 | **การใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาเป็นวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้าย** | |
| | *ธิดารัตน์ อนันตรกิตติ และสิรินารี เงินเจริญ* | 106 |
| **กลุ่มบทความที่ 2 คณิตศาสตร์ สถิติ วิทยาการข้อมูล และการสอนคณิตศาสตร์** | | |
| TRK2-001 | **การออกแบบคลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น** | |
| | *วรัชยา ย่องใย และเขมพัทธ์ พัชรวิชญ์* | 117 |
| TRK2-002 | **ลักษณะเฉพาะของความปกติในกึ่งกรุปของการแปลงบางส่วนที่รักษาอันดับและการหดตัวซึ่งตรึงค่าบนเซตย่อย** | |
| | *เนติภูมิ กสิวัฒนาวุฒิ* | 119 |
| TRK2-003 | **การทำนายการเข้าพักหอพักมหาวิทยาลัยของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ด้วยเทคนิค Ensemble learning** | |
| | *กนกวรรณ เรืองโพล้ง และภัทราพร ทวีบุญ* | 121 |
| TRK2-004 | **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการพิสูจน์ เรื่อง เส้นขนาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI** | |
| | *ดุษฎี สมใจหวัง* | 123 |
| TRK2-005 | **การพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณรายเดือนด้วยตัวแบบอารีมา** | |
| | *มนิต พลหลา, วิวิภัชกร กาญจนาภรณ์, พรพิมล สมหมาย และณิชกุล ผิวเหมาะ* | 125 |
| **กลุ่มบทความที่ 3 วิทยาศาสตร์สุขภาพ อาหาร และสิ่งแวดล้อม** | | |
| TRK3-001 | **ผลของการออกกำลังกายแบบสภาพแวดล้อมเสมือนจริงต่อสมรรถภาพหายใจในผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย** | |
| | *กรอนงค์ ยืนยงชัยวัฒน์, ชนากานต์ จิตจำนงชัย และณัฐลินี เสริมสินสายทอง* | 128 |
| TRK3-002 | **ผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ต่อลักษณะความแห้งแล้งพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน** | |
| | *อรัญญา บุนนาค, ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ และปิยพงษ์ ทองดีนอก* | 130 |
| TRK3-003 | **การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในผลิตภัณฑ์บราวนี่** | |
| | *จุฑาภรณ์ ลิ่มสุวรรณมณี และวริศรา สุขเมือง* | 140 |
| TRK3-004 | **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่จากน้ำมังคุด** | |
| | *จุฑาภรณ์ ลิ่มสุวรรณมณี และธราเทพ เอี่ยมอักษร* | 151 |
| TRK3-005 | **ความผันแปรของความชื้นในดินในพื้นที่ บริเวณสวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี** | |
| | *นฤมล บัวทอง, ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ และพัชเรศร์ ชคัตตรัยกุล* | 161 |

| | บทความวิจัย | หน้า |
|---|---|---|
| TRK3-006 | **การประเมินคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว ประเทศไทย** | |
| | *วริทธิ์ภัส วัชรชุมสุวรรณ, ภูมิพัฒน์ ภาชนะ และจักรพันธ์ นาน่วม* | 170 |
| TRK3-007 | **ผลการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวที่มีผลต่อคุณลักษณะของบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก** | |
| | *จันทิรา วงค์วิเชียร และอริสรา ไชยพลฤทธิ์* | 186 |
| TRK3-008 | **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากนมเมล็ดทุเรียน** | |
| | *อริสรา กาญจนวรรณ และสิริมา ชินสาร* | 196 |
| TRK3-009 | **การผลิตเครื่องดื่มคอมบูชาเพื่อสุขภาพจากใบหม่อน** | |
| | *ชิคีษา พูพันธ์, คิตาพร ปรางสุรางค์, ไรวินท์ ภู่ทับทิม, ญาณินท์ เพชรแก้ว และการัณย์ พรหมเทพ* | 205 |
| TRK3-010 | **ตำรับยาของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์ – อัมพาต :กรณีศึกษา จังหวัดอุบลราชธานี** | |
| | *พิชชานันท์ เธียรทองอินทร์, ปิยะพร ทรจักร์, รัชนี เวียงวิเศษ และวัฒนา ยุจำปี* | 214 |
| TRK3-011 | **การศึกษาแนวโน้มและระดับความเสี่ยงของมลพิษจากฝุ่นละอองในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี** | |
| | *ฉัตรพล พิมพา* | 225 |
| TRK3-014 | **การปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง** | |
| | *วรภาณี แสงประทีป และศนิ จิระสถิตย์* | 234 |

**กลุ่มบทความที่ 4 การสอนวิทยาศาสตร์**

| | | |
|---|---|---|
| TRK4-001 | **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องโมเมนตัมและการชน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง** | |
| | *อทิตยาภรณ์ จิตรพงษ์, ทิพย์วรรณ หงกะเชิญ และสุพิชชาพร ทองแกมแก้ว* | 245 |
| TRK4-002 | **การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** | |
| | *อังคนา จันทรประเสริฐ* | 255 |
| TRK4-003 | **การพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มสีเขียว; การออกแบบกล่องรังนก** | |
| | *กัลยวีร์ ธิติปวัตน์, ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง และพจนารถ สุวรรณรุจิ* | 265 |
| TRK4-004 | **การพัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบการฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาคของนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง** | |
| | *นำโชค วัฒนานัย และศุภประดิษฐ์ มาสงค์* | 276 |

| | บทความวิจัย | หน้า |
|---|---|---|
| TRK4-005 | **การพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำสำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม**<br>*นำโชค วัฒนานัย และเอกกมล บุญยะผลานันท์* | 287 |
| TRK4-006 | **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด – เบส วิชาเคมี โดยใช้แบบฝึกทักษะด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5**<br>*วิลาสินี วรรัตนกิจ, วาทินี จันมี และหทัยรัตน์ สุขเพรียบพร้อม* | 298 |
| TRK4-007 | **การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย**<br>*อิทธิชัย อินลุเพท และจิตราภา คนฉลาด* | 308 |
| TRK4-008 | **การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู**<br>*ศรราม รุ่งสว่าง และนันทนัช วัฒนสุภิญโญ* | 318 |
| **กลุ่มบทความที่ 5 คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีมัลติมีเดีย** | | |
| TRK5-001 | **การพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์**<br>*ภราดร ภูษิตวณิชย์ และชุติมา พิศาลย์* | 331 |
| TRK5-002 | **การประเมินประสิทธิภาพปลั๊กอิน Web Application Firewall สำหรับ WordPress ในการตรวจจับและป้องกันภัยคุกคาม ตามมาตรฐาน OWASP Top 10**<br>*วุฒิชัย ช่างคิด และวิภาวรรณ บัวทอง* | 342 |
| TRK5-004 | **การออกแบบพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว**<br>*ณรงค์ฤทธิ์ สะอาดรัมย์, วิลัยพร ณะนิมิตร, สิรภพ ห้องแซง, อดิลักษณ์ ชินวงศ์, นราศักดิ์ วงษ์วาสน์ และอนัตต์ชัย ชุติภาสเจริญ* | 353 |
| TRK5-005 | **การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**<br>*อรรจกร วิชัย, สิรวิชญ์ ศรีทอง, สุดารัตน์ รักเพื่อน, สิวกร เรืองเกษม, อัญวีณ์ ไชยวชิระกัมพล และอนัตต์ชัย ชุติภาสเจริญ* | 363 |

| | บทความวิจัย | หน้า |
|---|---|---|
| TRK5-006 | **ผลการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย** | |
| | *จิตราภา คนฉลาด และอิทธิชัย อินลุเพท* | 373 |
| TRK5-007 | **การปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ (BPM)** | |
| | *วิยาภรณ์ ปรีชากร และชุติมา พิศาลย์* | 383 |
| TRK5-008 | **การศึกษาแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ ของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค** | |
| | *พรรณภัทร์ วงษาราษฎร์ และคริณะ ฉิมมณี* | 393 |
| TRK5-009 | **ระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร วิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี** | |
| | *จารุวรรณ ลักษณจันทร์ และศรินนา จำปากลาย* | 401 |
| TRK5-010 | **การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้** | |
| | *กลิ่นสุคนท์ นิ่มกาญจนา และสฤษดิ์ ปานจันทร์* | 419 |
| TRK5-011 | **การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมังคุด** | |
| | *สฤษดิ์ ปานจันทร์, กลิ่นสุคนท์ นิ่มกาญจนา และนภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร* | 430 |
| TRK5-012 | **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร** | |
| | *วราภรณ์ บ่อทอง และธรรณพ อารีพรรค* | 440 |
| TRK5-013 | **การศึกษาความรู้ ปัญหาและอุปสรรค ของบุคลากร IT ต่อ พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 กรณีศึกษาบริษัท System Integration (SI) แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร** | |
| | *รติกิตติ์ กล่อมวิเศษ และชุติมา พิศาลย์* | 450 |

# กลุ่มบทความที่ 1
# วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป)

# คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมันแกวที่ปลูกนอกพื้นที่ GI จังหวัดมหาสารคาม

# Physical Properties of Yam Bean Seeds Grown Outside the GI from Maha Sarakham Province

**มัณฑนา นครเรียบ[1*], วรัญญู แก้วดวงตา[2], อันศยา ท่อนโพธิ์[3]**

Muntana Nakornriab[1*], Waranyoo Kaewduangta[2], Ansaya Thonpho[3]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahasarakham University. Email: muntana.c@msu.ac.th

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2]Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University. Email: a.waranyoo@gmail.com

[3]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3]Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahasarakham University. Email: un_puy@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

กรมทรัพย์สินทางปัญญาได้ขึ้นทะเบียน มันแกว (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) จากอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม เป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) เนื่องจากมีคุณภาพเด่น คือ รสชาติหวานกรอบ รูปร่างผลแป้นเปลือกบาง มีเส้นใยและปริมาณน้ำในเนื้อสูง อร่อยเป็นพิเศษ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมันแกวที่ปลูกในพื้นที่ GI (อำเภอบรบือ) เปรียบเทียบกับมันแกวที่ปลูกนอกพื้นที่ GI คือ ฟาร์มมหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม การศึกษาเปรียบเทียบประกอบด้วย การวิเคราะห์สมบัติดินที่ใช้ในการเพาะปลูก ได้แก่ ค่า pH และร้อยละของธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) รวมถึงปริมาณอินทรียวัตถุ นอกจากนี้ยังประเมินปริมาณเมล็ดหลังเก็บเกี่ยวต่อไร่ น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด ความชื้น และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดตามมาตรฐาน ISTA (2013) ผลการศึกษา พบว่า ดินในพื้นที่ GI อำเภอบรบือ มีค่า pH 5.54 ± 0.04 ไนโตรเจน 0.03 ± 0.12% ฟอสฟอรัส 10.91 ± 0.53% โพแทสเซียม 22.41 ± 0.93% และอินทรียวัตถุ 0.26 ± 0.01% ส่วนในพื้นที่กันทรวิชัยมีค่าคล้ายกัน เมล็ดที่เก็บเกี่ยวจากบรบือมีจำนวน 110 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 20.37 กรัม ความชื้น 12.88% และอัตราการงอก 98% ขณะที่เมล็ดจากกันทรวิชัยมีจำนวน 100 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 19.40 กรัม ความชื้น 13.01% และการงอก 96% สำหรับหัวมันแกวจากบรบือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10.80 เซนติเมตร ค่าความหวาน 7.00 บริกซ์ และรูปร่างกลมแป้น ขณะที่กันทรวิชัยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.10 เซนติเมตร ค่าความหวาน 6.80 บริกซ์ และรูปร่างเรียวยาว สรุปคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมันแกวจากทั้งสองแหล่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันแกวที่ปลูกนอกพื้นที่ GI ในจังหวัดมหาสารคามยังคงมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับมันแกว GI

**คำสำคัญ:** มันแกวบรบือ สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) อำเภอกันทรวิชัย อินทรียวัตถุในดิน การงอกของเมล็ด

## Abstract

The Department of Intellectual Property has registered *yam bean* (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) from Borabue District, Maha Sarakham Province, as a Geographical Indication (GI) product due to its distinctive quality: crisp sweetness, flat root shape, thin skin, high fiber, and moisture content, making it exceptionally delicious. This study aimed to investigate the physical properties of yam bean seeds grown in the GI area comparison with those grown outside the GI area at the farm of Mahasarakham University (Ban Na Seenuan), Kantharawichai District. Soil characteristics including pH, nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and organic matter (OM) were analyzed, along with seed yield per rai, 100-seed weight, moisture content, and germination (following ISTA, 2013). Results showed that the GI-area soil had a pH of 5.54 ± 0.04, N 0.03 ± 0.12%, P 10.91 ± 0.53%, K 22.41 ± 0.93%, and OM 0.26 ± 0.01%. Similar values were found in the non-GI area. Seeds from Borabue yielded 110 kg/rai, with a 100-seed weight of 20.37 g, moisture content of 12.88%, and 98% germination. Seeds from Kantharawichai yielded 100 kg/rai, with a 100-seed weight of 19.40 g, 13.01% moisture, and 96 % germination. Additionally, Borabue roots were round-flat with an average diameter of 10.80 cm and 7.00 °Brix, whereas Kantharawichai roots were elongated with a diameter of 14.10 cm and 6.80 °Brix. Statistical analysis ($p \leq 0.05$) revealed no significant differences in the physical properties of seeds from both sources, indicating that yam bean grown outside the GI area still maintains comparable quality to that of the GI-certified product.

**Keywords:** Borabue yam bean, Geographical Indication (GI), Kantharawichai District, soil organic matter, seed germination

# ผลของแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่ผลิต Indole-3-Acetic Acid ต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา

# Effect of Indole-3-Acetic Acid Producing Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) on Seed Germination of Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.)

**ฐิติปวีณ์ แซ่หลี[1], ธัญลักษณ์ ใจป้อม[1] , ธนวุฒิ พรหมบัญชาชัย[1*]**

**Thitipawee Saelee , Thanyaluk Jaipom , Thanawut Prombunchachai[*]**

[1]สาขาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

[1]Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical Sciences, University of Phayao,

mythitipawee@gmail.com, thanpp17532634@gmail.com, thanawut.pr@up.ac.th

**บทคัดย่อ**

การงอกของเมล็ดเป็นขั้นตอนเริ่มต้นการเจริญเติบโตของพืช ที่อาจได้รับอิทธิพลจากทั้งสภาพแวดล้อมและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยเฉพาะในพืชเศรษฐกิจอย่างพริกจินดา (*Capsicum annuum* L.) ที่ประสบปัญหาอัตราการงอกต่ำและไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของแบคทีเรียกลุ่ม Pink-Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่สามารถผลิตฮอร์โมนพืช Indole-3-Acetic Acid (IAA) ในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดพริกจินดา โดยเลือกใช้แบคทีเรียไอโซเลต WLPP10-5 ที่แยกได้จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา ซึ่งมีความสามารถในการผลิต IAA สูงสุดที่ 3.22 µg/ml การทดสอบการงอกของเมล็ดพริกจินดาใช้วิธี Top of paper โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 6 กลุ่มทดลอง พบว่า กลุ่มทดลองที่ 6 ที่แช่เมล็ดพริกจินดาในสารละลายเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ที่ความเข้มข้นของเซลล์ $10^8$ CFU/ml มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยให้ร้อยละการงอก 89.00 ± 4.18 ความยาวรากเฉลี่ย 19.13 ± 3.92 mm และดัชนีการงอก 3.96 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรีย PPFMs ที่ผลิต IAA มีศักยภาพในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดพริกจินดาอย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การงอก เมล็ดพริกจินดา Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs), Indole-3-Acetic Acid (IAA)

**Abstract**

Seed germination is the initial stage of plant growth, which can be influenced by both environmental factors and seed quality. This is particularly important for economic crops such as Chili pepper (*Capsicum annuum* L.), which often face problems with low and inconsistent germination rates. This study aimed to investigate the potential of Pink-Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs), a group of bacteria capable of producing the plant hormone Indole-3-Acetic Acid (IAA), in promoting seed germination of Chili pepper. The isolate WLPP10-5, which was obtained from the leaves of *Wedelia trilobata* (L.) Hitch. in the area of the University of Phayao, showed the highest IAA production at 3.22 µg/ml. Germination testing was conducted using the Top of paper method under a Completely Randomized Design (CRD) with six treatments. The results revealed that Treatment 6, in which seeds were soaked in a bacterial cell suspension of PPFMs isolate WLPP10-5 at a concentration of $10^8$ CFU/ml, was the most effective, yielding a germination rate of 89.00 ± 4.18 %, an average root length of 19.13 ± 3.92 mm, and a germination index of 3.96. These values were significantly different from those of the control. The findings suggest that IAA-producing PPFMs have high potential to enhance the germination of Chili pepper seeds effectively.

**Keywords:** Germination, Chili pepper, Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs), Indole-3-Acetic Acid (IAA)

**1. บทนำ**

พริกจินดา (*Capsicum annuum* L.) จัดอยู่ในกลุ่มพริกขี้หนูผลใหญ่ (กัญญาณัฐ คูณค้ำ และคณะ, 2565) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ นิยมปลูกแพร่หลายในจังหวัดชัยภูมิ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี นครพนม ตาก กาญจนบุรี และนครศรีธรรมราช (กรมวิชาการเกษตร, 2563) ปัญหาสำคัญที่พบบ่อยในการเพาะปลูกพริก คือ อัตราการงอกของเมล็ดที่ไม่สม่ำเสมอ รวมถึงระยะเวลาการงอกที่ยาวนาน (ศรันยา คุ้มปลี และ สุรพงษ์ ดำรงกิตติกุล, 2555) ส่งผลต่อการวางแผนการเพาะปลูกและการจัดการแปลงในระยะต้นของการผลิต โดยการงอกของเมล็ดนั้นเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญและเป็นขั้นตอนแรกของการเจริญเติบโตของพืช ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เองก็เป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญของพืชและประสิทธิภาพในการเพาะปลูก เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพนั้นต้องมีความสามารถในการงอกสูง การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้นานในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ ส่งผลต่ออัตราการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาการเตรียมเมล็ดพันธุ์เพื่อให้มีความสามารถในการงอกโดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ (นภาพร เวชกามา และ พีระยศ แข็งขัน, 2561) การใช้สารออกฤทธิ์ที่ส่งผลต่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ เช่น ฮอร์โมนพืช Indole-3-Acetic Acid (IAA) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้เมล็ดงอกได้เร็วขึ้น (Scarbrough & Thompson, 2004) โดยมีการนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องการงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (กิตติวรรณ กล้ารอด และ บุญมี ศิริ, 2559) เมล็ดพันธุ์พริกขี้หนู (จีราภรณ์ อินทสาร และคณะ, 2560) เมล็ดพันธุ์แตงกวา (พัชรา คำพันธ์ และ บุญมี ศิริ, 2561) และเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม (ธนาคาร กาวดิลก และคณะ, 2562)

IAA เป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มของออกซินที่ช่วยในการแบ่งตัวของเซลล์ ขยายตัวของเซลล์รากพืช และช่วยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Bartel, 2005) สามารถผลิตได้จากแบคทีเรียหลายชนิด เช่น *Azotobacter* และ *Beijerinckia* (Chumpoo & Shutsrirung, 2018) *Bacillus subtilis* (จักพงษ์ กางโสภา และ บุญมี ศิริ, 2561) *Klebsiella pneumoniae* (Sachdev et al., 2009) หนึ่งในนั้นมีแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ลักษณะรูปท่อนสั้น มีโคโลนีสีชมพู เนื่องจากมีการสร้างรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ และยังพบว่ามีการสร้างโพลีไฮดรอกซีลบิวทิเรต (Trotsenko & Murrell, 2008) เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืช และมีความสามารถในการสร้าง IAA โดยสามารถแยกได้จากใบพืชหลายชนิด เช่น หญ้าปักกิ่ง (ศิริพรรณ สารินทร์ และคณะ, 2556) ทานตะวัน (Schauer & Kutschera, 2008) ใบไผ่ (Madhaiyan & Poonguzhali, 2014) โดยมีการนำแบคทีเรีย PPFMs มาส่งเสริมการงอกของเมล็ดพันธุ์ เช่น เมล็ดข้าวเปลือก (Nysanth et al., 2019)

กระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) Hitch.) เป็นพืชในวงศ์ Asteraceae พบเจริญมากในแถบประเทศเขตอบอุ่นและเขตร้อนชื้นทั่วโลก รวมประเทศไทย มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก เป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นในดินสูงโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีดินชื้นแฉะ มีการขยายพันธุ์โดยการแตกกิ่งก้านและการเจริญของเหง้าใหม่ สามารถแผ่ขยายคลุมผิวหน้าดินเป็นวงกว้างได้อย่างรวดเร็ว (วราภรณ์ สุทธิสา และ ศิริประภา คำจันดี, 2562) โดยภายในมหาวิทยาลัยพะเยามีการเจริญของต้นกระดุมทองเลื้อยอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะนำแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่สามารถสร้าง IAA ที่แยกได้จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยมาศึกษาความสามารถในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดพริกจินดา (*Capsicum annuum* L.)

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและประเมินผลของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่สามารถผลิต IAA ต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา (*Capsicum annuum* L.) ในด้านอัตราการงอก ความยาวของราก ดัชนีการงอก และร้อยละการเกิดยอด

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs

แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ที่ใช้ในงานทดลองนี้แยกจากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยที่ขึ้นภายในบริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ในการแยกและเตรียมแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ได้ดัดแปลงวิธีการจาก Nysantha et al. (2019) โดยใช้เทคนิค spread plate บนอาหารแข็ง Ammonium Mineral Salts agar (AMS) ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) เป็นแหล่งคาร์บอน และมีความสามารถในการสร้าง IAA สูงที่สุด นำเชื้อปริมาณ 1 Loop จาก Glycerol Peptone (GP) slant ที่มีอายุ 7 วัน เพาะในอาหารเหลว AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 และเติม L-Tryptophan 0.2 g/L นำไปบ่มบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เก็บ ส่วนใส ไปหาปริมาณ IAA โดยผสมกับ salkowski reagent ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณ IAA โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย IAA ส่วนตัวเซลล์ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงทำการล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 3 ครั้ง ปรับความเข้มข้นของ

สารละลายเซลล์ให้เท่ากับ $10^8$ CFU/ml ทั้งส่วนใสและสารละลายเซลล์ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบความสามารถในการงอกของเมล็ดพริกจินดาในการทดลองต่อไป

**3.2 การเตรียมเมล็ดพริกจินดา**

เมล็ดพริกจินดาที่ใช้ในการทดลองได้จากพริกจินดาที่ซื้อจากห้างโมเดิร์นเทรด (Makro) ในจังหวัดพะเยา โดยนำพริกจินดามาแยกเอาเฉพาะเมล็ดและนำมาตากแห้ง เลือกเมล็ดที่มีรูปทรงสมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยการกัดแทะของแมลง และร่องรอยของเชื้อรา มาทำความสะอาดและฆ่าเชื้อที่พื้นผิวเมล็ด โดยนำเมล็ดพริกจินดา ใสลงในขวดแก้วขนาด 120 ml เติมน้ำกลั่น ปราศจากเชื้อ ปริมาตร 10 ml และเติม Tween 80 ปริมาตร 100 µL นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย Sodium hypochlorite ร้อยละ 1 ปริมาตร 10 ml เป็นเวลา 5 นาที ต่อมานำไปแช่ใน เอทานอล ร้อยละ 70 ปริมาตร 10 ml จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 10 ml โดยการแช่เป็นเวลา 5 นาที ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง

**3.3 การทดสอบการงอกของเมล็ดพริกจินดา**

นำเมล็ดพริกจินดาที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว มาทดสอบการงอกของเมล็ดโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Desing ; CRD) แบ่งการทดสอบเป็น 6 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 20 เมล็ด ดังนี้

**กลุ่มทดลองที่ 1** เมล็ดพริกจินดาแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ปริมาตร 10 ml

**กลุ่มทดลองที่ 2** เมล็ดพริกจินดาแช่ในอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 และเติม L-Tryptophan ความเข้มข้น 0.2 g/L ปริมาตร 10 ml

**กลุ่มทดลองที่ 3** เมล็ดพริกจินดาแช่ในสารละลายมาตรฐาน IAA ความเข้มข้น 0.2 mg/L

**กลุ่มทดลองที่ 4** เมล็ดพริกจินดาแช่ใน ส่วนใส ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 โดยไม่ปรับความเข้มข้นของ IAA ในส่วนใส

**กลุ่มทดลองที่ 5** เมล็ดพริกจินดาแช่ใน ส่วนใส ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 โดยปรับความเข้มข้นของ IAA ในส่วนใส ให้เท่ากับ 0.2 mg/L

**กลุ่มทดลองที่ 6** เมล็ดพริกจินดาแช่ในสารละลายเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ความเข้มข้น $10^8$ CFU/ml

โดย กลุ่มทดลองที่ 1, 2 และ 3 เป็นชุดควบคุม ระยะเวลาในการแช่เมล็ดพริกจินดาในแต่ละกลุ่มทดลอง ใช้เวลา 24 ชั่วโมง และนำไปทดสอบการงอกด้วยวิธี Top of paper (ISTA, 2016) โดยวางเมล็ดพริกที่ผ่านการแช่ในแต่ละกลุ่มทดลอง ลงบนกระดาษทิชชูที่ซ้อนกัน 3 ชั้น ที่ชุ่มด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml ที่วางอยู่ในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm สังเกตการงอกของเมล็ดพริกจินดาในระยะเวลา 7 วัน ทำการบันทึกข้อมูลจำนวนเมล็ดพริกจินดาที่งอกในแต่ละวัน ความยาวราก และการเกิดยอด จากนั้นทำการคำนวณร้อยละการงอก ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก และดัชนีการงอกของเมล็ด ตามสูตรดังนี้

ร้อยละการงอกของเมล็ดพริกจินดา คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละการงอก} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอกของเมล็ดพริกจินดา คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอก} = \frac{\text{ผลบวกของจำนวนเมล็ดที่งอก} \times \text{จำนวนวันที่งอก}}{\text{ผลรวมของเมล็ดที่งอกทั้งหมด}}$$

ดัชนีการงอกของเมล็ดพริกจินดา นำเมล็ดพันธุ์แต่ละ กลุ่มทดลอง มาเพาะและทำการนับจำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาดัชนีการงอก โดยเปรียบเทียบกับ กลุ่มทดลอง อื่นๆ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ดัชนีการงอก} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

**3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Desing ; CRD) และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้ค่าสถิติของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics Version 21

## 4. ผลการวิจัย

**ผลการทดสอบการงอกของเมล็ดพริกจินดา**

ในการทดสอบผลของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา ในการทดลองใช้แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ที่แยกได้จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้าง IAA สูงที่สุด ในการทดลองก่อนหน้า จากการเลี้ยงแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ในอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 และเติม L-Tryptophan 0.2 g/L พบว่า สามารถสร้าง IAA ได้ปริมาณ 3.22 µg/ml ในการทดสอบใช้ทั้งส่วนใสที่ได้จากการเพาะเลี้ยง และสารละลายเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 มาศึกษาผลต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา พบว่า กลุ่มทดลองที่ 6 ที่เมล็ดพริกจินดาแช่ในสารละลายเซลล์ ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 ความเข้มข้น $10^8$ CFU/ml มีร้อยละการงอก 89.00 ± 4.18 ความยาวรากเฉลี่ย 19.13 ± 3.92 mm และร้อยละการเกิดยอด 16.25 ± 7.50 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p<0.05$) ดังตารางที่ 1

เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ใช้ในการงอกของเมล็ดพริกจินดา พบว่า กลุ่มทดลองที่ 2 ที่เมล็ดพริกจินดาแช่ในอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 และเติม L-Tryptophan ความเข้มข้น 0.2 g/L ปริมาตร 10 ml มีจำนวนวันเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด เท่ากับ 3.55 วัน รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 5 และ กลุ่มทดลองที่ 1 ที่เมล็ดพริกจินดาแช่ใน ส่วนใส ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 โดยปรับความเข้มข้นของ IAA ใน ส่วนใส ให้เท่ากับ 0.2 mg/L และ เมล็ดพริกจินดาแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ปริมาตร 10 ml มีจำนวนวันเฉลี่ยในการงอก เท่ากับ 3.97 วัน และ 4.00 วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ในส่วนของดัชนีการงอกของเมล็ดพริกจินดา พบว่า กลุ่มทดลองที่ 6 มีดัชนีการงอกสูงที่สุด เท่ากับ 3.96 รองลงมา คือ กลุ่มทดลองที่ 4 และ กลุ่มทดลองที่ 3 ที่เมล็ดพริกจินดาแช่ใน ส่วนใส ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 โดยไม่ปรับความเข้มข้นของ IAA ใน ส่วนใส และ เมล็ดพริกจินดาแช่ในสารละลายมาตรฐาน IAA ความเข้มข้น 0.2 mg/L โดยมีดัชนีในการงอกสูงที่สุด เท่ากับ 3.93 และ 3.77 ตามลำดับ ส่วน กลุ่มทดลองที่ 1 ที่เมล็ดพริกจินดาแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ปริมาตร 10 ml ซึ่งเป็นชุดควบคุม มีค่าดัชนีการงอกต่ำสุดเท่ากับ 3.25 ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การแช่เมล็ดพริกจินดา ทั้งหมด 6 กลุ่มทดลอง

| กลุ่มทดลอง | จำนวนวันเฉลี่ย | ดัชนีการงอก | ร้อยละการงอก | ความยาวรากเฉลี่ย (mm) | ร้อยละการเกิดยอด |
|---|---|---|---|---|---|
| **กลุ่มทดลองที่ 1** | 4.00 | 3.25 | $79.00^{c} \pm 8.22$ | $13.81^{bc} \pm 2.95$ | $7.50 \pm 3.54$ |
| **กลุ่มทดลองที่ 2** | 3.55 | 3.73 | $80.00^{bc} \pm 7.07$ | $13.72^{bc} \pm 2.05$ | $7.50 \pm 3.54$ |
| **กลุ่มทดลองที่ 3** | 4.30 | 3.77 | $88.00^{a} \pm 2.74$ | $16.03^{ab} \pm 1.73$ | $5.00 \pm 0.00$ |
| **กลุ่มทดลองที่ 4** | 4.02 | 3.93 | $87.00^{ab} \pm 4.47$ | $11.46^{c} \pm 1.56$ | $5.00 \pm 0.00$ |
| **กลุ่มทดลองที่ 5** | 3.97 | 3.51 | $82.00^{abc} \pm 4.47$ | $12.00^{c} \pm 2.96$ | $5.00 \pm 0.00$ |
| **กลุ่มทดลองที่ 6** | 4.13 | 3.96 | $89.00^{a} \pm 4.18$ | $19.13^{a} \pm 3.92$ | $16.25 \pm 7.50$ |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวอักษรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p<0.05$)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากผลการศึกษาแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่ผลิต IAA ต่อการงอกของเมล็ดพริกจินดา พบว่า กลุ่มทดลองที่ 6 ที่เมล็ดพริกจินดาที่ผ่านการแช่ในสารละลายเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลต WLPP10-5 มีร้อยละการงอก ความยาวรากเฉลี่ย ร้อยละการเกิดยอด และดัชนีการงอก สูงที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ๆ โดยมีค่าร้อยละการงอกเท่ากับ 89.00 ± 4.18 ความยาวรากเฉลี่ย 19.13 ± 3.92 mm ร้อยละการเกิดยอด 16.25 ± 7.50 และดัชนีการงอกเท่ากับ 3.96 โดยแสดงให้เห็นว่าเซลล์ของแบคทีเรียไอโซเลต WLPP10-5 นี้มีบทบาทในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดพริกจินดา สอดคล้องกับ Nysanth et al. (2019) ที่แสดงผลของเซลล์แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs สามารถส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Joel et al. (2023) ที่สารละลายเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs สามารถสร้าง IAA ที่มีผลต่อการงอก ความยาวราก และความยาวยอดของเมล็ดข้าว ในขณะที่ กลุ่มทดลองที่ 4 และ 5 ที่เมล็ดพริกจินดาที่ผ่านการแช่ในส่วนใสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ให้ค่าดัชนีการงอก และร้อยละการงอกสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ที่เป็นกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p<0.05$) แต่มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มทดลองที่ 3 ที่เมล็ดพริกจินดาที่ผ่านการแช่ในสารละลาย IAA มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.2 mg/L แสดงให้เห็นผลของ IAA ต่อการงอกของเมล็ด สอดคล้องกับ Bartel. (2005) ที่รายงานว่า IAA ที่ผลิตได้จากแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชบริเวณราก มีบทบาทในการกระตุ้นการงอก และการยืดตัวของราก

ในส่วนของจำนวนวันที่ใช้ในการงอก พบว่า ในแต่ละกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 3.55 - 4.30 วัน โดยกลุ่มทดลองที่ 2 มีจำนวนวันเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด เท่ากับ 3.55 วัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 5 สอดคล้องกับ Koç & Sağlam (2014) ที่รายงานว่า เมล็ดของพริก *Capsicum annuum* L. หลังจากการเพาะร่วมกับ IAA สามารถลดระยะเวลาในการงอก และทำให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการงอกเร็วกว่ากลุ่มอื่น

จากผลแสดงให้เห็นว่าเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ให้ผลร้อยละการงอก ความยาวรากเฉลี่ย ร้อยละการเกิดยอด และดัชนีการงอก มีค่าสูงกว่าการใช้ส่วนใสที่ได้จากการเพาะเลี้ยง และสารละลาย IAA มาตรฐาน ซึ่ง IAA อาจมีการสลายตัวได้จากการสัมผัสแสง (Murashige & Skoog, 1962) แสดงถึงศักยภาพในการนำ PPFMs มาประยุกต์ใช้เป็นชีวภัณฑ์เพื่อส่งเสริมการงอกของเมล็ดพันธุ์ และเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในอนาคต

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ รวมถึงห้องปฏิบัติการสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

กัญญาณัฐ คูณค้ำ, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล และ รัตยา พงษ์พสุธา. (2565). การตรวจสอบเอนไซม์และสภาพความคงทนของเชื้อ *Bacillus* spp. ที่คัดเลือกสำหรับการผลิตพริก. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60 สาขาพืช*, (หน้า 67-76). มหาวิทยาลัยเกษตร์ศาสตร์.

กรมวิชาการเกษตร.(2563). สถานการณ์พริก. *สถานีวิจัยพืชสวน*. https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/สถานการณ์พริก_ตุลาคม63.pdf

กิตติวรรณ กล้ารอด และ บุญมี ศิริ. (2559). อิทธิพลของการเคลือบเมล็ดด้วยฮอร์โมนพืชต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าของมะเขือเทศ. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34(3), 143-156.

จีราภรณ์ อินทสาร, ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ และ ประวิทย์ บุญมี. (2560). ผลของแบคทีเรียที่ผลิตสาร Indole-3-Acetic Acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของพริกขี้หนู. *วารสารเกษตร*, 45(3), 123-134.

จักรพงษ์ กางโสภา และ บุญมี ศิริ. (2561). ผลของการทำ Seed Treatment ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อความงอกและการเติบโตของผักกาดหอม. *วารสารเกษตร*, 34(3), 385-397.

ธนาคาร กาวดิลก, บุญมี ศิริ และ อารักษ์ ธีรอำพน. (2562). ผลของการพอกเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต $GA_3$ และ IAA ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. *แก่นเกษตร*, 47(5), 1027-1036.

นภาพร เวชกามา และ พีระยศ แข็งขัน. (2561). การปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค Seed priming. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 15(1), 17-30.

พัชรา คำพันธ์ และ บุญมี ศิริ. (2561). ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ Gibberellic acid และ Ethephon ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของแตงกว่าระยะต้นกล้า. *รายงานประชุมการประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 15* วันที่ 19-21 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่ : สมาคมเมล็ดพันธุ์พืชแห่งประเทศไทย

วราภรณ์ สุทธิสา และ ศิริประภา คำจันดี. (2562). การคัดแยกแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากดินบริเวณรอบรากต้นกระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) A.S. Hitchcock). *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*, 13(2), 79-92.

ศรัญญา คุ้มปลี และ สุรพงษ์ ดำรงกิตติกุล. (2555). ผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพผลไม้ต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พริก. *การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9*, (หน้า 2339-2346). มหาวิทยาลัยเกษตร์ศาสตร์.

ศิริพรรณ สารินทร์, ธนวุฒิ พรมบัญชาชัย, นารีลักษณ์ นาแก้ว และ อภิชาติ ชิดบุรี. (2556) การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methyloytrophs (PPFMs) ที่สามารถผลิต Indole Acetic Acid จากหญ้าปักกิ่ง. *Naresuan University Journal*, 21(2).

Bartel, B. (2005). Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany*, 95(5), 707–735.

Chumpoo, P., & Shutsrirung, A. (2018). Screening of $N_2$-fixing and IAA producing bacteria and their potential use as biofertilizer for rice. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 23(3), Article APST–23.

ISTA. (2016). *International Rules for Seed Testing Edition International Seed Testing Association (ISTA)*. CH-Switzer land.

Joel, G. V. V., Latha, P. C., Gopal, A. V., & Sreedevi, B. (2023). Isolation and Characterization of Pink Pigmented Facultative Methylotrophic Bacteria: An *in-Vitro* Evaluation of the Isolates for Plant Growth Promotion on Rice. *International Journal of Microbiological Research*, 4(3), 302-309.

Koç, E., & Sağlam, A. (2014). The effect on in vitro germination of some plant growth regulators in pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. *International Journal of Agricultural and Food Science*, 4(2), 43–46.

Madhaiyan, M., & Poonguzhali, S. (2014). *Methylobacterium pseudosasicola* sp. nov. and *Methylobacterium phyllostachyos* sp. nov., isolated from bamboo leaf surfaces. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt 7), 2376–2384.

Murashige T., & Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 15, 473-497

Nysantha, N. S., Meenakumari, K. S., Syriac, E. K., & Beena, R. (2019). Screening of pink pigmented facultative methylotrophs for growth enhancement in paddy. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, 101055.

Scarbrough, J. & Thompson, M. (2004). Do rooting hormones affect the germination rate of seeds. *California State Science Fair 2004 Project Summary*.

Sachdev, D. P., Chaudhari, H. G., Kasture, V. M., Dhavale, D. D., & Chopade, B. A. (2009). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing *Klebsiella pneumoniae* strains from rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum*) and their effect on plant growth. *Indian Journal of Experimental Biology*, 47(12), 993–1000.

Schaure, S., Kutschera, U. (2008). Methylotrophic bacteria on the surfaces of field-grown sunflower plants: a biogeographic perspective. *Theory in Biosciences*, 127(1), 23-29.

Trotsenko, Y.A., Murrell, J. C. (2008). Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy. *Advances in Applied Microbiology*, 63, 183-229.

# ผลของน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส (MC) /แป้งข้าวโพด (Cst) และการตอบสนองต่อค่า pH

# Effect of Plasticizer Molecular Weight on Methyl Cellulose/Corn Starch Film Properties and pH-Responsiveness

**ปวีณ์ธิดา ปักใคหัง[1], ณภัทร เปรื่องการ[2], สาธุกานต์ กาบคำ[3]**
**รัชนีวรรณ กุลจันทร์[4], และนพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา[5]***
**Paweethida Pakkaihang[1], Naphat Prueangkarn[2], Sathukarn Kabcum[3],**
**Ratchaneewan Kulchan[4], Nopparat Viriyakitpattana[5]***

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
Thai Packaging Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), nopparat_v@tistr.or.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาฟิล์มพอลิเมอร์จากเมทิลเซลลูโลส (MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) ที่ตอบสนองต่อค่าพีเอช โดยศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ได้แก่ 400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล ต่อสมบัติของแผ่นฟิล์ม ทดสอบสมบัติทางกายภาพทางกลและการตอบสนองต่อค่าพีเอชของฟิล์มด้วยคู่สารชี้วัดสีเมทิลเรดและโบรโมไทมอลบลู (MR/BB) ผลการทดสอบพบว่า PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์มอย่างชัดเจน แต่เมื่อ PEG มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำ ความชื้น อัตราการซึมผ่านไอน้ำ และการยืดตัวของฟิล์มลดลง ขณะที่แรงดึงและอัตราซึมผ่านออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ฟิล์มทุกสูตรตอบสนองต่อค่าพีเอชในช่วงกรด (pH 2–6) โดยเฉพาะสูตรที่ใช้ PEG-400 ซึ่งเปลี่ยนสีจากเขียวเป็นแดงได้ชัดเจนที่สุด ในขณะที่สภาวะกลางและเบส (pH≥7) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นฟิล์มทั้งหมด นอกจากนี้ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่า PEG-400 มีความเข้ากันได้ดีกับเมทริกซ์ของพอลิเมอร์มากที่สุด

**คำสำคัญ:** เมทิลเซลลูโลส แป้งข้าวโพด พอลิเอทิลีนไกลคอล พลาสติไซเซอร์ การตอบสนองต่อค่า pH

**Abstract**

This research aimed to develop pH-responsive polymeric films from methylcellulose (MC) and corn starch (Cst), and to investigate the effects of polyethylene glycol (PEG) plasticizers with molecular weights of 400, 800, and 6000 g/mol on film properties. The films were analyzed for physical and mechanical characteristics, along with pH-responsiveness using a methyl red/bromothymol blue (MR/BB) colorimetric system. Results showed that PEG molecular weight had no significant effect on film thickness. However, increasing PEG molecular weight led to decreased water solubility, moisture content, water vapor transmission rate, and elongation, while tensile strength and oxygen transmission rate increased significantly ($p<0.05$). All film formulations exhibited clear pH

responsiveness under acidic conditions (pH 2–6), with the PEG-400 film showing the most distinct color change from green to red. No color change was observed at neutral or alkaline pH (≥7). Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed that PEG-400 had the best compatibility with the polymer matrix, resulting in the most uniform and suitable film structure.

**Keywords:** Methylcellulose, Corn starch, Polyethylene glycol, Plasticizer, pH-responsive

**1. บทนำ**

ความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นสำคัญที่มีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค ความเชื่อมั่นในสินค้า และมาตรฐานการค้าระหว่างประเทศ การตกค้างของสารเคมี เช่น วัตถุกันเสีย สารฆ่าแมลง หรือสารเติมแต่งในอาหาร อาจส่งผลเสียต่อสุขภาพหากมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจวิเคราะห์สารเหล่านี้ส่วนใหญ่มักต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ และต้องดำเนินการในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่สะดวกต่อการประเมินผลในสถานที่จริง ปัจจุบันจึงมีการพัฒนา วิธีตรวจวัดแบบเปลี่ยนสี (Colorimetric method) ซึ่งแสดงผลผ่านการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยเฉพาะในรูปแบบแผ่นฟิล์ม (Film-type sensor) ที่มีลักษณะบาง เบา ใช้งานสะดวก พกพาได้ง่าย และไม่ต้องพึ่งพาเครื่องมือราคาแพง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการใช้งานภาคสนาม และเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการตรวจสอบความปลอดภัยของอาหารอย่างรวดเร็วและเข้าถึงได้ในทุกระดับ อีกทั้งยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose, MC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสโดยอยู่ในรูปแบบของเมทิลอีเธอร์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างอัลคาไลน์เซลลูโลสกับเมทิลคลอไรด์ โดยเมทิลเซลลูโลสเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่ชอบน้ำ Hydrophilic) และสามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี (Gasti et al., 2021) แป้งจัดเป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ทั้งในรูปของฟลาวร์ (Flour) และสตาร์ช (Starch) เนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ แอมิโลส (Amylose) และแอมิโลเพกติน (Amylopectin) ซึ่งโมเลกุลของอะไมโลสสามารถเกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ได้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการขึ้นรูปฟิล์มที่มีความแข็งแรง อีกทั้งฟิล์มจากแป้งมีคุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี (Samsalee et al., 2022) ในปัจจุบันได้มีการนำแป้งจากแหล่งพืชหลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี แป้งสาคู และแป้งมันฝรั่ง มาใช้เป็นวัสดุในการพัฒนาแผ่นฟิล์มตัวชี้วัด (Indicator Film) หรือฟิล์มบรรจุภัณฑ์บริโภคได้ (Edible film) เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและการตอบสนองต่อค่าพีเอชของแผ่นฟิล์ม อีกทั้งแป้งยังเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หาง่ายและราคาถูก จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาและพัฒนาแผ่นฟิล์มโดยการผสมระหว่างเมทิลเซลลูโลสกับแป้งข้าวโพด (Corn starch, Cst) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์มได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวโพดเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีลักษณะแข็ง เปราะ และแตกหักได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบความต้านทางแรงดึงขาดได้ (Arik Kibar et al., 2017) ดังนั้นพลาสติไซเซอร์จะถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาความเปราะของฟิล์ม เพิ่มความสามารถในการไหล ความยืดหยุ่น ความเหนียว และป้องกันการแตกร้าวระหว่างการบรรจุและขนส่ง (Yacob et al., 2021) การเติม พลาสติไซเซอร์ลงในแผ่นฟิล์มระหว่างเมทิลเซลลูโลสกับแป้งข้าวโพดสามารถช่วยปรับปรุงให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและสามารถใช้งานได้ดีกว่าการไม่เติมพลาสติไซเซอร์ (Arik Kibar et al., 2017) ซึ่งพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้เพื่อปรับปรุง

คุณสมบัติของฟิล์ม เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) ซอร์บิทอล (Sorbitol) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene Glycol) เป็นต้น ซึ่งพลาสติไซเซอร์แต่ละชนิดส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มตัวชี้วัดหลายชนิดใช้ พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติไซเซอร์ เนื่องจาก PEG เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็น $–CH_2CH_2O–$ และมีหมู่ปลายเป็น –OH ทั้งสองด้าน โดย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1,000 $g{\cdot}mol^{-1}$ จะอยู่ในรูปของเหลวใส ขณะที่ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,000 $g{\cdot}mol^{-1}$ จะอยู่ในรูปของผงหรือเกล็ดสีขาว (Yacob et al., 2021) ทั้งนี้ Kim et al., 2009 ได้รายงานว่า PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 8,000 $g{\cdot}mol^{-1}$ สามารถนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับแป้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ PEG เป็นพลาสติไซเซอร์ร่วมกับแป้งเป็นจำนวนมาก แต่ยังมีการศึกษาการเติม PEG ในฟิล์มผสมระหว่างเมทิลเซลลูโลส (MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) อย่างจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG 400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ที่มีต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม MC/Cst และการตอบสนองต่อค่าพีเอช

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG 400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและการตอบสนองต่อค่าพีเอชของฟิล์มเมทิลเซลลูโลสและแป้งข้าวโพด (MC/Cst)

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

เมทิลเซลลูโลส (MC), พอลิเอทิลีน ไกลคอล-400 (PEG-400) และเมทิลเรด (MR) จาก Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา แป้งข้าวโพด(Cst) จากบริษัท อุตสาหกรรมแป้งไทย จำกัด และพอลิเอทิลีน ไกลคอล-800 (PEG-800) จาก MySkinRecipes, ประเทศไทย พอลิเอทิลีนไกลคอล-6000 (PEG-6000) และโบรโมไทมอลบลู (BB) จาก KEMAUS, ออสเตรเลีย เอทานอล (EtOH), AR grade และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จาก Carlo Erba, อิตาลี

### 3.2 การเตรียมสารสี MR/BB

โดยละลายเมทิลเรด (MR) และโบรโมไทมอลบลู (BB) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวล ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร จากนั้นนำคู่สารสีตัวชี้วัดที่ได้มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร และเก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

### 3.3 การเตรียมแผ่นฟิล์ม MC/Cst

เตรียมแผ่นฟิล์มจากเมทริกซ์ผสมระหว่างสารละลายเมทิลเซลลูโลส (MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวล และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวลของน้ำหนักแห้งเมทริกซ์เป็นพลาสติไซเซอร์ ผสมกันในอัตราส่วนโดยมวล 80:20 ตามลำดับ (อ้างอิงจากงานวิจัยของ Nopparat *et al.* (2023) ที่ได้เตรียมฟิล์ม MC/Cst ในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0, 80:20, 50:50, 20:80 และ 0:100 ตามลำดับ พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของเมทิลเซลลูโลสคู่กับแป้งข้าวโพดในอัตราส่วน 80:20 (MC80/Cst20) มีสมบัติของฟิล์มโดยรวมที่ดี ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะบ่งชี้ความสดและความปลอดภัยของอาหารได้ จึงเลือกอัตราส่วนนี้ในการศึกษา) กวนสารเป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมคู่สารสีตัวชี้วัดผสมระหว่างเมทิลเรดและโบรโมไทมอลบลู (MR/BB) อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวล ลงไป โดยอัตราส่วนระหว่างเมทริกซ์ MC/Cst และคู่สารสีตัวชี้วัด MR/BB เป็น 10 : 1 ปรับค่า pH ของของผสมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ให้มีค่า pH เท่ากับ 8 จากนั้นเทของผสมลงบนเพลทพลาสติก

และทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการศึกษาผลของมวลโมเลกุลพลาสติไซเซอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส (MC) /แป้งข้าวโพด (Cst) จะใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลแตกต่างกันมาศึกษา ได้แก่ 400 กรัมต่อโมล (PEG-400), 800 กรัมต่อโมล (PEG-800) และ 6000 กรัมต่อโมล (PEG-6000) ซึ่งแผ่นฟิล์มจะถูกเตรียมโดยใช้วิธีเดียวกัน และให้ชื่อตัวอย่างของแผ่นฟิล์มเป็น MC/Cst/PEG-400, MC/Cst/PEG-800 และ MC/Cst/PEG-6000 ตามลำดับ เก็บฟิล์มภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติและทดสอบต่อไป

**3.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์ม**

**3.4.1 การวัดค่าสี**

วัดค่าสีฟิล์ม สามารถทำโดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta CR-400, Japan ใช้ระบบวัดสีแบบ CIE Lab แสดงค่าความสว่าง (L*), ค่าโทนสีแดง-เขียว (a*), และค่าโทนสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) สามารถคำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total color difference, ΔE) ดังสมการที่ (1) :

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2+(a^* - a_0^*)^2+(b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

โดย $L^* - L_0^*$ คือ ค่าความแตกต่างของความสว่างระหว่างตัวอย่าง ($L^*$) กับตัวอย่างมาตรฐาน ($L_0^*$)

$a^* - a_0^*$ คือ ค่าความแตกต่างของโทนสีแดง-เขียวระหว่างตัวอย่าง ($a^*$) กับตัวอย่างมาตรฐาน ($a_0^*$)

$b^* - b_0^*$ คือ ค่าความแตกต่างของโทนสีเหลือง-น้ำเงินระหว่างตัวอย่าง ($b^*$) กับตัวอย่างมาตรฐาน ($b_0^*$)

**3.4.2 การวัดความหนา**

ความหนาของฟิล์ม สามารถทดสอบตามวิธีของ ISO 4593 ทำได้โดยนำฟิล์มมาวัดความหนาด้วยเครื่อง Digital Thickness Gauge, Thwing Albert, USA ทำการบันทึกความหนาของฟิล์มแต่ละตำแหน่งแบบสุ่ม จำนวน 20 ตำแหน่ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

**3.4.3 การศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม**

ในการตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility) ตามวิธีของ Samsalee *et al*., 2020 สามารถทำได้โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 2 ซม. × 2 ซม. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนละลาย ($W_0$, กรัม) จากนั้นนำแผ่นฟิล์มใส่ถ้วยอะลูมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 105±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแผ่นฟิล์มออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ใส่ตัวอย่างลงในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นกวน 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และทำการเทสารละลายออก เพื่อแยกฟิล์มที่เหลืออยู่ นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ ($W_1$, กรัม) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย และคำนวณร้อยละการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

โดย $W_0$ คือ น้ำหนักตัวอย่างฟิล์มแห้งเริ่มต้น (กรัม) และ $W_1$ คือ น้ำหนักตัวอย่างฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ (กรัม)

**3.4.4 การศึกษาปริมาณความชื้น**

ในการตรวจสอบปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์ม ตามวิธีของ AOAC สามารถทำได้โดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 2 ซม. × 2 ซม. ชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์มก่อนอบ ($W_0$, กรัม) จากนั้นนำแผ่นฟิล์มใส่ถ้วยอะลูมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 105±2 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น โดยให้น้ำหนักตัวอย่างคงที่ ทำการชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์มหลังอบ ($W_1$, กรัม) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย และคำนวณร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์มดังสมการที่ (3)

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์ม} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

โดย $W_0$ คือ น้ำหนักตัวอย่างฟิล์มก่อนอบ (กรัม) และ $W_1$ คือ น้ำหนักตัวอย่างฟิล์มหลังอบ (กรัม)

**3.4.5 การทดสอบความต้านทานแรงดึงและค่าการยืดตัว**

ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืดตัว (Elongation) ของฟิล์ม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882-18 Tensile Properties of Thin Plastic Sheet ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Universal testing machine; Instron model 68TM-30, USA โดยระยะห่างระหว่างปากจับ 100 มม., อัตราเร็วในการดึง 50 มม./นาที, ความกว้างชิ้นทดสอบ 25.4 มม. และทำการทดสอบ 10 ซ้ำ ต่อตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

**3.4.6 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ**

ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 96/E96M-22 Water vapor transmission of Materials ด้วยเครื่อง Water vapor permeation tester; Labthink Model W3/031, China ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยทำการทดสอบ 2 ซ้ำ ต่อตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

**3.4.7 การทดสอบอัตราการซึมผานของออกซิเจน**

ค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์ม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3985-17 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor ด้วยเครื่อง Oxygen permeation tester; Illinois 8001L, USA ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยทำการทดสอบ 2 ซ้ำ ต่อตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

**3.4.8 การศึกษาลักษณะสัญฐานของฟิล์ม**

โดยนำเอาแผ่นฟิล์มไปเคลือบผิวด้วยแพลตตินัม จากนั้นทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อีมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope, FESEM) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า โดยใช้เครื่องยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-7610FPlus

**3.4.9 การทดสอบการตอบสนองต่อค่า pH**

ในการทดสอบการตอบสนองต่อค่า pH ของแผ่นฟิล์ม สามารถทำได้โดยนำแผ่นฟิล์ม MC/Cst ที่เตรียมโดยใช้ PEG ที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ตัดให้มีขนาด 1 ซม. × 1 ซม. ทดสอบกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH ตั้งแต่ 2-12 จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลอง

**3.4.10 การเปรียบเทียบความสามารถของแผ่นฟิล์มในการตอบสนองต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส ได้แก่ $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$ ที่มีความเข้มข้น 100 ppm**

ในการทดสอบการตอบสนองต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส สามารถทำได้โดยนำแผ่นฟิล์ม MC/Cst ที่เตรียมโดยใช้ PEG ที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ตัดให้มีขนาด 1 ซม. × 1 ซม. ทดสอบกับสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส ได้แก่ $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$ ที่มีความเข้มข้น 100 ppm โดยการหยดสารละลายลงไป 1 หยด จากนั้นทำการบันทึกผลสีของฟิล์มที่เปลี่ยนไป

**3.4.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

การทดลองแต่ละรายการดำเนินการอย่างเป็นระบบ เพื่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ข้อมูลที่ได้ถูกนำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18.0 โดยใช้วิธี

Duncan's multiple range test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม และพิจารณาความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95% ($p < 0.05$)

## 4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน (PEG-400, PEG-800 และ PEG-6000) ต่อคุณสมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส(MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์ม และประเมินประสิทธิภาพการตอบสนองต่อค่า pH ฟิล์มด้วยคู่สารสีตัวชี้วัดเมทิลเรด (MR) และโบรโมไทมอลบลู (BB) ในการบ่งชี้การเปลี่ยนสีภายใต้สภาวะค่า pH ที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะปรากฏของฟิล์ม MC/Cst ทั้งหมดแสดงลักษณะสีเขียว ดังตารางที่ 1 เมื่อตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีฟิล์มจะแสดงค่า L* (ความสว่าง), ค่า a* (โทนสีแดง-เขียว), และค่า b* (โทนสีเหลือง-น้ำเงิน) ที่มีแนวโน้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 2 ซึ่งบ่งบอกได้ว่าการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ PEG มีผลต่อค่าสีของฟิล์ม

**ตารางที่ 1** ลักษณะของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส(MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) โดยใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน (PEG-400, PEG-800 และ PEG-6000)

| $MW_{PEG}$ | | |
|---|---|---|
| PEG-400 | PEG-800 | PEG-6000 |
| | | |

เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์มทุกสูตรพบว่ามีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มได้ทำการควบคุมปริมาณของเมทริกซ์ผสมระหว่างสารละลาย เมทิลเซลลูโลส (MC) และแปลงข้าวโพด (Cst) รวมถึงคู่สารสีตัวชี้วัด MR/BB, สารละลาย NaOH ที่ใช้ในการเติมปรับค่า pH และขนาดของเพลทที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม

**ตารางที่ 2** ค่าสี (L*,a*,b*), ความหนา, ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณความชื้นของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจาก MC/Cst (MC:Cst Ratio = 80:20 โดยใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลแตกต่างกัน) (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล)

| แผ่นฟิล์ม | ค่าสี | | | ความหนา (มิลลิเมตร) | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) | ความสามารถในการการละลายน้ำ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ | | | |
| MC/CSt-PEG400 | 50.89±2.26$^{a}$ | -35.55±2.15$^{a}$ | 46.45±3.02$^{a}$ | 0.12±0.01$^{a}$ | 6.76± 0.09$^{a}$ | 70.76±8.04$^{a}$ |
| MC/CSt-PEG800 | 41.50±1.56$^{b}$ | -43.19±1.21$^{b}$ | 31.78±1.71$^{b}$ | 0.12±0.01$^{ab}$ | 4.07± 0.84$^{b}$ | 62.30±6.51$^{ab}$ |
| MC/CSt-PEG6000 | 36.99±0.79$^{c}$ | -41.89±1.44$^{b}$ | 23.34±0.65$^{c}$ | 0.11±0.01$^{b}$ | 3.89± 0.10$^{b}$ | 54.58±2.37$^{b}$ |

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณความชื้นและความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มลดลงเมื่อมวลโมเลกุลของ PEG เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 เนื่องจากเมื่อมวลโมเลกุลของ PEG เพิ่มขึ้น ความสามารถในการชอบน้ำจะลดลง สายโซ่ของพอลิเมอร์ยาวขึ้น ทำให้เกิดการขวางกั้นการแพร่ผ่านของน้ำภายในโครงสร้างของแผ่นฟิล์ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turhan al., 2004 ที่ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส (MC) โดยมีการเติมพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน พบว่าฟิล์มที่เติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีปริมาณความชื้นและความสามารถในการละลายน้ำมากกว่าฟิล์มที่เติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสอดคล้องกับค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

โดยทั่วไปค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มส่งผลต่อความทนทานของฟิล์มในระหว่างการใช้งาน ในขณะที่ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด สัมพันธ์กับความยืดหยุ่นของฟิล์ม ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างของฟิล์ม ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการศึกษาพบว่าฟิล์ม MC/Cst ที่เติมพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็น 6000 ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 3 เนื่องจากโมเลกุลของ PEG เข้าไปแทรกในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ MC/Cst ส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง MC/Cst และ PEG มากขึ้นเพิ่มระดับการเชื่อมขวางของสายโซ่โมเลกุล (Crosslink) และทำให้แผ่นฟิล์มแข็งแรงขึ้น ดังนั้นพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีมวลโมเลกุลต่ำสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างพอลิเมอร์ได้ง่ายกว่า จึงส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มได้มากกว่า PEG ที่มีมวลโมเลกุลสูง (Sun et al., 2008) ในขณะที่ค่าร้อยละการยืดตัวของ MC/Cst ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ PEG มวลโมเลกุลสูงขึ้น เนื่องจาก PEG ที่มีมวลโมเลกุลสูงและสายโซ่ยาวขึ้น ส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนได้น้อยลง (Yu et al., 2015) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ ที่พบว่าการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ PEG ทำให้ค่าร้อยละการยืดตัวลดลง (Turhan al., 2004) เนื่องจาก PEG ที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่จะละลายและเข้ากันกับโครงสร้างของ MC ได้ไม่ดีเท่า PEG ที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจากความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่าง PEG กับสายโซ่พอลิเมอร์ MC/Cst ลดลง รวมถึงความสามารถในการกระจายตัวของ PEG ภายในเมทริกซ์พอลิเมอร์ MC/Cst ก็ลดลงด้วย ส่งผลทำให้โครงสร้างฟิล์มที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่สม่ำเสมอและแข็งตัวมากขึ้น ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดจึงน้อยลง

**ตารางที่ 3** ค่าความต้านทานแรงดึง, ค่าการยืดตัว, การซึมผ่านของไอน้ำและการซึมผานของออกซิเจนของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจาก MC/Cst (MC:Cst Ratio = 80:20 โดยใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักมวลโมเลกุลแตกต่างกัน) (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล)

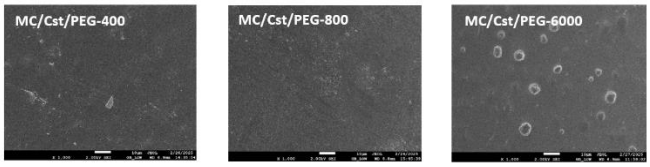
| แผ่นฟิล์ม | ความต้านทานแรงดึง (เมกะปาสคาล) | การยืดตัว (ร้อยละ) | การซึมผานของไอน้ำ ($g/m^2 \cdot day$) | การซึมผานของออกซิเจน ($cm^3/m^2 \cdot day$) |
|---|---|---|---|---|
| MC/CSt-PEG400 | 8.75±1.68[a] | 15.73±5.98[a] | 1552.00±57.98[a] | 35.60±3.82 |
| MC/CSt-PEG800 | 9.87±1.18[a] | 16.12±3.40[a] | 1495.00±50.91[a] | 46.85±6.01 |
| MC/CSt-PEG6000 | 17.53±1.49[b] | 3.41±0.93[b] | 1132.50±79.90[b] | 51.00±9.91 |

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สมบัติการซึมผ่านของไอน้ำเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของการศึกษาผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์ม MC/Cst และการตอบสนองต่อค่าพีเอช โดยค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ต่ำจะช่วยป้องกันการแพร่ของความชื้นจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าสู่แผ่นฟิล์มได้ ซึ่งจากผลการศึกษาในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าหากมีการเพิ่มมวลโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ PEG ในแผ่นฟิล์มมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการซึมผ่านของไอน้ำต่ำลง ซึ่งเหตุผล

สอดคล้องกับการทดสอบความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวเมื่อเติม PEG ลงในเมทริกซ์ของ MC/Cst กล่าวคือ แรงยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายโซ่ MC/Cst–PEG เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มมวลโมเลกุลของ PEG ซึ่งจะไปลดการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้การจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในแผ่นฟิล์มแน่นขึ้น ส่งผลให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้ยากมากขึ้น รวมถึงขนาดของ PEG หากมีมวลโมเลกุลสูงจะมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้เมื่อฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์จะไปลดพื้นที่ว่างระหว่างสายพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นช่องทางหลักที่ไอน้ำใช้แพร่ผ่าน ดังนั้นการที่มีพื้นที่ว่างน้อยลงทำให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลงเช่นกัน

การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ PEG ในแผ่นฟิล์ม MC/Cst ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างเชิงเส้นของ PEG ช่วยสร้างช่องว่างในเมทริกซ์พอลิเมอร์ ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ง่ายขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PEG เพิ่มขึ้น (Sothornvit *et al*., 2000) และเมื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม MC/Cst ที่เตรียมโดยใช้ PEG มวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ด้วยเทคนิคทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์ม MC/Cst/PEG-400 ให้พื้นผิวฟิล์มที่เรียบเนียนและมีความเข้ากันได้ดี ขณะที่แผ่นฟิล์มที่ใช้ PEG ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า (800 และ 6000 กรัมต่อโมล) แสดงลักษณะพื้นผิวขรุขระและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมวลโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์เพิ่มขึ้น จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) ที่ปลายสายโซ่จะลดลง ทำให้สามารถเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้น้อยลง ส่งผลต่อความเข้ากันได้ของ MC/Cst-PEG ในสายโซ่พอลิเมอร์




**ภาพที่ 1** ลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม MC/Cst ที่เตรียมโดยใช้ PEG มวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) (กำลังขยาย 1000 เท่า)

การทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอช เป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของฟิล์มพอลิเมอร์ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะบ่งชี้ความสดและความปลอดภัยของอาหารได้ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการบริโภคอาหารที่ไม่ปลอดภัย และเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ในการศึกษานี้ได้นำแผ่นฟิล์ม MC/Cst ที่เตรียมโดยใช้ PEG ที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) มาทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอช แผ่นฟิล์มทุกสูตรเปลี่ยนสีชัดเจนในช่วง pH 2–6 โดยแสดงสีแดงถึงส้ม และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อ pH เป็นกลาง (pH 7) พบว่าแผ่นฟิล์มทุกสูตรมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชชัดเจนในสภาวะกรด (pH 2-6) โดยเปลี่ยนเป็นสีแดงและสีส้ม และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสภาวะเป็นกลาง (pH=7) ในขณะที่สภาวะเบส (pH>7) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนั้นแผ่นฟิล์ม MC/Cst ทุกสูตรมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เป็นแผ่นฟิล์มตัวชี้วัดสำหรับการบ่งชี้ความสดและความปลอดภัยของอาหารในสภาวะกรด (pH 2-6) ที่จะสามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน

การทดสอบการตอบสนองต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส ได้แก่ $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$ ที่มีความเข้มข้น 100 ppm ถูกนำมาทดสอบกับแผ่นฟิล์ม MC/Cst/ PEG (400, 800 และ 6000) เนื่องจากสารเคมีเหล่านี้สามารถเป็นตัวแทนของสารระเหยที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเน่าเสียของอาหารหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสภาวะแวดล้อมได้ง่าย

**ตารางที่ 4** แสดงการเปลี่ยนสีของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส(MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) โดยใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน (PEG-400, PEG-800 และ PEG-6000) ต่อการตอบสนองต่อค่า pH 2-12 (pH-responsiveness)

| $MW_{PEG}$ | pH | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PEG-400 | | | | | | | | | | | |
| PEG-800 | | | | | | | | | | | |
| PEG-6000 | | | | | | | | | | | |

ในการศึกษานี้ได้นำแผ่นฟิล์ม MC/Cst/ PEG (400, 800 และ 6000) ดังกล่าวทดสอบการตอบสนองต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส ได้แก่ $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$ ที่มีความเข้มข้น 100 ppm พบว่าฟิล์ม MC/Cst/PEG-400 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสาร $SO_2$ และสาร HCl ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม MC/Cst/PEG-400 เมื่อสัมผัสกับ $NH_4OH$ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นเบส แสดงให้เห็นว่าฟิล์มดังกล่าวมีการตอบสนองต่อสภาวะกรดมากกว่าสภาวะเบส อย่างไรก็ตามฟิล์ม MC/Cst/PEG-800 และ MC/Cst/PEG-6000 ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อทดสอบภายใต้วิธีเดียวกัน ดังตารางที่ 5 เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ PEG ในกรณีของ PEG-800 และ PEG-6000 ที่เติมลงในฟิล์ม MC/Cst ส่งผลต่อโครงสร้างภายในฟิล์ม ทำให้โครงสร้างของฟิล์มมีความหนาแน่นและจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ลดการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในฟิล์ม การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสีจึงน้อยลงเมื่อสัมผัสกับสาร $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$

**ตารางที่ 5** แสดงการเปลี่ยนสีของฟิล์มเมทิลเซลลูโลส(MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) โดยใช้พลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน (PEG-400, PEG-800 และ PEG-6000) ต่อการตอบสนองต่อสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส ได้แก่ $SO_2$, HCl และ $NH_4OH$ ที่มีความเข้มข้น 100 ppm

| $MW_{PEG}$ | pH - responsiveness | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $H_2O$ | $SO_2$ 100 ppm | HCl 100 ppm | $NH_4OH$ 100 ppm |
| PEG-400 | | | | |
| PEG-800 | | | | |
| PEG-6000 | | | | |

## 5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์ PEG ที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน (400, 800 และ 6000 กรัมต่อโมล) ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกลและการตอบสนองต่อค่าพีเอชของแผ่นฟิล์มเมทิลเซลลูโลส (MC) และแป้งข้าวโพด (Cst) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลพลาสติไซเซอร์ PEG ไม่มีผลต่อค่าความหนา แต่พบว่ามีผลต่อค่าสี ปริมาณความชื้น ความสามารถในการละลายน้ำ

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ และค่าการซึมผ่านของออกซิเจน นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของ PEG มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม โดยแผ่นฟิล์ม MC/Cst/PEG-400 มีลักษณะเรียบเนียน ในขณะที่แผ่นฟิล์ม MC/Cst/PEG-800 และ MC/Cst/PEG-6000 มีลักษณะพื้นผิวขรุขระและไม่สม่ำเสมอ ส่วนการทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอช พบว่าแผ่นฟิล์ม MC/Cst ทุกสูตรตอบสนองต่อค่าพีเอชในสภาวะกรด (pH 2-6) และฟิล์ม MC/Cst/PEG-400 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจนเมื่อสัมผัสกับสาร $SO_2$ และสาร HCl ที่ความเข้มข้น 100 ppm ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด จากการศึกษาสมบัติต่างๆของฟิล์ม MC/Cst ในงานวิจัยนี้พบว่าฟิล์มที่เติมพลาสติไซเซอร์ PEG น้ำหนักโมเลกุล 400 กรัมต่อโมล มีสมบัติของฟิล์มโดยรวมที่ดี ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะบ่งชี้ความสดและความปลอดภัยของอาหารได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้การดำเนินงานวิจัยบรรลุเป้าหมายตามที่ตั้งไว้

## 7. เอกสารอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Official Methods of Analysis, 16th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 2000.

Arik Kibar, E. A., & Us, F., 2017. Starch–cellulose ether films: microstructure and water resistance. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(2). https://doi.org/10.1111/jfpe.12382

Bourtoom, T. (2008). Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, *30*. https://sjst.psu.ac.th/journal/30-Suppl-1/0125-3395-30-S1-149-156.pdf

Cheng, R., Niu, B., Fang, X., Chen, H., Chen, H., Wu, W., & Gao, H., 2024. Preparation and characterization of water vapor-responsive methylcellulose-polyethylene glycol-400 composite membranes and an indication of freshness of shiitake mushrooms. *International Journal of Biological Macromolecules*, *270*, 132189. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132189

Gasti, T., Dixit, S., D'souza, O. J., Hiremani, V. D., Vootla, S. K., Masti, S. P., ... & Malabadi, R. B., 2021. Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing Phyllanthus reticulatus anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet. *International Journal of Biological Macromolecules*, *187*, 451-461. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.128

Kim, CH, Kim, DW & Cho, KY 2009, The influence of PEG molecular weight on the structural changes of corn starch in a starch/PEG blend, *Polymer bulletin*, *63*(1), 91-99. https://doi.org/10.1007/s00289-009-0065-8

Nopparat, V., Phattaraporn, R., Sahatsawat, T., Sathukarn, K. & Ratchaneewan, K., 2023. Development of a Smart Colorimetric Methyl Cellulose/Corn Starch Indicator Film for $SO_2$ Real-time Monitoring and Its Application in Fruit Packaging. In Proceedings of the 3rd National and International Conference 2023 (pp. 1069-1080).

Samsalee, N., & Sothornvit, R., 2020. Characterization of food application and quality of porcine plasma protein–based films incorporated with chitosan or encapsulated turmeric oil. *Food and Bioprocess Technology*, *13*(3), 488-500. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02411-2

Sothornvit, R., & Krochta, J. M., 2000. Plasticizer effect on oxygen permeability of β-lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(12), 6298-6302. https://doi.org/10.1021/jf000836l

Sun, G, Zhang, X-Z, & Chu, C-C 2008, 'Effect of the molecular weight of polyethylene glycol (PEG) on the properties of chitosan-PEG-poly(N-isopropylacrylamide) hydrogels', *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, *19*(8), 2865–2872. https://doi.org/10.1007/s10856-008-3410-9

Turhan, K. N., & Şahbaz, F., 2004. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. *Journal of Food Engineering*, *61*(3), 459-466. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00155-9

Yacob, N., Yusof, M. R., Mahmud, M., Mohamed, A. Z., & Badri, K. H. 2021. Effect of different molecular weight and concentration of polyethylene glycol (PEG) on tensile and morphology of sago starch film. *ASM Sci. J*, *16*, 1-10. https://doi.org/10.32802/asmscj.2021.571

Yu, Y., Cheng, Y., Ren, J., Cao, E., Fu, X., & Guo, W., 2015. Plasticizing effect of poly (ethylene glycol) with different molecular weights in poly (lactic acid)/starch blends. *Journal of Applied Polymer Science*, *132*(16). https://doi.org/10.1002/app.41808

# การพัฒนากาวชีวภาพปราศจากบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลังกับกัวร์กัมสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูก
# Development of a Borax-Free Bio-Adhesive from Cassava Starch and Guar Gum for Corrugated Cardboard Packaging

**สาธุกานต์ กาบคำ[1], ปวีณ์ธิดา ปักใคหัง[2], พิพัฒน์ เนียมเปรม[3], นพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา[4]***
**Sathukarn Kabcum[1], Paweethida Pakkaihang[2], Pipat Neamprem[3], Nopparat Viriyakitpattana[4]***

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
196 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
Thai Packaging Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)
Phahonyothin Road, Chatuchak, E-mail: nopparat_v@tistr.or.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากาวชีวภาพชนิดปราศจากบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลัง (TSt) ร่วมกับกัวร์กัม (GG) เพื่อประยุกต์ใช้กับกล่องกระดาษลูกฟูก โดยมุ่งเน้นการพัฒนาจากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน โดยเตรียมกาวในสูตรต่างๆจากการผสมแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักกับกัวร์กัมในความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 0, 1, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแป้ง) จากนั้นนำมาวิเคราะห์สมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ ความหนืด ปริมาณของแข็ง และค่าความชื้นของฟิล์มกาว รวมถึงสมบัติการยึดติดโดยทดสอบแรงลอกบนกระดาษลูกฟูก ผลการทดลองพบว่า การเติมกัวร์กัมช่วยเพิ่มความหนืดและความคงตัวของกาวได้ โดยสูตรกาวผสมของแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 3 โดยน้ำหนักกับกัวร์กัมความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแป้ง (3-TSt/5-GG) ให้ผลการยึดติดที่ดีที่สุด กาวชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการใช้งานทดแทนกาวที่มีสารเคมีอันตราย และมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษ

**คำสำคัญ:** กาวชีวภาพ แป้งมันสำปะหลัง กัวร์กัม ปราศจากบอแรกซ์ กระดาษลูกฟูก

**Abstract**

This research aimed to develop a borax-free bio-based adhesive from Tapioca starch (TSt) combined with guar gum (GG) for application in corrugated cardboard packaging. The focus was on utilizing environmentally friendly and user-safe materials. The adhesives were prepared by mixing 3%w/w Tapioca starch with varying concentrations of guar gum at 0%, 1%, 5%, 7.5%, and 10% w/w based on starch weight. The resulting adhesives were analyzed for their physical properties, including viscosity, solid content, and moisture content of the dried films. Adhesion performance was also evaluated through peel strength tests on corrugated paperboard. The results showed that the addition of GG improved the viscosity and stability of the adhesive. Among all formulations, the mixture containing 3% w/w tapioca starch and 5% w/w guar gum based on starch weight (3-

TSt/5-GG) exhibited the highest bonding performance. The developed bio-adhesives demonstrated strong potential as an alternative to conventional chemical-based adhesives and showed promising applicability in the paper packaging industry

**Keywords:** Bio-based adhesive, Cassava starch, Guar gum, Corrugated paper

**1. บทนำ**

บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากผลิตจากวัสดุหมุนเวียน สามารถย่อยสลายและรีไซเคิลได้ (Su, H. et al., 2023) เหมาะสมกับแนวทางการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยความแข็งแรงโดยรวมของกล่องกระดาษลูกฟูกขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษลอนและกระดาษผิวหน้า รวมถึงชนิดของกาวที่ใช้ยึดติดระหว่างชั้นกระดาษ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการรับแรงและการคงรูปของกล่อง

กาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมกล่องกระดาษลูกฟูกมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและกระบวนการใช้งาน เช่น การการปิดฝากล่องหรือเชื่อมรอยต่อในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต นิยมใช้กาวร้อนละลาย (hot-melt adhesive) เช่น EVA หรือ polyolefin เนื่องจากแห้งเร็วและยึดติดได้ทันที (Vishnuvarthanan, M. *et al*., 2013) ส่วน กาวสังเคราะห์ (synthetic resin adhesives) เช่น PVAc หรือกาวยูเรีย–ฟอร์มัลดีไฮด์ ก็ยังถูกใช้ในบางกรณีที่ต้องการแรงยึดติดสูงหรือใช้กับกล่องที่มีผิวมันหรือเคลือบผิว (Conde, García, Liarte, & Jiménez, 2012) หรือจะเป็นกาวแป้งที่ใช้บอแรกซ์ร่วมเพื่อช่วยเพิ่มความหนืดและความสามารถในการยึดติดของกาว (Neumann, M. *et al*., 2013) แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารบอแรกซ์ในสูตรกาวแป้งสำหรับงานกระดาษ ยังมีข้อจำกัดและความกังวลในด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตที่ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับสารนี้เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ ส่งผลให้เกิดการระคายเคืองจมูก คอ หรือระบบทางเดินหายใจ และยังมีความเสี่ยงต่อระบบสืบพันธุ์และทารกในครรภ์ (Hadrup, Frederiksen, & Sharma, 2021; Pongsavee, 2009) ทำให้สารบอแรกซ์ถูกจัดเป็นสารควบคุมในหลายประเทศ (Neumann, M. *et al*., 2013)

ในช่วงหลังมานี้ จึงมีแนวโน้มการพัฒนากาวชีวภาพ (bio-based adhesives) เพื่อทดแทนสูตรที่มีสารเคมีอันตรายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในบางกรณีที่กล่องกระดาษลูกฟูกนั้นนำมาใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นกาวที่ใช้ในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับอาหารนั้นจึงจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ ซึ่งกาวชีวภาพนี้สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิดที่ได้จากแหล่งชีวภาพ เช่น แป้ง แทนนิน แซนแทนกัม เจลาติน ลิกนิน (Kim, 2009) (Feng *et al*., 2018) (Dorr, Frazier, Hess, Traeger, & Srubar Iii, 2015) (Lin *et al*., 2024) และวัตถุดิบอินทรีย์อื่นๆ เช่น เซลแล็กและไคโตซาน (Vrabič-Brodnjak, 2023) รวมถึงกาวที่มาจากสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียมซิลิเกต(Lehman-Chong, Setters, McDonald, & Maughan, 2025) ซึ่งสามารถใช้ในงานบรรจุภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ในส่วนของกาวที่ใช้ติดชั้นแผ่นกระดาษเรียบ (liner) กับชั้นลอน (medium) ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ มักใช้กาวที่ผลิตจากแป้งเป็นหลัก (starch-based adhesive) เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถใช้งานในสายการผลิตความเร็วสูงได้ดี ทำให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น บรรจุภัณฑ์กระดาษ [Watcharakitti, J. *et. al.,* 2020] แป้งธรรมชาติประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์หลัก 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส (amylose) ซึ่งมีโครงสร้างสายยาวแบบเส้นตรง และอะไมโลเพกติน (amylopectin) มีลักษณะเป็นโครงสร้างกิ่งซ้อนกัน โดยปริมาณโครงสร้างของทั้งสององค์ประกอบนี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและการใช้งานโดยเฉพาะในอุตสาหกรรม

อาหารและบรรจุภัณฑ์ แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch, TSt) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ธรรมชาติที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งที่ได้จากพืชหัวมันสำปะหลัง ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบหมุนเวียนที่มีความอุดมสมบูรณ์ในประเทศไทยและหลายประเทศเขตร้อน [Maulana, M. I. *et. al*., 2020] ซึ่งการเลือกแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการพัฒนากาวชีวภาพมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ต้นทุนต่ำและ ความสามารถในการเกิดเจลได้ดีเมื่อถูกความร้อน ทำให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น บรรจุภัณฑ์กระดาษ อีกทั้งแป้งมันสำปะหลังยังมีปริมาณอะไมโลสในระดับปานกลางถึงสูง ซึ่งทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากและสามารถพัฒนาเป็นกาวที่มีความหนืดและแรงยึดติดได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีอันตราย [Maulana, M. I. *et. al*., 2020] แต่ก็ยังมี ข้อจำกัดบางประการที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของกาวในเชิงอุตสาหกรรม เช่น ความหนืดที่ไม่คงตัวเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน, แรงยึดติดต่ำเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นผิววัสดุบางชนิดและการเกิดการตกตะกอนหรือแยกชั้นในระหว่างการจัดเก็บหรือใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่นำกาวแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงสูตรซึ่งทำได้หลากหลายวิธี เช่น การดัดแปรด้วยสารเชื่อมโยง (crosslinker) หรือการเติมพอลิเมอร์ธรรมชาติอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน [Watcharakitti, J. *et. al*., 2020]

กัวร์กัม (Guar gum, GG) เป็นสารธรรมชาติที่สกัดจากเยื่อเมล็ดของพืชถั่วกัวร์ (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อาหาร ยา และน้ำมัน เนื่องจากโครงสร้างพอลิเมอร์สายยาวของกัวร์กัมสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดี จึงทำให้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและเพิ่มความหนืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันเป็นกัมหลักที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียว (tackifier) หรือสารยึดประสานในวัสดุคลุมดินแบบพ่น (hydromulches) ที่ใช้ในการควบคุมการชะล้างหน้าดิน และยังใช้เป็นสารช่วยจับตัวเป็นก้อนในทรายแมวชีวภาพที่ย่อยสลายได้ (Vaughn *et al*., 2013) การนำกัวร์กัมผสมเข้ากับแป้งมันสำปะหลัง คาดว่าจะช่วยให้กาวมีความคงตัวสูงขึ้น ลดการแยกชั้นของสารละลายและยังช่วยปรับปรุงแรงยึดติดในสภาพการใช้งานจริง โดยเฉพาะกับวัสดุกระดาษลูกฟูกที่ต้องเผชิญกับแรงดึงและความชื้นในกระบวนการผลิตและการใช้งาน จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกาวบนกล่องกระดาษลูกฟูกได้ดีขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนากาวชีวภาพที่ปลอดจากสารบอแรกซ์ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารยึดประสานหลักร่วมกับกัวร์กัมผสมให้เป็นกาวเนื้อเดียวกัน ซึ่งกัวร์กัมเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีความสามารถในการเพิ่มความหนืดและเสถียรภาพของกาวอย่างมีประสิทธิภาพ กาวที่ได้จะถูกวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ ความหนืด, ปริมาณของแข็ง, ปริมาณความชื้นและความสามารถในการยึดติด เพื่อประเมินความเหมาะสมต่อการใช้งานในกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อทดแทนกาวสูตรเดิมที่ใช้สารเคมีอันตราย

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนากาวชีวภาพชนิดปลอดบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลังและกัวร์กัม
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกาวสูตรต่างๆที่เตรียมได้ เพื่อประเมินการประยุกต์ใช้กับกล่องกระดาษลูกฟูก

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

1. กระดาษลูกฟูกแบบ Single Face ลอน B
2. Doctor blade coating (DB150MM Mitutoyo, Japan)
3. Overhead stirrer (OES-20M, China)

4. Zahn Cup No.4 (Grado USA.)
5. Hotplate Stirrer (D-82362, Xylem Analytics, Germany)
6. แผ่นสเตนเลสขนาด 15 ซม.x15 ซม. น้ำหนัก 5 กิโลกรัม

3.2 สารเคมี

1. Starch (อุตสาหกรรมแป้งไทย)
2. NaOH (Carlo Erba, Italy)
3. Guar gum (UNION CHEMICAL 1986 Co.,Ltd., Thailand)

3.3 การเตรียมกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัม

ในการเตรียมกาวชีวภาพ เตรียมได้โดยชั่งแป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch, Tst) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ผสมกับกัวร์กัม (Guar gum, GG) ในความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแป้ง ในน้ำกลั่น ปรับค่าพีเอชของผสมนั้นให้เป็น 9 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (0.1 M NaOH) จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้เครื่องปั่นกวน (Overhead stirrer, OES-20M, China) เพื่อให้ส่วนผสมเกิดการละลายและพองตัวอย่างสมบูรณ์ หลังจากครบเวลาที่กำหนด ทิ้งให้กาวผสมสารเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง โดยสูตรกาวผสมแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักผสมกัวร์กัมใช้สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้ได้แก่ (3-TSt, 3-TSt/1-GG, 3-TSt/5-GG, 3-TSt/7.5-GG และ 3-TSt/10-GG) เพื่อเตรียมนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและประเมินประสิทธิภาพของกาวต่อไป

3.4 การทากาวบนลอนกระดาษลูกฟูก

ในการเตรียมตัวอย่างการทากาวบนกระดาษลูกฟูกทางคณะผู้วิจัยจะตัดกระดาษลูกฟูกแบบ Single Face ลอน B ส่วนชั้นกระดาษเรียบ (liner) ขนาดกว้างยาว 15 ซม.x15 ซม. และ กระดาษลูกฟูกแบบ Single Face ลอน B ขนาดกว้าง 15 ซม.x15 ซม. เช่นเดียวกัน โดยจะทำการจำลองการทากาวบนกระดาษลูกฟูก โดยการนำกระดาษส่วนชั้นกระดาษเรียบวางบน Hotplate ที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที โดยในขณะเดียวกันจะนำกาวแป้งมันสำปะหลังผสมกัวร์กัม ปาดกาวโดยเครื่อง Rod coating นำชั้นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว วางบนเครื่อง Rod coating กดทับด้วยแผ่นน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ขนาด 15 ซม.x15 ซม. เป็นเวลา 15 วินาที เช่นเดียวกันหลังจากจับเวลาครบ ให้นำแผ่นกระดาษส่วนไลน์เนอร์ และกระดาษลูกฟูกแบบ Single face ส่วนลอนที่เคลือบกาวมาประกบกันด้วยแผ่นน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ขนาด 15 ซม.x15 ซม. วางทับเป็นเวลา 15 วินาที หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.5 การวิเคราะห์ความหนืด

วัดค่าความหนืดของกาวโดยใช้ Zahn cup (หมายเลข 4) ซึ่งเป็นถ้วยวัดความหนืดแบบไหล ทดสอบโดยจุ่ม Zahn cup ลงในกาว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นยกถ้วยขึ้นให้ของเหลวไหลออก และใช้เครื่องจับเวลาในการจับเวลาตั้งแต่เริ่มไหลจนหยดสุดท้ายขาดออกจากรูที่ฐานของถ้วย เวลาที่ได้ (หน่วยเป็นวินาที) จะถูกนำมาแปลงเป็นค่าความหนืดแบบ kinematic viscosity (หน่วยเป็น centistokes, cSt) โดยอ้างอิงจากตามมาตรฐาน ASTMD 4212 Viscosity by dip-type viscosity cups

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งในกาว (Solid content)

นำตัวอย่างกาวที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักประมาณ 2–3 กรัมในภาชนะที่แห้งและสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ เพื่อระเหยตัวทำละลายออกทั้งหมด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นใน

โถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการอบนำมาใช้ในการคำนวณร้อยละของของแข็งในกาว โดยคำนวณดังสมการที่ (1):

$$\text{ปริมาณของแข็งในกาว (\%)} = \frac{(W_2 - W_0)}{(W_1 - W_0)} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ $W_0$ คือ น้ำหนักภาชนะเปล่า (กรัม), $W_1$ คือ น้ำหนักภาชนะรวมกับกาวก่อนอบ (กรัม) และ $W_2$ คือ น้ำหนักภาชนะรวมกับของแข็งที่เหลือหลังจากการอบ (กรัม) ค่าร้อยละของของแข็งที่ได้สามารถใช้ประเมินความเข้มข้นของสารไม่ระเหยในสูตรกาว ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติการยึดติด ความหนืด และคุณภาพของการเคลือบลงบนกระดาษ

3.6 การวิเคราะห์ความชื้นในฟิล์มกาว

การตรวจวัดปริมาณความชื้นในฟิล์มกาวที่เตรียมขึ้นดำเนินการตามวิธีของ Alqahtani และคณะ (Alqahtani, Alnemr, & Ali, 2021) นำตัวอย่างฟิล์มกาวที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่นแล้วมาตัดให้มีขนาด 2 ซม. x 2 ซม. จากแต่ละสูตร แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักก่อนอบ ($W_0$, กรัม) และหลังอบ ($W_1$, กรัม) โดยตัวอย่างแต่ละชุดทดสอบจำนวน 3 ครั้ง แล้วคำนวณปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไปโดยใช้สมการที่ 2

$$\text{ปริมาณความชื้นของกาว (\%)} = \frac{(W_0 - W_1)}{(W_0)} \times 100 \qquad (2)$$

3.7 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FTIR)

ทางคณะผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกาวโดยใช้เครื่อง FTIR Spectrometer รุ่น Nicolet iS50 (Thermo Scientific, USA) โดยเก็บข้อมูลสเปกตรัมในช่วงคลื่น 4000–400 $cm^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การสแกนดำเนินการทั้งหมด 64 ครั้ง ด้วยความละเอียด 4 $cm^{-1}$ ในตัวอย่างกาวแป้งมันสำปะหลัง 3 %โดยน้ำหนัก ผสมกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1, 5, 7.5 และ 10 %โดยน้ำหนัก

3.8 การทดสอบความแข็งแรงในการลอกออก

ทำการตัดชิ้นทดสอบจากตัวอย่างกระดาษ ให้มีขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร และความยาวไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปปรับสภาวะตามมาตรฐาน ISO 187 ที่อุณหภูมิ (23 ±1) องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ (50±2)% เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ในการทดสอบ จะยึดปลายทั้งสองด้านของกระดาษในเครื่องทดสอบ Universal testing machine (Instron model 68TM-30) ติดตั้งโหลดเซลล์ขนาด 50 นิวตัน และทำการดึงกระดาษให้ลอกออกจากกันในแนวตั้ง โดยกำหนดระยะเริ่มต้นของการยึดจับ (initial grip) ที่ 10 มิลลิเมตร และกำหนดอัตราความเร็วในการดึงที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นบันทึกค่าแรงดึงที่ใช้ในการแยกชั้นกระดาษ และรายงานผลเป็นค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยในหน่วยนิวตันต่อมิลลิเมตร โดยแต่ละชนิดของกระดาษจะทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นตัวอย่าง

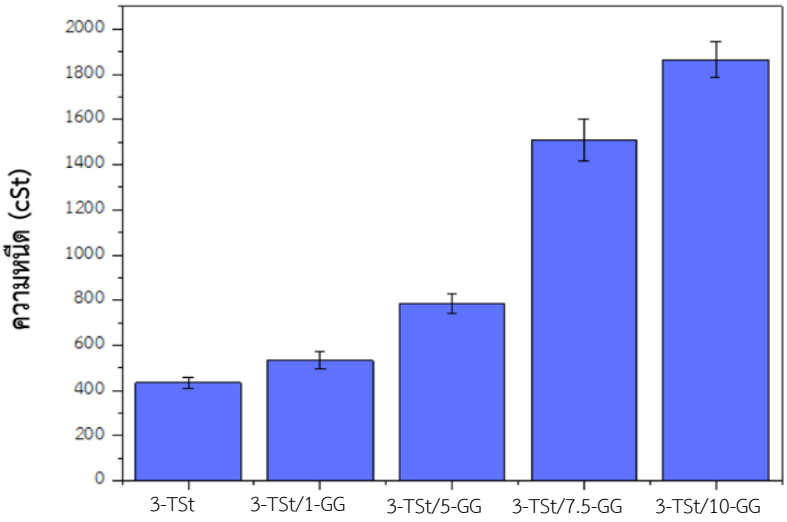
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองแต่ละชุดดำเนินการทำซ้ำอย่างเป็นระบบอย่างน้อย 3 ครั้ง ข้อมูลที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) การวิเคราะห์ค่าทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18.0 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีการของ Duncan’s multiple range test และพิจารณาว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อค่า $p < 0.05$

## 4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์สมบัติความหนืดของเนื้อกาว

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกาวชีวภาพที่พัฒนาขึ้นจากวัสดุต่างๆ ในงานวิจัยนี้ จึงได้ดำเนินการทดสอบสมบัติพื้นฐานของกาว ได้แก่ ความหนืด ปริมาณของแข็ง และปริมาณความชื้นของฟิล์มกาว รวมถึงคุณสมบัติการยึดติดบนกระดาษลูกฟูกผ่านการทดสอบแรงลอก (peel strength) และผลเชิงประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้สูตรกาวที่มีสัดส่วนของกัวร์กัมที่ใส่ลงไปในแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณแตกต่างกัน ทั้งนี้ผลการทดสอบจะถูกนำเสนอเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของสูตรต่างๆ ในการส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของกาวที่ใช้กับวัสดุกระดาษ จากภาพที่ 1 แสดงผลของความหนืดของกาวแป้งมันสำปะหลังและกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัมสูตรต่างๆ พบว่าการเติมกัวร์กัมในแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้นและยิ่งปริมาณของกัวร์กัมเพิ่มมากขึ้น ความหนืดของกาวเพิ่มมากขึ้นด้วย จากความหนืดของกาวแป้งมันสำปะหลังที่ไม่เติมกัวร์กัมประมาณ 434±23 เซนติสโตก เป็น 533±39, 784±44, 1510±92 และ 1865±78 เซนติสโตก เมื่อเพิ่มปริมาณกัวร์กัมในสูตรที่ร้อยละ 1, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังแห้ง ตามลำดับ




**ภาพที่ 1** ความหนืดกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัม

4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางด้านปริมาณของแข็ง ปริมาณความชื้น และแรงยึดติดของกาว

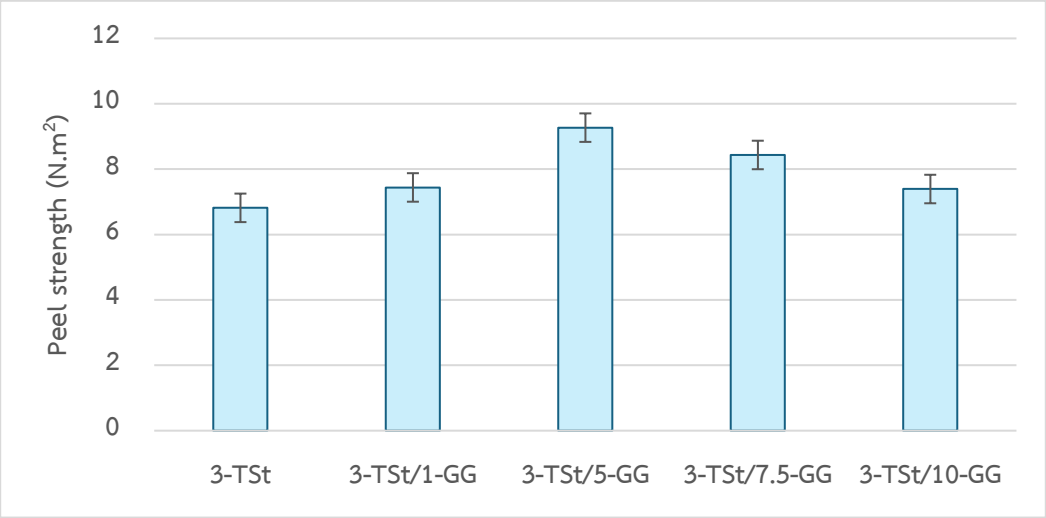
เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งในสูตรกาวจากตารางที่ 1 พบว่า การเพิ่มปริมาณกัวร์กัมทำให้ปริมาณของแข็งในสูตรกาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระดับอุตสาหกรรมควรอยู่ในช่วง 800–1000 เซนติสโตก จากการทดสอบแรงยึดติดระหว่างชั้นกระดาษเรียบ (liner) และชั้นลอน (medium) ตามตารางที่ 1 และภาพที่ 2 พบว่า สูตรที่มีแป้งมันสำปะหลัง 5% และกัวร์กัม 3% โดยน้ำหนัก ให้ค่าแรงยึดติดสูงสุด ที่ 9.27±0.55 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณกัวร์กัมที่เหมาะสมสามารถดูดซับน้ำได้ดีแต่ไม่ละลายทั้งหมด ทำให้ปริมาณของแข็ง (ส่วนเนื้อกาว) ยังคงอยู่ในระบบ และช่วยสร้างโครงสร้างการยึดเกาะของกาวที่เหมาะสม อีกทั้งปริมาณความชื้นที่ลดลงสะท้อนถึงการเกิดโครงสร้างที่สามารถกักเก็บน้ำในรูปที่ไม่ระเหยง่าย ส่งผลให้ความชื้นอิสระ (free

moisture) ลดลง ขณะเดียวกัน ความหนืดที่อยู่ในช่วงเหมาะสมช่วยป้องกันไม่ให้กาวซึมผ่านกระดาษเร็วเกินไป และสามารถแพร่กระจายระหว่างชั้นลอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นระหว่างชั้นกระดาษในกล่องลูกฟูก

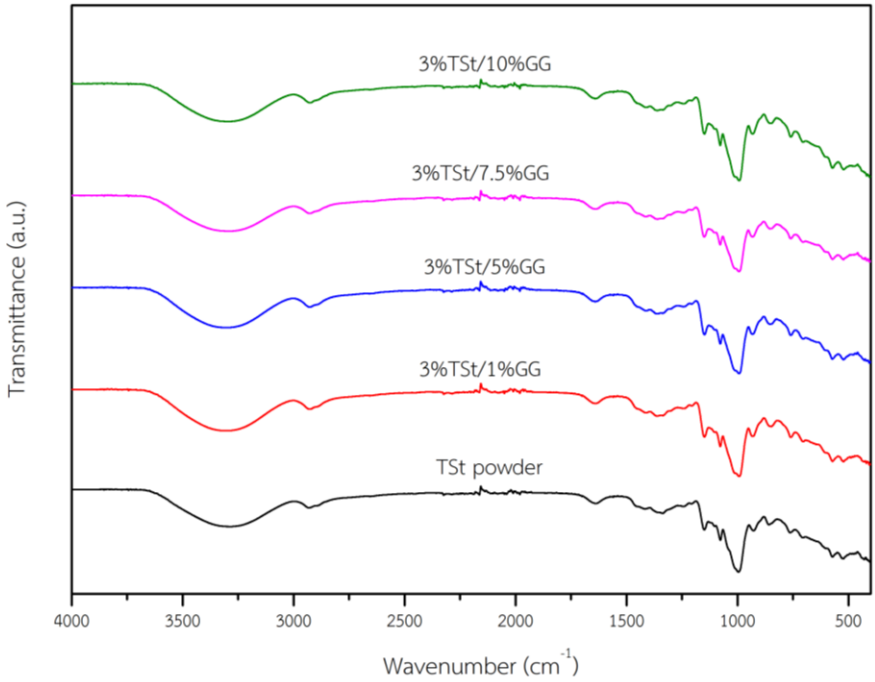
**ตารางที่ 1** ผลร้อยละปริมาณของแข็งและปริมาณความชื้นของกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัมที่ความเข้มข้นต่างกัน

| สูตรกาว | ปริมาณของแข็ง (%) | ปริมาณความชื้น (%) |
|---|---|---|
| 3-TSt | 2.99±0.04[a] | 9.98±0.03 |
| 3-TSt/1-GG | 2.96±0.10[a] | 9.13±0.31 |
| 3-TSt/5-GG | 3.15±0.08[b] | 8.62±0.06 |
| 3-TSt/7.5-GG | 3.15±0.02[b] | 8.31±0.10 |
| 3-TSt/10-GG | 3.19±0.03[b] | 6.66±1.22 |

ข้อมูลทั้งหมดถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ยร่วมกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) เพื่อแสดงแนวโน้มของผลการทดลอง โดยผลที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)




**ภาพที่ 2** ผลแรงยึดติดของกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัม




**ภาพที่ 3** ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของตัวอย่างกาวแป้งมันสำปะหลัง/กัวร์กัม

จากภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม FTIR แสดงให้เห็นว่าการเติมกัวร์กัมในสูตรกาวแป้งมันสำปะหลังส่งผลต่อโครงสร้างโมเลกุลอย่างชัดเจน โดยพบว่าที่บริเวณ Wavenumber ~3300 $cm^{-1}$ (O–H stretching) มีผลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง TSt และ GG ส่วนบริเวณ Wavenumber ~2920 $cm^{-1}$ (C–H) และ ~1640 $cm^{-1}$ (H–O–H bending) เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ขณะที่บริเวณ 1150–1000 $cm^{-1}$ ซึ่งเป็นส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในสูตรที่มี GG 5% ขึ้นไป บ่งชี้ถึงการสร้างโครงสร้างเชิงเครือข่ายของพอลิเมอร์ (network formation) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของกาว โดยสูตรที่มี GG 5–7.5% มีแนวโน้มเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับกล่องกระดาษลูกฟูก เนื่องจากมีโครงสร้างที่สมดุลระหว่างความหนืดและการยึดเกาะ

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ปัจจุบันมีความตื่นตัวในการลดหรือยกเลิกการใช้สารเคมีอันตรายในผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะสารบอแรกซ์ (Sodium borate) ซึ่งถูกจัดเป็นสารควบคุมในหลายประเทศ เนื่องจากมีพิษต่อระบบสืบพันธุ์และไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและอาหาร จึงเกิดความพยายามพัฒนาสูตรกาวแป้งปราศจากบอแรกซ์ (Borax-free starch adhesive) โดยใช้สารเติมแต่งจากธรรมชาติ เช่น กัวร์กัม ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตกาวที่ปลอดภัย ย่อยสลายได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหาร ออร์แกนิก และบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในปัจจุบันกาวแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษมักประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังดิบและแป้งดัดแปร รวมถึงส่วนผสมอื่น ๆ รวมถึง 23-25% ของแข็ง(เนื้อกาว)โดยการเลือกใช้กาวสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูกต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ลักษณะพื้นผิวกระดาษ สภาพแวดล้อมการผลิตและจัดเก็บ ความเร็วสายการผลิต และแรงยึดติดที่รองรับน้ำหนักและแรงกระแทก กาวที่พัฒนาจึงต้องมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยคณะผู้วิจัยตั้งเป้าลดสัดส่วนแป้งให้เหลือ 20% รวมถึง 23-25% ของแข็ง(เนื้อกาว) พร้อมเพิ่มความแข็งแรงของกาว เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตสูตรกาวสำหรับกระดาษลูกฟูกให้เหมาะสมในระดับอุตสาหกรรม

จากการทดลองพบว่า การเติมกัวร์กัมช่วยเพิ่มความหนืดของกาวจากเดิมอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้ปริมาณของแข็งในสูตรกาวเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณความชื้นในฟิล์มกาวลดลงซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างกาวที่สามารถกักเก็บน้ำในรูปไม่ระเหยได้ง่าย จากการศึกษาการพัฒนากาวชีวภาพปลอดบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลังและกัวร์กัม พบว่า การเติมกัวร์กัมในสูตรกาวช่วยเพิ่มความหนืดได้ นอกจากนี้ ผลการทดสอบแรงลอก (peel strength) บ่งชี้ว่ากาวสูตร 3-TSt/5-GG ให้ค่าแรงยึดติดสูงสุดถึง 9.27±0.55 N·m² ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยความหนืดของสูตรดังกล่าวอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการเคลือบบนกระดาษ แสดงให้เห็นว่ากาวที่พัฒนาขึ้นสามารถยึดติดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีแนวโน้มที่จะใช้งานแทนกาวที่มีสารเคมีอันตรายได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังพบว่าโครงสร้างทางเคมีของกาวในสูตรที่มี GG 5–7.5% เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามการวิเคราะห์ด้วย FTIR บ่งชี้ถึงการสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์ที่เสริมแรงยึดเกาะของเนื้อกาว

โดยสรุปกาวชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและกัวร์กัมมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในกล่องกระดาษลูกฟูกได้จริง โดยไม่ต้องใช้สารบอแรกซ์ และส่งเสริมแนวทางการพัฒนาสูตรกาวที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้คณะผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาทั้งในส่วนของสมบัติทางวัสดุศาสตร์เพิ่มเติม ได้แก่ การศึกษาลักษณะทางด้านโครงสร้างของตัวกาวด้วยเครื่องมือทางด้านวัสดุศาสตร์ รวมไปถึงการศึกษาระยะยาวในการขึ้นรูปต้นแบบกล่องกระดาษ และการทดสอบในบรรจุภัณฑ์ขนส่งตามมาตรฐาน ISTA และการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้ทุนวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการใช้ประโยชน์ (ทุน ววน. ประจำปี 2568 รหัสโครงการ 4772859) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสนับสนุนให้สามารถดำเนินโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วง

## 7. เอกสารอ้างอิง

Alqahtani, N., Alnemr, T., & Ali, S. (2021). Development of low-cost biodegradable films from corn starch and date palm pits (Phoenix dactylifera). *Food Bioscience, 42*, 101199. doi:10.1016/j.fbio.2021.101199

Conde, I., García, B., Liarte, E., & Jiménez, M. A. (2012). Analysis of adhesive joints in corrugated board under shear loading. *International Journal of Adhesion and Adhesives, 38*, 50-57. doi:10.1016/j.ijadhadh.2012.05.003

Dorr, D. N., Frazier, S. D., Hess, K. M., Traeger, L. S., & Srubar Iii, W. V. (2015). Bond Strength of Biodegradable Gelatin-Based Wood Adhesives. *Journal of Renewable Materials, 3*(3), 195-204. doi:10.7569/jrm.2015.634108

Feng, C., Wang, F., Xu, Z., Sui, H., Fang, Y., Tang, X., & Shen, X. (2018). Characterization of Soybean Protein Adhesives Modified by Xanthan Gum. *Coatings, 8*(10), 342. doi:10.3390/coatings8100342

Hadrup, N., Frederiksen, M., & Sharma, A. K. (2021). Toxicity of boric acid, borax and other boron containing compounds: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology, 121*, 104873. doi:10.1016/j.yrtph.2021.104873

Kim, S. (2009). Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission. *Bioresource Technology, 100*(2), 744-748. doi:10.1016/j.biortech.2008.06.062

Lehman-Chong, A. M., Setters, J. L., McDonald, A. G., & Maughan, M. R. (2025). Influence of metakaolin and acetic acid on sodium silicate-based inorganic bonded wood composites for additive manufacturing. *Results in Materials, 26*, 100708. doi:10.1016/j.rinma.2025.100708

Lin, H., Chen, X., Lei, H., Zhou, X., Du, G., Essawy, H., . . . Cao, M. (2024). Synthesis and characterization of a bio-aldehyde-based lignin adhesive with desirable water resistance. *International Journal of Biological Macromolecules, 264*, 130020. doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.130020

Maulana, M. I., Lubis, M. A. R., Febrianto, F., Hua, L. S., Iswanto, A. H., Antov, P., Kristak, L., Mardawati, E., Sari, R. K., Zaini, L. H., Hidayat, W., Lo Giudice, V., & Todaro, L. (2022). Environmentally friendly starch-based adhesives for bonding high-performance wood composites: A review. *Forests, 13*(10), 1614. https://doi.org/10.3390/f13101614

Neumann, M. (2013). *Borax-free starch adhesive compositions* (Canadian patent application No. CA2857252A1). BK Giulini GmbH (Original assignee), Kurita Water Industries Ltd. Retrieved from https://patents.google.com/patent/CA2857252A1

Pongsavee, M. (2009). Effect of borax on immune cell proliferation and sister chromatid exchange in human chromosomes. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 4*(1), 27. doi:10.1186/1745-6673-4-27

Su, H., Huang, C., Li, C., Zhao, Y., Zheng, D., & Duan, Q. (2023). Failure mechanism of the corrugated medium under simulated cold chain logistics. ACS Omega, 8(26), 23673–23682. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01668

Vaughn, S. F., Kenar, J. A., Felker, F. C., Berhow, M. A., Cermak, S. C., Evangelista, R. L., . . . Lee, E. (2013). Evaluation of alternatives to guar gum as tackifiers for hydromulch and as clumping agents for biodegradable cat litter. *Industrial Crops and Products, 43*, 798-801. doi:10.1016/j.indcrop.2012.09.002

Vrabič-Brodnjak, U. (2023). Bio-Based Adhesives Formulated from Tannic Acid, Chitosan, and Shellac for Packaging Materials. *Polymers, 15*(5), 1302. doi:10.3390/polym15051302

Vishnuvarthanan, M., & Rajeswari, N. (2013). Additives for enhancing the drying properties of adhesives for corrugated boards. *Alexandria Engineering Journal, 52*(1), 137–140. https://doi.org/10.1016/j.aej.2012.10.000

Watcharakitti, J., Win, E. E., Nimnuan, J., & Meejoo Smith, S. (2022). Modified starch-based adhesives: A review. *Polymers, 14*(10), 2023. https://doi.org/10.3390/polym14102023

# การเคลือบกระดาษลูกฟูกด้วยไคโตซานและกรดสเตียริกโดยเทคนิคชั้นต่อชั้นเพื่อเพิ่มสมบัติกันน้ำ

# Layer-by-Layer Coating of Corrugated Paperboard with Chitosan and Stearic Acid for Enhanced Water Resistance

**นพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา[1]*, พรหมพร สอนรอด[2], สาธุกานต์ กาบคำ[3],**
**เกดประวีณ ฮั่นตระกูล[4], ศิริวรรณ ตั้งแสงประทีป[5]**
**Nopparat Viriyakitpattana[1]*, Promporn Sornrod[2], Sathukarn Kabcum[3],**
**Kedpraveen Huntrakul[4], Siriwan Tungsangprateep[5]**

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
Thai Packaging Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), nopparat_v@tistr.or.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาพื้นผิวกระดาษลูกฟูกให้มีสมบัติกันน้ำด้วยการเคลือบไคโตซาน และกรดสเตียริก โดยวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer) โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยไคโตซาน (Chitosan, CS) ทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์สร้างฟิล์มบางที่ช่วยลดการดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนของกระดาษ ขณะที่กรดสเตียริก (Stearic acid, St) ซึ่งเป็นกรดไขมันธรรมชาติช่วยเสริมความสามารถในการไล่น้ำ สารเคลือบถูกเตรียมโดยใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล ศึกษาการเคลือบบนกระดาษคู่กับกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยมวล ด้วยวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer) และทำให้แห้ง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ประกอบด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลและกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวล (1%CS/2%St) ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดีที่สุด โดยให้ค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$) เป็น 24.85±2.60 g/m$^2$ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบซึ่งไม่มีสมบัติต้านน้ำ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สารเคลือบจากไคโตซานและกรดสเตียริกมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นสารเคลือบกระดาษที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถทดแทนสารเคลือบจากพลาสติกได้ในอนาคต โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติป้องกันความชื้น

**คำสำคัญ:** ไคโตซาน กรดสเตียริก สารเคลือบกระดาษ การกันน้ำ บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก

**Abstract**

This research proposed to improve the water resistance of corrugated paperboard surfaces by applying chitosan and stearic acid coatings using a layer-by-layer (LbL) technique, with an emphasis on environmentally friendly materials. Chitosan (CS) functions as a film-forming biopolymer that helps reduce water absorption through the porous structure of paper, while stearic acid (St), a naturally derived fatty acid, enhances the hydrophobicity of the coating. The coatings were prepared using 1%w/w chitosan and applied to paper surfaces in combination with stearic acid at concentrations of 1% and 2%w/w. A layer-by-layer coating technique was employed,

followed by drying. The results showed that the coating formulation containing 1% chitosan and 2% stearic acid (1%CS/2%St) exhibited the best water resistance, as indicated by significantly lower Cobb values (24.8±2.6 g/m$^2$) compared to uncoated paper, which lacked water resistance. These findings demonstrate the potential of chitosan-stearic acid coating as an eco-friendly alternative to conventional plastic-based coatings, particularly for use in paper-based packaging that requires moisture resistance.

**Keywords:** Chitosan, Stearic acid, Paper coating, Water resistance, Corrugated paper packaging

**1. บทนำ**

ปัจจุบันกล่องกระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการขนส่งผักและผลไม้ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำและสามารถรีไซเคิลได้ (Boaca, 2021; Di Russo, 2023) อย่างไรก็ตาม กล่องกระดาษยังคงมีข้อจำกัดด้านความทนทานต่อความชื้นและการดูดซึมน้ำจากสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์เสียรูป เสียคุณสมบัติทางกล และไม่สามารถใช้งานในสภาวะที่มีความชื้นสูงได้ โดยเฉพาะในระบบห่วงโซ่ความเย็นและการขนส่งสินค้าสด เช่น ผัก ผลไม้ และอาหารแช่เย็น (Rhim, 2007) การเพิ่มสมบัติกันน้ำให้กับพื้นผิวกระดาษลูกฟูกจึงสามารถทำได้โดยปรับเปลี่ยนลักษณะของพื้นผิว เช่น การเคลือบด้วยวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ โดยในอดีตมีการใช้สารพาราฟินและพอลิเอทิลีนเคลือบบนแผ่นกระดาษหรือกระดาษแข็ง เพื่อสร้างชั้นกั้นไอน้ำ เพิ่มความคงทนและความยืดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ หรือจะเป็นการเคลือบด้วยสารแอลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer, AKD) หรือสารแอลคีนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Alkenyl succinic anhydride, ASA) ที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการต้านน้ำบนพื้นผิวกระดาษได้เช่นกัน (Sun, 2014) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สารเหล่านี้ซึ่งเป็นสารที่มาจากปิโตรเลียมดังมักประสบปัญหาในการกำจัดหลังการใช้งาน เนื่องจากไม่สามารถรีไซเคิลหรือย่อยสลายได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามพัฒนา การเคลือบกระดาษโดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากทรัพยากรหมุนเวียน ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

พอลิเมอร์ชีวภาพที่นำมาใช้เพิ่มสมบัติกันน้ำให้กับกระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มพอลิแซ็กคาโรด์ กลุ่มโปรตีน และกลุ่มลิพิด (dos Santos Lima, 2024; Morgado, 2025) หนึ่งในพอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้รับความสนใจในการนำมาเคลือบบนกระดาษคือ ไคโตซาน (chitosan, CS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากการแปรรูปไคติน (chitin) ที่พบมากในเปลือกสัตว์จำพวกกุ้งและปู ละลายได้ในกรดอ่อน นอกจากนี้ ไคโตซานมีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถสร้างฟิล์มบางที่มีความยืดหยุ่น สร้างพันธะไฮโดรเจนกับพื้นผิวเซลลูโลสได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในงานเคลือบวัสดุบรรจุภัณฑ์และพื้นผิวกระดาษ (Dutta, 2009; Deng, 2022) กรดสเตียริก (stearic acid, St) เป็นกรดไขมันสายยาวชนิดอิ่มตัวที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเฉพาะในไขมันสัตว์และน้ำมันพืช มีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยในงานเคลือบกระดาษกรดสเตียริกถูกนำมาใช้เป็นชั้นเคลือบบางเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติกันน้ำให้กับกระดาษ ลดการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำผ่านพื้นผิววัสดุได้ (Li, 2007)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาการเคลือบกระดาษจากพอลิเมอร์ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ไคโตซานซึ่งมีสมบัติในการสร้างฟิล์มและต้านจุลชีพ ร่วมกับกรดสเตียริกที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเพื่อเพิ่มสมบัติกันน้ำของพื้นผิวกระดาษลูกฟูก ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer, LBL) ซึ่งเป็นเทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบสลับชั้นกัน ไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีขั้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น เช่น dip-coating หรือ spray-coating ซึ่งมักควบคุมความหนาของชั้นเคลือบได้ยาก อีกทั้งเทคนิคการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นนี้ ยังสามารถรวมวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น พอลิเมอร์ธรรมชาติ อนุภาคระดับนาโน หรือสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำเข้าในชั้นเคลือบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของ

สารที่เหมาะสมและประเมินคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวกระดาษลูกฟูกที่ได้หลังการเคลือบผ่านค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษ (Cobb value) และค่ามุมสัมผัสน้ำ (Water Contact Angle, WCA) อีกทั้งวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ซึ่งการผสมผสานวัสดุทั้งสองชนิดในการเคลือบนี้ สามารถทดแทนสารเคลือบที่มีส่วนประกอบจากปิโตรเคมีหรือสารเคมีอันตรายในการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีความสามารถในการกันความชื้น เช่น การบรรจุผัก ผลไม้ หรือสินค้าในระบบห่วงโซ่ความเย็น

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อพัฒนาพื้นผิวกระดาษลูกฟูกให้มีสมบัติกันน้ำโดยการเคลือบสารชีวภาพจากไคโตซานและกรดสเตียริก และวิเคราะห์สมบัติกันน้ำของพื้นผิวกระดาษลูกฟูก

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

**3.1 วัสดุอุปกรณ์**

กระดาษลูกฟูกแบบ single face ลอน B ไคโตซาน ชนิดความหนืดสูง (high viscosity) มวลโมเลกุลประมาณ 310-375 ดาลตัน จาก Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา กรดสเตียริก (Loba Chemie™, India) ความบริสุทธิ์ ≥ 98% กรดแอซิติกและเอทานอล จาก Carlo Erba, อิตาลี

3.2 การเตรียมสารละลายไคโตซาน

เตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล โดยละลายไคโตซานในสารละลายกรดแอซิติกแอซิดความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ปั่นกวนโดยใช้เครื่องแม่เหล็กกวน (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

*3.3 การเตรียมละลายกรดสเตียริก*

เตรียมสารละลายกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยมวล โดยละลายกรดสเตียริกในเอทานอล ปั่นกวนโดยใช้เครื่องกวนสารแม่เหล็กพร้อมแผ่นให้ความร้อน (hot plate magnetic stirrer) ให้ความร้อนประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนกว่าสารละลายจะเป็นเนื้อเดียวกัน

3.4 การเคลือบสารเคลือบไคโตซาน/กรดสเตียริก

ทำการเคลือบพื้นผิวกระดาษลูกฟูกด้วยเทคนิคชั้นต่อชั้น โดยตัดตัวอย่างกระดาษลูกฟูกขนาด 10 × 10 ซม. ก่อนทำการเคลือบให้นำตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ความชื้นก่อนทำการเคลือบสาร หลังจากนั้นนำสารเคลือบแต่ละสูตรเคลือบเทลงบนผิวกระดาษ (Casting method) ในอัตราส่วนสารเคลือบ (mL) ต่อพื้นที่ ($cm^2$) เป็น 1:25 ด้วยเทคนิคชั้นต่อชั้น โดยใช้ไคโตซาน (ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล) เคลือบเป็นชั้นที่หนึ่ง จากนั้นนำกระดาษเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ชั้นไคโตซานแห้งสนิท จากนั้นทำการเคลือบชั้นที่สองด้วยกรดสเตียริก (ศึกษาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 โดยมวล) และอบต่อที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ชั้นเคลือบทั้งหมดแห้งสมบูรณ์ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป เก็บตัวอย่างหลังการเคลือบที่อุณหภูมิ 23 ± 1 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 2% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการวิเคราะห์

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นผิวกระดาษลูกฟูก

3.5.1 การวิเคราะห์ความหนา

ความหนาของกระดาษแผ่นเรียบที่แยกออกจากลอนกระดาษลูกฟูก ถูกวัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัล (Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น) ที่มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร โดยทำการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นกระดาษจำนวน 10 จุดแบบสุ่ม และนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

3.5.2 การวิเคราะห์น้ำหนักสารเคลือบ

ค่าน้ำหนักของสารเคลือบ ($g/m^2$) ถูกคำนวณโดยการหาผลต่างระหว่างน้ำหนักของกระดาษลูกฟูกที่เคลือบแล้วกับน้ำหนักของกระดาษลูกฟูกที่ยังไม่เคลือบต่อพื้นที่ทดสอบ โดยใช้น้ำหนักที่ชั่งด้วยเครื่องที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม

3.5.3 การวัดมุมสัมผัส (Contact Angle Measurement)

เตรียมตัวอย่างกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบ ขนาด 5 × 5 เซนติเมตร จากนั้นทำการวัดมุมสัมผัส (Contact angle) ของพื้นผิวชั้นแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูก โดยวิเคราะห์ด้านที่มีสารเคลือบ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีหยดน้ำแบบเซสไซล์ (sessile drop method) ด้วยเครื่อง dataphysics Model รุ่น OCA 15EC ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับกระดาษที่ยังไม่ได้เคลือบ

3.5.4 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ

ทำการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ (Cobb) ของพื้นผิวกระดาษลูกฟูก โดยการนำตัวอย่างกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการเคลือบแล้วมาแยกชั้นระหว่างกระดาษแผ่นเรียบกับลอนกระดาษลูกฟูก และทำการวิเคราะห์เฉพาะชั้นพื้นผิวของกระดาษแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูกด้านที่มีสารเคลือบ ตัดตัวอย่างขนาด 14 × 14 เซนติเมตร วางตัวอย่างโดยให้ด้านที่เคลือบหันขึ้นระหว่างฐานและวงแหวนของเครื่องมือทดสอบ จากนั้นขันน็อตให้แน่นเพื่อยึดตัวอย่างให้อยู่กับที่ เติมน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงบนผิวกระดาษ แล้วปล่อยให้น้ำซึมลงสู่กระดาษเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใช้อุปกรณ์เช็ดน้ำส่วนเกินออกจากผิวกระดาษโดยใช้กระดาษทิชชู และคำนวณตามดังสมการที่ (1):

$$\text{Cobb value } (g/m^2) = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษหลังดูดซึมน้ำ} - \text{น้ำหนักกระดาษก่อนดูดซึมน้ำ}}{\text{พื้นที่ทดสอบ } (m^2)} \quad (1)$$

3.5.5 การวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

ทำการศึกษาสเปกตรัม FTIR เพื่อวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณการดูดกลืนแสงในช่วงต่างๆ เมื่อมีการเคลือบสารไคโตซานและสเตียริกลงบนพื้นผิวกระดาษลูกฟูก โดยบันทึกสเปกตรัมอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 4000–400 ซม.$^{-1}$ ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น Nicolet iS50 Thermo Scientific, USA ที่ความละเอียด 4 ซม.$^{-1}$ จำนวน 64 สแกน

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองแต่ละชุดดำเนินการทำซ้ำอย่างเป็นระบบอย่างน้อย 3 ครั้ง ข้อมูลที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) การวิเคราะห์ค่าทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18.0 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีการของ Duncan's multiple range test และพิจารณาว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อค่า $p<0.05$

**4. ผลการวิจัย**

จากตารางที่ 1 แสดงผลความหนาของกระดาษ, ค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$), ปริมาณน้ำหนักของสารเคลือบและค่ามุมสัมผัสน้ำที่ใช้ในการประเมินสมบัติพื้นผิวของกระดาษหลังเคลือบด้วยสารเคลือบชีวภาพจากไคโตซานและกรดสเตียริกเพื่อเพิ่มสมบัติกันน้ำของกระดาษลูกฟูก จากผลการวัดความหนาของกระดาษแผ่นเรียบพบว่า การเคลือบด้วยสารชีวภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Control) ที่ไม่มีการเคลือบ เมื่อทำการเคลือบด้วย ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลเพียงอย่างเดียว (1%CS) ความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงการสร้างชั้นฟิล์มบางของไคโตซานบนผิวกระดาษ ขณะที่กลุ่มที่เคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/1%St และ 1%CS/2%St) ความหนาของกระดาษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากกระดาษที่เคลือบด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะสูตร 1%CS/2%St ที่ใช้กรดสเตียริกในความเข้มข้นที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกมีผลต่อการสร้างชั้นเคลือบที่หนาขึ้น แต่ถ้าหากพิจารณาการเคลือบสเตียริกเพียงอย่างเดียว (2%St) ความหนาของกระดาษใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายตัวของกรดสเตียริกที่ไม่สามารถสร้างฟิล์มหนาได้โดยลำพังหากไม่มีพอลิเมอร์ช่วยยึดเกาะเช่นไคโตซาน

จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$) พบว่าการเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบชีวภาพมีผลอย่างชัดเจนต่อความสามารถในการต้านทานการซึมน้ำ โดยกระดาษที่ไม่เคลือบ (Control) ไม่สามารถวิเคราะห์ค่า $Cobb_{120}$ ได้เนื่องจากเกิดการรั่วซึมที่วินาทีที่ 39 แสดงถึงพื้นผิวกระดาษไม่สามารถต้านทานการดูดซึมของน้ำได้ เมื่อนำไคโตซาน 1% เพียงอย่างเดียว (1%CS) เคลือบลงบนพื้นผิวกระดาษ วิเคราะห์ค่า $Cobb_{120}$ ได้เป็น 35.24±3.58 g/m² แสดงว่าชั้นฟิล์มไคโตซานช่วยลดการดูดซึมน้ำได้ในระดับหนึ่ง และเมื่อทำการเคลือบกระดาษด้วยเทคนิคชั้นต่อชั้น โดยใช้ไคโตซาน 1% ร่วมกับกรดสเตียริก 1% (1%CS/1%St) พบว่าค่าการดูดซึมน้ำ $Cobb_{120}$ ลดลงและมีแนวโน้มลดลงเพิ่มเติมเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดสเตียริกเป็น 2% (1%CS/2%St) ในขณะที่การเคลือบด้วยกรดสเตียริกเพียงอย่างเดียว (2%St) ให้ค่า $Cobb_{120}$ ที่สูงกว่าการเคลือบพื้นผิวกระดาษด้วยไคโตซานก่อนในชั้นแรก แสดงว่าแม้กรดสเตียริกจะมีสมบัติกันน้ำ แต่หากใช้เพียงลำพังอาจไม่สามารถสร้างฟิล์มป้องกันที่ดีได้เท่ากับการผสมร่วมกับไคโตซาน

ผลการวัดน้ำหนักของสารเคลือบบนพื้นผิวกระดาษลูกฟูกแสดงให้เห็นว่า สูตรที่ประกอบด้วยไคโตซาน 1% (1%CS) ให้ค่าน้ำหนักสารเคลือบเท่ากับ 9.30±0.95 g/m² ขณะที่สูตรที่เติมกรดสเตียริกในอัตราส่วน 1% และ 2% ร่วมกับไคโตซาน (1%CS/1%St และ 1%CS/2%St) มีน้ำหนักสารเคลือบเพิ่มขึ้นเป็นอยู่ในช่วง 10.31-12.30 g/m² การเติมกรดสเตียริกมีผลต่อการเพิ่มปริมาณของสารเคลือบบนพื้นผิว แต่ในขณะที่สูตรที่ใช้กรดสเตียริกเพียงอย่างเดียว (2%St) ให้ค่าน้ำหนักสารเคลือบบนกระดาษเพียง 2.48±2.32 g/m² ซึ่งต่ำที่สุดในกลุ่ม ดังนั้นการไม่มีพอลิเมอร์อย่างไคโตซานร่วมในสูตรอาจทำให้การยึดเกาะกับผิวกระดาษไม่ดีพอ จึงเกิดการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและหลุดออกจากผิววัสดุได้ง่าย

ค่ามุมสัมผัสน้ำ เป็นค่าสำคัญที่ใช้ประเมินความไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุ โดยทั่วไปแล้ว ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90° หมายถึงวัสดุนั้นมีสมบัติกันน้ำ (hydrophobic) ในขณะที่ค่าน้อยกว่า 90° แสดงถึงวัสดุนั้นชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า กลุ่มควบคุม (Control) ซึ่งไม่มีการเคลือบ มีค่ามุมสัมผัสต่ำที่สุดมีค่าน้อยกว่า 90° แสดงถึงผิวกระดาษมีความชอบน้ำ และเมื่อเคลือบด้วยไคโตซานลงบนพื้นผิวกระดาษทำให้มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถสร้างฟิล์มบางที่ลดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ผิวกระดาษได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อเคลือบกรดสเตียริกในชั้นที่สองร่วมกับไคโตซานในสูตร (1%CS/1%St และ 1%CS/2%St) ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสเตียริก ซึ่งบ่งชี้ว่าการเติมกรดสเตียริกช่วยเสริมสมบัติกันน้ำของพื้นผิวกระดาษได้ โดยสูตร 1%CS/2%St ให้ค่ามุมสัมผัสสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม การใช้กรดสเตียริกเคลือบบนพื้นผิวกระดาษเพียงอย่างเดียว (2%St) ให้ค่ามุมสัมผัสเพียง 88.48 ± 7.06° ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 90° แสดงให้เห็นว่าแม้กรดสเตียริกจะไม่ชอบน้ำโดยธรรมชาติ แต่หากไม่มีพอลิเมอร์อย่างไคโตซาน

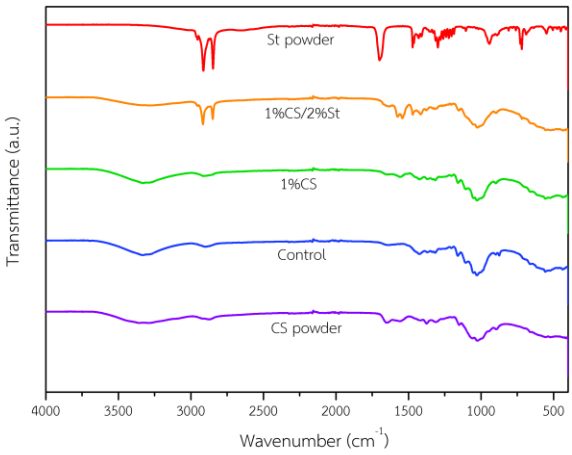
ช่วยยึดเกาะก็ไม่สามารถสร้างพื้นผิวที่กันน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของการเคลือบกับผลความหนาของตัวอย่างกระดาษ เมื่อนำไคโตซานและกรดสเตียริกมาเคลือบแบบชั้นต่อชั้นทำให้ความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ยากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำจึงต่ำลงและค่ามุมสัมผัสน้ำมีค่ามากกว่า 90° แสดงถึงความไม่ชอบน้ำของกระดาษ

**ตารางที่ 1** ความหนาของกระดาษ, ความหนาของชั้นเคลือบ, ค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$), ปริมาณน้ำหนักของสารเคลือบและค่ามุมสัมผัสน้ำของกระดาษลูกฟูกก่อน (Control) และหลังการเคลือบด้วยไคโตซานและกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| ตัวอย่าง | ความหนากระดาษ (mm) | ค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$, g/m$^2$) | น้ำหนักสารเคลือบ (g/m$^2$) | มุมสัมผัสน้ำ (°) |
|---|---|---|---|---|
| Control | 0.281±0.011$^{a}$ | -* | - | 17.39±0.36$^{a}$ |
| 1%CS | 0.302±0.009$^{b}$ | 35.24±3.58$^{b}$ | 9.30±0.95$^{a}$ | 126.51±3.09$^{c}$ |
| 1%CS/1%St | 0.321±0.012$^{c}$ | 29.89±0.64$^{ab}$ | 10.31±3.07$^{a}$ | 129.47±1.36$^{cd}$ |
| 1%CS/2%St | 0.343±0.023$^{d}$ | 24.85±2.60$^{a}$ | 12.31±3.46$^{a}$ | 133.77±1.92$^{d}$ |
| 2%St | 0.283±0.007$^{a}$ | 113.24±5.00$^{c}$ | 2.48±2.32$^{b}$ | 88.48±7.06$^{b}$ |

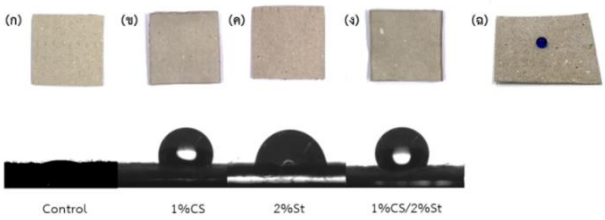
ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
องค์ประกอบทั้งหมดของสารเคลือบแสดงเป็นร้อยละโดยมวล (w/w)
*ไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจากเกิดการรั่วซึมของน้ำ

วิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตราของผงไคโตซาน, ผงเสตียริก, กระดาษลูกฟูกไม่เคลือบ (Control), เคลือบไคโตซาน (1%CS) และเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St) (ภาพที่ 1) ผลปรากฏว่ากระดาษลูกฟูกเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St) มีพีคค่าสัญญาณการดูดกลืนของไคโตซานที่เปลี่ยนไปจากที่ปรากฏในผงไคโตซานที่ 1560 และ 1670 ซม.$^{-1}$ เลื่อนไปที่ 1542 และ 1576 ซม.$^{-1}$ ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดแรงกระทำระหว่างกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันของหมู่อะมิโน ($–NH_2$) ของไคโตซานและหมู่คาร์บอกซิล (–COOH) ของกรดสเตียริก และพบพีคกรดสเตียริกที่ประมาณ 2916 และ 2849 ซม.$^{-1}$ ในช่วงความถี่สูงนั้น ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นแบบยืดไม่สมมาตรและสมมาตรของหมู่ $–CH_2–$ ตามลำดับ และสัญญาณพันธะคาร์บอนิล (C=O) ของกรดสเตียริกที่ปรากฏบริเวณ 1698 ซม.$^{-1}$ นั้นหายไป และพบว่ามีการเกิดสัญญาณดูดกลืนใหม่ที่ตำแหน่ง 1574 ซม.$^{-1}$ ซึ่งเป็นสัญญาณดูดกลืนใหม่ที่อาจเกิดจากการสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของหมู่ $–COO^-$ (คาร์บอกซิเลต) ของกรดสเตียริก (Zhu, 2016) บ่งชี้ถึงการเกิดแรงกระทำระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน ส่งผลให้โครงสร้างของกรดสเตียริกเปลี่ยนไปจากกรดอิสระเป็นเกลือคาร์บอกซิเลต ซึ่งยืนยันถึงการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารทั้งสองบนพื้นผิวกระดาษลูกฟูก สอดคล้องกับรายงานที่มีมาก่อนหน้านี้ที่พบพีคในช่วงใกล้เคียงกันเมื่อมีการเกิดแรงกระทำต่อกันระหว่างไคโตซานกับกรดสเตียริก (Xu, 2014; Ahmed, 2018) ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่ามีชั้นไคโตซานกับกรดสเตียริกเคลือบบนพื้นผิวกระดาษลูกฟูก




**ภาพที่ 1** ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตราของผงไคโตซาน, ผงเสตียริก, กระดาษลูกฟูกไม่เคลือบ (Control), เคลือบไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล (1%CS) และเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St)

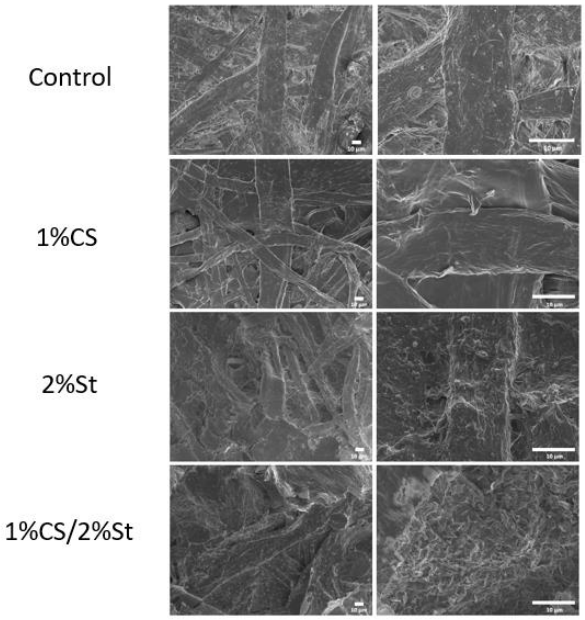
ภาพที่ 2 แสดงถึงลักษณะทางกายภาพและมุมสัมผัสของพื้นผิวกระดาษแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูกที่ (ก) ไม่เคลือบ (Control) และเคลือบด้วย (ข) ไคโตซาน (1%CS) และ (ค) กรดเสตียริก (2%St) เดี่ยวเพียงชั้นเดียวและ (ง) ไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St) และหยดของเหลวบนพื้นผิวกระดาษแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูกที่เคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St) ผลการทดลองพบว่า พื้นผิวของกระดาษยังคงความเรียบเนียนและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากการเคลือบด้วยสารเคลือบชีวภาพ นอกจากนี้ ภาพจากการวัดมุมสัมผัสน้ำแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีไคโตซานอยู่ในระบบเคลือบ มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า 90° ซึ่งบ่งชี้ถึงสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของพื้นผิวได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกรณีที่เคลือบด้วยไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก เมื่อนำของเหลวหยดลงบนพื้นผิวกระดาษเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก พบว่าหยดน้ำที่สัมผัสพื้นผิวกระดาษมีลักษณะเป็นทรงกลม สะท้อนถึงแรงยึดเกาะระหว่างน้ำกับผิววัสดุที่ลดลง ดังนั้น การเคลือบกระดาษลูกฟูกด้วยไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริกด้วยเทคนิคชั้นต่อชั้นจึงช่วยเพิ่มสมบัติกันน้ำของพื้นผิวกระดาษได้




**ภาพที่ 2** ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวกระดาษแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูกและภาพมุมสัมผัสน้ำภายหลังการเคลือบด้วยสูตรต่างๆ ได้แก่ (ก) ไม่เคลือบ (Control), (ข) เคลือบไคโตซาน (1%CS), (ค) เคลือบกรดสเตียริก (2%St), (ง) เคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St), และ (จ) ลักษณะหยดน้ำบนพื้นผิวกระดาษเคลือบ 1%CS/2%St

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวกระดาษลูกฟูกแผ่นเรียบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่มที่เคลือบด้วยสารต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวกระดาษที่ไม่เคลือบ พื้นผิวที่

เคลือบด้วยไคโตซาน (1%CS) แสดงการปกคลุมของฟิล์มอย่างสม่ำเสมอ ช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยเซลลูโลสของกระดาษ ในขณะที่พื้นผิวที่เคลือบด้วยกรดสเตียริก (2%St) มีลักษณะเป็นชั้นบางที่ไม่สม่ำเสมอและมีการรวมตัวเป็นก้อนเล็ก ๆ ในบางบริเวณ ส่วนพื้นผิวที่เคลือบด้วยไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St) แสดงพื้นผิวที่ไม่เรียบนักซึ่งเป็นข้อดีในการเพิ่มคุณสมบัติต้านน้ำ เกิดจากแรงกระทำกันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน แต่อย่างไรก็ตามชั้นเคลือบไคโตซาน/กรดสเตียริกนี้ปกคลุมบนพื้นผิวกระดาษอย่างสม่ำเสมอ




**ภาพที่ 3** ลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวกระดาษแผ่นเรียบของกระดาษลูกฟูกภายหลังการเคลือบด้วยสูตรต่างๆ ได้แก่ เคลือบไคโตซาน (1%CS), เคลือบกรดสเตียริก (2%St) และเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดสเตียริก (1%CS/2%St)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การเคลือบพื้นผิวด้วยเทคนิคแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-layer, LBL) เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุบรรจุภัณฑ์กระดาษ เนื่องจากสามารถควบคุมโครงสร้างของชั้นเคลือบได้อย่างแม่นยำ โดยการสลับเคลือบระหว่างพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงข้าม เช่น ไคโตซาน (cationic polymer) กับกรดสเตียริกหรือพอลิเมอร์ไม่ชอบน้ำ (anionic polymer) ทำให้สามารถสร้างชั้นฟิล์มและมีคุณสมบัติเฉพาะที่ต้องการได้ เช่น การกันน้ำ การเพิ่มความแข็งแรง หรือการยึดเกาะที่ดีขึ้นบนกระดาษ (Shende, 2020) โดยในการพัฒนาการเคลือบด้วยเทคนิคนี้มุ่งหวังการลดการใช้สารเคลือบในความเข้มข้นปริมาณมากในขณะที่ยังคงรักษาสมบัติของชั้นเคลือบได้ดี จากผลการทดลองพบว่า การเคลือบกระดาษลูกฟูกด้วยไคโตซานและกรดสเตียริกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติพื้นผิว โดยเฉพาะสูตรการเคลือบด้วยเทคนิคชั้นต่อชั้นที่ประกอบด้วยไคโตซาน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลและกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยมวล (1%CS/2%St) ซึ่งให้ค่ามุมสัมผัสน้ำ (WCA) ที่สูงกว่า 130° และค่าการดูดซึมน้ำ ($Cobb_{120}$) ต่ำกว่าพื้นผิวกระดาษที่ไม่ได้เคลือบ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการดูดซึมน้ำ ดังนั้นการเคลือบสามารถเพิ่มสมบัติกันน้ำได้อย่างชัดเจน เมื่อนำไคโตซานมาเคลือบลงบนพื้นผิวกระดาษในชั้นแรก โครงสร้างของไคโตซานประกอบด้วยหมู่

ฟังก์ชันอะมิโน (-$NH_2$) ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งมีอยู่บนโครงสร้างของเซลลูโลสในกระดาษได้ จึงเอื้อต่อการยึดเกาะและการสร้างชั้นฟิล์มเคลือบบนพื้นผิวกระดาษได้ ดังนั้นไคโตซานจึงแทรกตัวเข้าไปในกระดาษ ช่วยลดรูพรุนทำให้มีความสามารถในการลดการซึมผ่านของน้ำได้มากขึ้น (Fernandes, 2011) ในทางกลับกัน การเคลือบด้วยกรดสเตียริกเพียงอย่างเดียว (2%St) ยังไม่สามารถเพิ่มสมบัติกันน้ำบนพื้นผิวกระดาษได้อย่างชัดเจนตามผลการทดสอบ แสดงว่าแม้กรดสเตียริกจะมีโครงสร้างอัลคิลสายยาวที่แสดงคุณสมบัติกันน้ำ แต่หากใช้เพียงลำพังอาจไม่สามารถสร้างฟิล์มป้องกันที่ดีได้เท่ากับการผสมร่วมกับไคโตซาน ดังนั้นการพัฒนาการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นโดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพร่วมกับสารที่มีสมบัติกันน้ำ เช่น ไขมันธรรมชาติหรือกรดไขมัน เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มสมบัติกันน้ำของบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาวะความชื้นสูง โดยเฉพาะ การใช้บรรจุภัณฑ์ในระบบห่วงโซ่ความเย็น เช่น กล่องใส่ผักและผลไม้สด โดยไม่ใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายอย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาผลระยะยาวของการเก็บรักษา รวมถึงการทดสอบความคงทนต่ออุณหภูมิและการสัมผัสของเหลวซ้ำหลายครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษทางเลือกที่สามารถทดแทนการเคลือบพลาสติกได้ในอนาคต และยังเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้โครงการทุนวิจัยและนวัตกรรมเพื่อการใช้ประโยชน์ (ทุน ววน. ประจำปี 2568 รหัส 4772859) ที่มีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

## 7. เอกสารอ้างอิง

Ahmed, I., Dildar, L., Haque, A., Patra, P., Mukhopadhyay, M., Hazra, S., . . . Bal, J. K. (2018). Chitosan-fatty acid interaction mediated growth of Langmuir monolayer and Langmuir-Blodgett films. *Journal of Colloid and Interface Science*, *514*, 433-442. https://doi:10.1016/j.jcis.2017.12.037

Boaca, F. I., Cananau, S., Prisecaru, D., Stoica, M., & Cucu, L. (2021). Mechanical design of corrugated packaging box. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, *3*(2), 132-139. https://doi:10.33727/jriss.2021.2.14:132-139

Deng, J., Zhu, E.-Q., Xu, G.-F., Naik, N., Murugadoss, V., Ma, M.-G., . . . Shi, Z.-J. (2022). Overview of renewable polysaccharide-based composites for biodegradable food packaging applications. *Green Chemistry*, *24*(2), 480-492. https://doi:10.1039/d1gc03898b

Di Russo, F. M., Desole, M. M., Gisario, A., & Barletta, M. (2023). Evaluation of wave configurations in corrugated boards by experimental analysis (EA) and finite element modeling (FEM): the role of the micro-wave in packaging design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *126*(11-12), 4963-4982. https://doi:10.1007/s00170-023-11397-y

Dos Santos Lima, Kennya T., de Matos Fonseca, J., Monteiro, Alcilene R., & Valencia, Germán A. (2024). Progress in Biopolymer Coatings for Achieving Sustainable Paper and Paperboard Packaging for Food Applications: A Brief Review. *Packaging Technology and Science*, *38*(2), 109-116. https://doi:10.1002/pts.2861

Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, J. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*, *114*(4), 1173-1182. https://doi:10.1016/j.foodchem.2008.11.047

Fernandes, S. C. M., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., Pascoal Neto, C., & Gandini, A. (2011). Novel materials based on chitosan and cellulose. *Polymer International*, *60*(6), 875-882. https://doi:10.1002/pi.3024

Li, Y., & Weng, W. (2007). Surface modification of hydroxyapatite by stearic acid: characterization and in vitro behaviors. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, *19*(1), 19-25. https://doi:10.1007/s10856-007-3123-5

Morgado, F., Conceição, R., Barroso, S., Pinto, F. R., Gil, M. M., Novo, P. J., . . . Valente, J. F. A. (2025). Advances in biocoatings for paper and cardboard food packaging. *Progress in Organic Coatings*, *208*, 109491. https://doi:10.1016/j.porgcoat.2025.109491

Rhim, J.-W., Lee, J. H., & Ng, P. K. W. (2007). Mechanical and barrier properties of biodegradable soy protein isolate-based films coated with polylactic acid. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(2), 232-238. https://doi:10.1016/j.lwt.2005.10.002

Shende, P., Patil, A., & Prabhakar, B. (2020). Layer-by-layer technique for enhancing physicochemical properties of actives. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 56, 101519. https://doi:10.1016/j.jddst.2020.101519

Sun, B., Hou, Q., Liu, Z., He, Z., & Ni, Y. (2014). Stability and efficiency improvement of ASA in internal sizing of cellulosic paper by using cationically modified cellulose nanocrystals. *Cellulose*, *21*(4), 2879-2887. https://doi:10.1007/s10570-014-0283-6

Xu, Y., Xu, Y., Zhang, J., & Xia, W. (2014). Preparation and characterization of chitosan-stearate complexes and in vitro evaluation on the adsorption of deoxycholic acid salt. *Polymer Engineering & Science*, *54*(3), 592-597. https://doi:10.1002/pen.23592

Zhu, J., Liu, B., Li, L., Zeng, Z., Zhao, W., Wang, G., & Guan, X. (2016). Simple and Green Fabrication of a Superhydrophobic Surface by One-Step Immersion for Continuous Oil/Water Separation. *The Journal of Physical Chemistry A*, *120*(28), 5617-5623. https://doi:10.1021/acs.jpca.6b06146

# การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สเตนเลสเป็นตัวรับความร้อน

# Study on the Electrical Power Generation of a Thermoelectric Device with Stainless Heat Absorber

**ฐิติวัฒน์ กล้าหาญ[1]*, พิสุทธิ์ แท่นทอง[2],ปรีดา จันทวงษ์[3], พินธุดิฐ กลิ่นขจร[4], ดุสิต งามรุ่งโรจน์[5]**

**Thitiwat Klahan[1]*, Pisut Tantong[2], Preeda Chantawong[3], Pinthudit Klinkajorn[4], Dusit Ngamrungrong[5]**

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, s6603027810514@email.kmutnb.ac.th
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, pisut_2511@hotmail.com
[3]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[3]Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, preeda.c@cit.kmutnb.ac.th
[4]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[4]Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, pinthudit.k@cit.kmutnb.ac.th
[5]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[5]Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, dusit.n@cit.kmutnb.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาเชิงทดลองโดยใช้แนวคิดในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีด้วยแผ่นดูดซับความร้อนด้วยวัสดุสเตนเลสเป็นแผ่นดูดซับความร้อน ในการนี้ได้ทำการทดลองด้วยการสร้างเครื่องมือขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือในการทำการทดลองประกอบด้วยแผ่นสร้างความร้อนขนาด 200 x 134 มิลลิเมตร แผ่นดูดซับความร้อน 100 x 100 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร พร้อมกับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว และแผ่นดูดซับความร้อนหุ้มด้วยฉนวนที่ด้านข้าง และชุดระบายความร้อนที่มีส่วนประกอบระหว่างครีบระบายอากาศทำด้วยอะลูมิเนียมขนาด 119 x 200 มิลลิเมตร กับพัดลมระบายความร้อนกระแสตรง 2 ตัว ช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นทำความร้อนและแผ่นดูดซับความร้อนห่างกัน 3 เซนติเมตร คงที่และปัจจัยกำลังไฟฟ้า 5 ระดับ คือ 1,000, 1,100, 1,200, 1,300 และ 1,400 วัตต์ ที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อน ติดตั้งสายวัดเทอร์โมคัปเปิล Type K สำหรับวัดอุณหภูมิและใช้เครื่องบันทึกข้อมูลรุ่น Keithly DAQ 6510 บันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ค่าแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้น พบว่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.0011 วัตต์ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 109.778 °C ที่ 1,400 วัตต์ ดังนั้นการใช้แผ่นดูดซับความร้อนเป็นตัวเลือกอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้วิธีการแผ่รังสีในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้ใหม่

**คำสำคัญ** : เทอร์โมอิเล็กทริก การดูดซับความร้อน กำลังไฟฟ้า

**Abstract**

This thesis is an experimental study based on the concept of generating electricity using thermoelectric modules from waste heat. It explores the principle of heat transfer through radiation using a stainless heat absorber plate. The experiment was conducted by constructing a small-scale apparatus in a laboratory setting. The experimental apparatus consisted of a heating plate (200 mm long and 134 mm wide), a stainless heat absorber plate (100 mm x 100 mm x 3 mm), four thermoelectric modules (each 40 mm x 40 mm), and a heat absorber plate insulated on the sides. The cooling system included aluminum finned heat sinks (119 mm wide and 200 mm long) and two DC cooling fans. The air gap between the heating plate and the heat absorber plate was fixed at 3 cm. The electrical power supplied to the heating plate was varied at five levels: 1,000, 1,100, 1,200, 1,300, and 1,400 watts. Type K thermocouples were installed for temperature measurement, and a Keithley DAQ 6510 data logger was used to record temperature at various positions, as well as the generated voltage and current. The results showed that the electrical output increased with higher power input. The maximum power output recorded was 0.0011 watts, and the highest temperature difference between the hot and cold sides of the thermoelectric modules was 109.778 °C at 1,400 watts, resulting in a maximum efficiency of 0.48%. Therefore, using a heat absorber plate is a promising alternative for generating electricity via thermoelectric technology by utilizing radiative heat transfer from high-temperature industrial waste heat.

**Keywords :** thermoelectric, heat absorber, electrical power

**1. บทนำ**

ความท้าทายด้านพลังงานทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความต้องการโซลูชันพลังงานที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Generators: TEGs) ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเหลือทิ้งให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความร้อนเหลือทิ้งจำนวนมหาศาลถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร (เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 2540) ระบบยานยนต์การนำความร้อนเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ไม่เพียงแต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่านั้น แต่ยังลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย

จากปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำพลังงานร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) จากกระบวนการต่าง ๆ ในโรงงานและเรื่องเทคโนโลยีวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) ที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมจึงน่าจะตอบโจทย์นี้ได้ หลักการของเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) จะเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้หลักของซีเบ็ค (Yodovard, 2001; Rowe, 1995; Loffe, 1957)

Hsiao et al. (2010) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประยุกต์ใช้ในการเก็บพลังงานจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 51.13 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ภายใต้ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็น 290°C ขณะที่ Champier et al. (2010) ได้สาธิตการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเตาชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าได้ 6 วัตต์ ส่วนงานทดลองของ Maneewan et al. (2005) ใช้ตัวเก็บความร้อนทรงกลมติดบนหลังคาเพื่อรับรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าภายใต้ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ประมาณ 800 W/m² ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30–35°C ระบบสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.2 วัตต์ มีประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1–4% ในทางปฏิบัติ การทดสอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกบนหลังคาโลหะทาสีดำ พบว่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็นอยู่ที่ประมาณ 16°C สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ 0.12 โวลต์ และ Watcharaudom et al. (2014) ยืนยันว่าโดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสี ช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลต่อการผลิตไฟฟ้า โดยที่ช่องว่าง 0.5 ซม. และ $\Delta T$ = 35°C ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.3132 วัตต์ Pisut et al. (2022) ได้ทำการวิจัยต่อยอดงานของ Watcharaudom et al. (2014) โดยแทนการใช้น้ำในการระบายความร้อนด้วยครีบดูดซับแนวนอน

และการระบายด้วยอากาศ เพื่อเก็บความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม ผ่านหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสี งานวิจัยนี้ใช้แผ่นทำความร้อนที่จ่ายพลังงาน 1,000–1,400 วัตต์ เพื่อสร้างพื้นผิวแทนความร้อนเกรดกลาง (320–550°C) ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิความร้อนเหลือทิ้งที่พบได้ทั่วไปในโรงงาน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าแผ่นดูดซับที่มีครีบช่วยเพิ่มการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ (ไพบูลย์ โกวิทเจริญกุล, 2014)

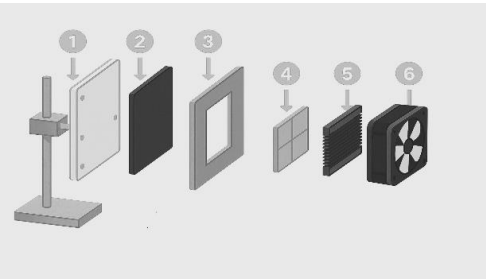
## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากการแผ่รังสีของสเตนเลส

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

การจัดอุปกรณ์การทดลองจะแสดงดังภาพที่ 1 แบ่งเป็นมีส่วนที่ให้ความร้อนคือแผ่นทำความร้อน (Heater) เป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 134 × 200 มิลลิเมตร ที่สามารถปรับความร้อนได้ตั้งแต่ 0 วัตต์ ถึง 1500 วัตต์ ด้วยความแปรปรวน และประกอบด้วยแผ่นวัสดุดูดซับความร้อนชนิดสเตนเลสความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 100 × 100 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นทำความร้อนและแผ่นวัสดุดูดซับความร้อนห่างเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ข้างวัสดุดูดซับความร้อนจะมีฉนวนกันความร้อนชนิดเส้นใยเซรามิคที่เจาะเป็นช่องสำหรับใส่เทอร์โมอิเล็กทริก (รุ่น TEC1-12710 ขนาด 40 × 40 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น) แสดงดังภาพที่ 2 และต่อผ่านหลอดไฟ LED จำนวน 1 หลอด ใช้สำหรับสังเกตผลการทดลองและทดสอบระบบโดยรวม ส่วนที่ใช้ระบายความร้อนด้านหลังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกฝั่งเย็นจะติดตั้งฮีตซิงค์ระบายความร้อนขนาด 119 × 200 มิลลิเมตร และพัดลมสำหรับระบายความร้อนฮีตซิงค์ (12 V.DC ขนาด 80 × 80 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว) ในระบบวัดอุณหภูมิจะวัดจำนวน 9 ตำแหน่งด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K และเก็บผลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) รุ่น Keithley DAQ 6510 ระบบวัดไฟฟ้าที่ได้จะทำการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วของเทอร์โมอิเล็กทริก และวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

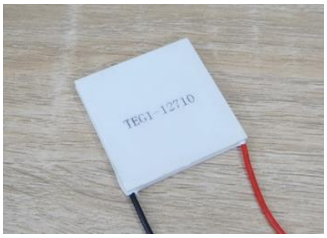



| ลำดับ | อุปกรณ์ |
|---|---|
| 1 | แผ่นทำความร้อน |
| 2 | แผ่นอะลูมิเนียมดูดซับความร้อน |
| 3 | ฉนวนกันความร้อน |
| 4 | แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก |
| 5 | แผงระบายความร้อนแบบครีบ |
| 6 | พัดลม |

**ภาพที่ 1** การจัดอุปกรณ์การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

### 3.2 ออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเลือกใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิ-เล็กทริกรุ่น (TEC1-12710) ดังภาพที่ 2 มีคุณสมบัติดังตาราง 1



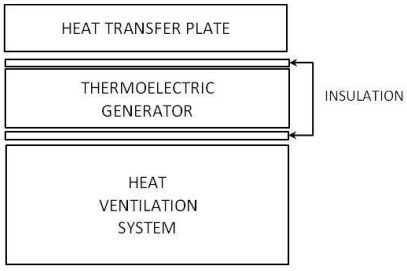

**ภาพที่ 2** อุปกรณ์เทอร์โมอิ-เล็กทริกรุ่น (TEC1-12710)

**ตารางที่ 1** คุณสมบัติของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12710 (ไพบูลย์ โกวิทเจริญกุล, 2014)

| อุณหภูมิด้านร้อน (°C) | 25 °C | 50 °C |
|---|---|---|
| ปริมาณความร้อนสูงสุด (W) | 85 | 96 |
| ความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิที่สร้างขึ้น (°C) | 66 | 75 |
| กระแสไฟฟ้าเข้าสูงสุด (A) | 10.5 | 10.5 |
| แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V) | 15.2 | 17.4 |
| ความต้านทานของโมดูล (Ω) | 1.06 | 1.24 |

TEC1-12710 เป็นเพลเทียร์ (Peltier) module แบบมาตรฐาน ประกอบด้วยแผ่นเซมิคอนดักเตอร์ 127 คู่ รองรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสสูงสุดราว 12 V/10 A นิยมใช้ในงานระบายความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ หรือนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง

หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก คือ เมื่อผิวทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิแตกต่างกันจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังนั้น โครงสร้างของชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ถูกออกแบบให้ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วน ดังภาพที่ 3 ได้แก่ อุปกรณ์รับและถ่ายเทพลังงานความร้อน (Heat transfer plate) ทำหน้าที่เป็นตัวรับความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก อุปกรณ์แปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า (Thermoelectric generator) และอุปกรณ์ระบายความร้อน (Heat ventilation system) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากผิวด้านเย็น อุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วนถูกประกอบเข้าด้วยกันเป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตไฟฟ้า



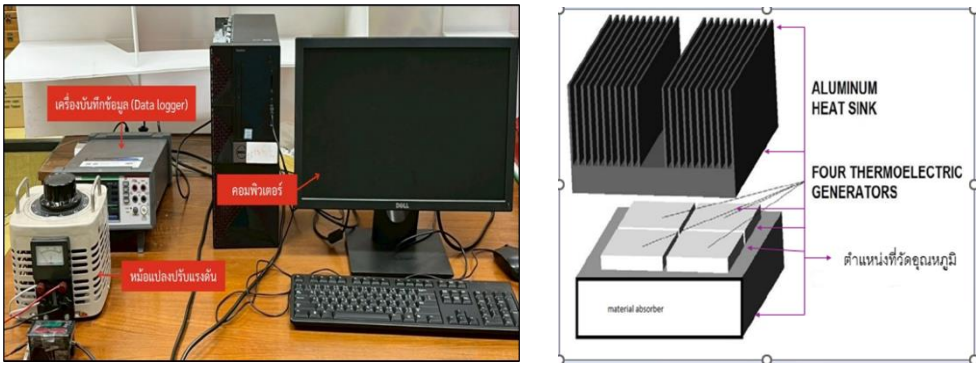

**ภาพที่ 3** แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ภายในชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

### 3.3. ประกอบชุดทดลอง

ประกอบอุปกรณ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (ไพบูลย์ โกวิทเจริญกุล, 2014) ออกแบบและประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีและใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นแผ่นดูดซับความร้อนประกอบไปด้วยแผ่นทำความร้อนชนิดสเตนเลส ขนาด 134 x 200 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 2,200 วัตต์ แรงดัน 220 โวลต์ แผ่รังสีมายังแผ่นดูดซับความร้อนที่ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร การถ่ายเทความร้อนไปยังโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 40 x 40 มิลลิเมตร (TEC1-12710) ที่ด้านหลังของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก มีครีบระบายความร้อนทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ความกว้าง 119 มิลลิเมตร และยาว 200 มิลลิเมตร ร่วมกับพัดลมกระแสตรงจำนวน 2 ตัว ตามที่แสดงในภาพที่ 1

### 3.4 ดำเนินการทดลอง

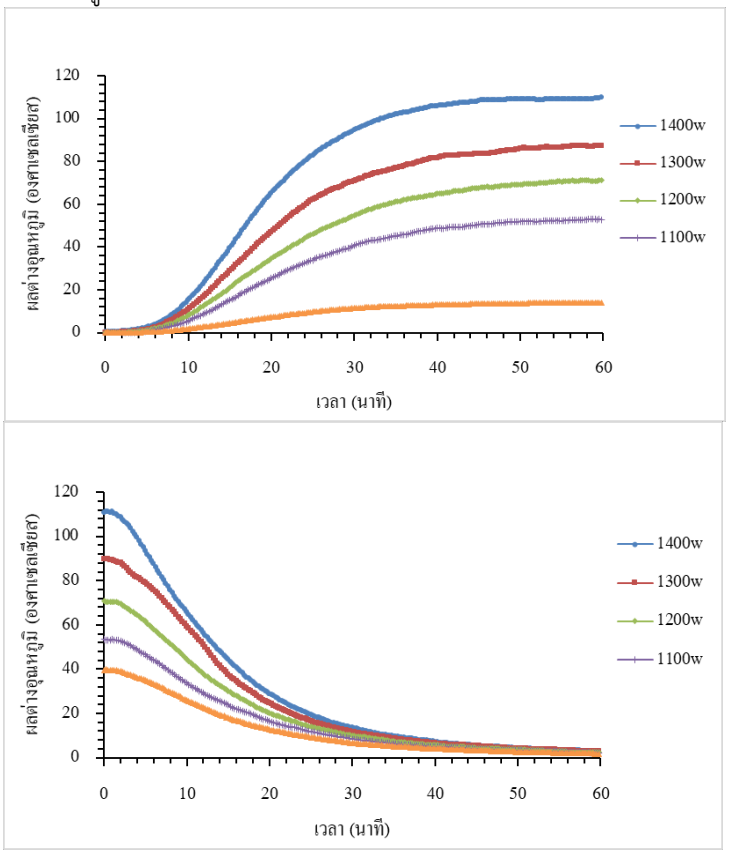
การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Keithly DAQ 6510 data acquisition) ดังภาพที่ 4 (ซ้าย) ใช้วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ดังภาพที่ 4 (ขวา) และเริ่มการทดลองโดยเริ่มจากปรับหม้อแปลงปรับแรงดันจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 1,000 วัตต์ ให้กับแผ่นทำความร้อน ไปจนถึงกำลังไฟฟ้าที่ 1,400 วัตต์ และโดยจะเก็บข้อมูลเป็นเวลา 60 นาที




**ภาพที่ 4** อุปกรณ์การทดลอง (ซ้าย) และตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ (ขวา)

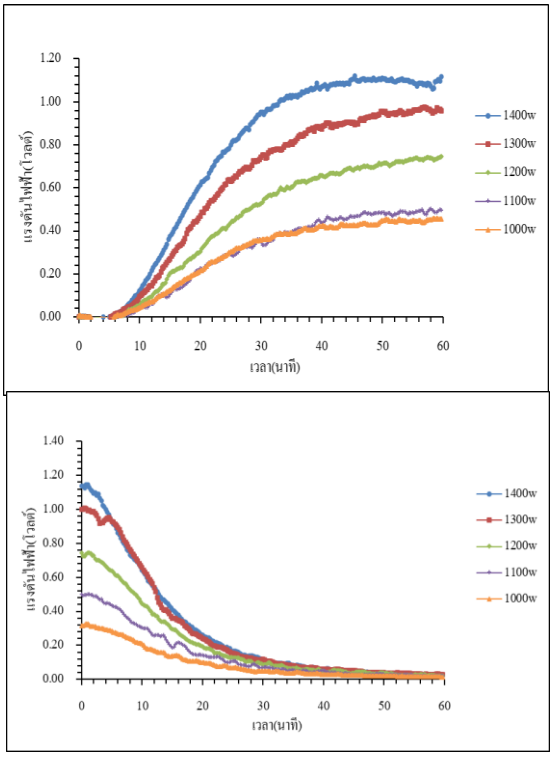
**4.ผลการวิจัย**

การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก จะเห็นได้ เมื่อแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายให้แผ่นทำความร้อนมากขึ้น มีผลทำให้ผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสูงขึ้นตาม รายละเอียดดังนี้



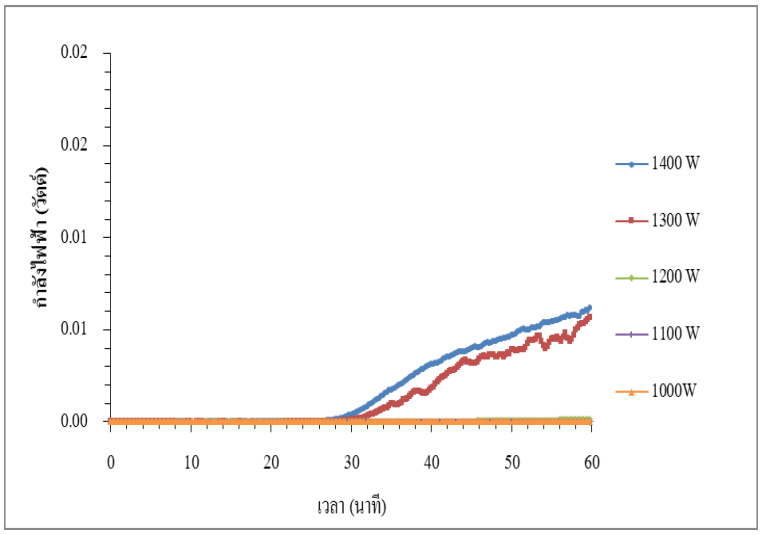

**ภาพที่ 5** การเปลี่ยนแปลงของผลต่างอุณหภูมิระหว่างด้านหน้าด้านหลังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับเวลา

จากภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ระหว่างด้านหน้าด้านหลังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับเวลาสำหรับพลังงานไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ที่จ่ายให้กับเครื่องทำความร้อนที่ช่องว่างอากาศ 3 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากนั้นจึงไปถึงสภาวะที่ค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่า ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องทำความร้อนยิ่งมากขึ้น ผลต่างของอุณหภูมิก็จะมากขึ้นและใช้เวลานานขึ้นจนถึงสภาวะคงที่พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิที่วัดได้ระหว่างด้านหน้าแผ่นทำความร้อนกับด้านหน้าแผ่นดูดซับความร้อนจนถึงสภาวะที่ค่อนข้างคงที่ภายใน 35 นาที (บน) ส่วนในภาพด้านล่างเมื่อปิดระบบแผ่นความร้อนอุณหภูมิจะลงอย่างต่อเนื่องถึง 30 นาทีและเริ่มนิ่งจนถึงนาทีที่ 60



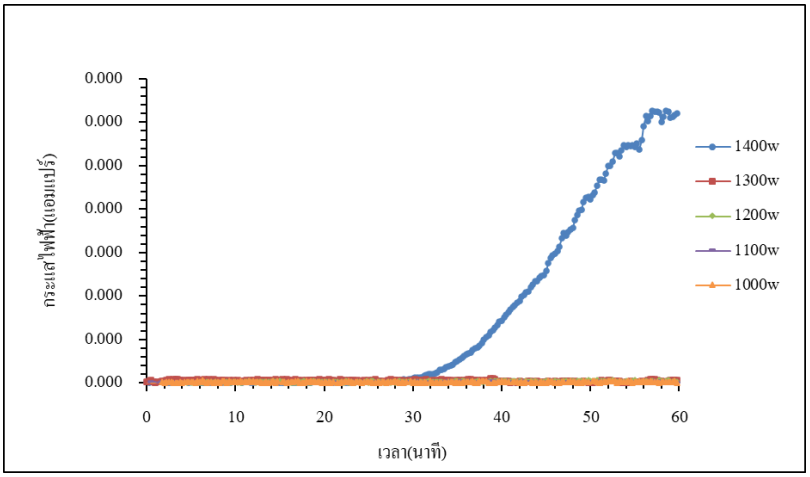

**ภาพที่ 6** การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นทำความร้อนถึงแผ่นดูดซับความร้อนเทียบกับเวลา

ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลาความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นทำความร้อนถึงแผ่นดูดซับความร้อนเทียบกับเวลาต่อเนื่องในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง โดยเฉพาะในช่วง 0-20 นาทีแรกและเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยใช้เวลาประมาณ 40 นาที โดยแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 0.45-1.16 โวลต์ อย่างไรก็ตามกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (บน) ส่วนในภาพด้านล่างเมื่อปิดระบบแผ่นความร้อนแรงดันไฟฟ้าจะลงอย่างต่อเนื่องถึง 30 นาทีและเริ่มนิ่งจนถึงนาทีที่ 60




**ภาพที่ 7** การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา

แสดงผลกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกในภาพที่ 7 นำไปเขียนกราฟดังภาพ แสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า ที่สร้างได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อน จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที กำลังที่จ่ายในส่วน 1300 วัตต์ และ 1400 วัตต์ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 0.0000-0.0035 วัตต์




**ภาพที่ 8** การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา

แสดงผลกระแสไฟฟ้าในภาพที่ 8 ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก นำไปเขียนกราฟดังภาพ แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ที่สร้างได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเทียบกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อน จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกมีใช้เวลาประมาณ 28-30 นาที จะเกิดกระแสไฟ โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 0.0000-0.0055 แอมแปร์

**ตารางที่ 2** ผลการทดลองภายใต้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

| แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า(W) | $V_{DC}$ (V) | I (A) | P (W) | $T_h$ (°C) | $T_c$ (°C) | $D_T$ (°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,000 | 0.45 | 0.000 | 0.000 | 50.337 | 40.221 | 14.107 |
| 1,100 | 0.49 | 0.0001 | 0.0002 | 96.781 | 43.518 | 52.920 |
| 1,200 | 0.74 | 0.0005 | 0.0004 | 120.739 | 49.509 | 71.228 |
| 1,300 | 0.95 | 0.0014 | 0.0056 | 141.506 | 54.279 | 87.431 |
| 1,400 | 1.16 | 0.0035 | 0.0011 | 166.670 | 56.782 | 109.778 |

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มระดับของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อนส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ Seebeck Effect ที่ระบุว่า แรงดันไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีความต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้เห็นภาพรวมของผลการทดลองอย่างชัดเจน จึงได้จัดทำตารางผลการทดลองค่าต่าง ๆ ในสภาวะคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพของระบบ โดยรายละเอียดดังตารางที่ 5 และได้นำการทดลองของ Pisut et al. (2022) มาเปรียบเทียบผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ด้านหน้าและด้านหลังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะช่องว่างอากาศลดลงและกระแสความร้อนสูงขึ้น โดยที่ที่ 1,400 วัตต์ และช่องว่างอากาศ 3 ซม. อุณหภูมิด้านหลังแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 143.13°C ขณะที่ที่ 1,200 วัตต์ และช่องว่างอากาศ 3 ซม. อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 97.139°C โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงทดลองที่ตีพิมพ์ก่อนหน้านี้โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่มีขนาดเท่ากัน พบว่ามีความสอดคล้องกันในระดับที่น่าพอใจ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบตัวดูดซับความร้อนแบบมีครีบสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้การแผ่รังสีเพื่อการกู้คืนความร้อนเหลือทิ้งได้อย่างเหมาะสมต่อไป

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Anova) เพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ภายใต้ระดับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาด 1,000, 1,100, 1,200, 1,300 และ1,400 วัตต์ พบว่า ระดับกำลังไฟฟ้าในช่วง 1,000 ถึง 1,200 วัตต์ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม C มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลลัพธ์ของแต่ละระดับอยู่ในช่วงค่าต่ำและมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในช่วง 1,000 และ 1,200 วัตต์ ยังไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างชัดเจน ในขณะที่ระดับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 1,300 วัตต์ (กลุ่ม B) และ 1,400 วัตต์ (กลุ่ม A) พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม C ($p<0.05$) โดยเฉพาะที่ระดับ 1,400 วัตต์ ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด แสดงถึงความสามารถในการแปลงพลังงานความร้อนเหลือทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้ามากกว่า 1,300 วัตต์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระดับต่ำกว่านั้นยังไม่เพียงพอในการผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นผลการทดลองในหัวข้อนี้ เราสามารถนำความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (Champier, 2010) เช่น ท่อไอเสียกังหันก๊าซ เตาอบ และท่อไอเสียเครื่องยนต์ เป็นต้น นำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้และการตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนของพื้นที่วัสดุนั้น ๆ ในกรณีไม่ต่อกับระบบไฟฟ้า

**6. เอกสารอ้างอิง**

กุสุมา อุทิศวงศ์. (2562). สเตนเลสและการใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, *48*(2), 45–58.

ไพบูลย์ โกวิทเจริญกุล. (2014). *การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก* (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. (2540). *วัสดุศาสตร์มูลฐาน*. กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ. (2006). *รายงานฉบับสมบูรณ์: งานศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพทางเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนเหลือทิ้งขนาด 100 วัตต์*. ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M., & Strub, F. (2010). Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy, 35*(2), 935–942. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.015

Hsiao, Y. Y., Chang, W. C., & Chen, S. L. (2010). A mathematic model of thermoelectric module with applications on waste heat recovery from automobile engine. *Energy, 35*(4), 1447–1454. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.030

Ioffe, A. F. (1957). *Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling*. London: Infosearch.

Maneewan, S., Khedari, J., Zeghmati, B., Hirunlabh, J., Daguenet, M., and Eakburanawat, J. (2004). Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector. Renewable Energy, *29*(5), 743 – 752. https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.10.005

Pisut, T., Preeda, C., & Joseph, K. (2022). Radiation-based thermoelectric power generation with finned heat absorber. *International Journal of Renewable Energy Research, 12*(1), 231–238.

Pisut, T., Preeda, C., & Joseph, K. (2022, November 29–December 2). Numerical modeling of heat transfer of finned heat absorber with respect to thermoelectric power generator. *International Conference and Exhibition on Science, Technology, and Engineering of Materials*.

Rowe, D. M. (1995). *CRC handbook of thermoelectrics*. CRC Press.

Seebeck effect. (2012). Thomas Johann Seebeck. *In Wikipedia*. http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Johann_Seebeck

Watcharodom, N., Puangsombut, W., Khedari, J., Vatcharasatien, N., & Hirunlabh, J. (2014). Experimental investigation of thermoelectric power generation using radiative heat exchange. *Advanced Materials Research, 1025–1026*, 1125–1133. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.1125

Yodovard, P., Khedari, J., & Hirunlabh, J. (2001). The potential of waste heat thermoelectric power generation from diesel cycle and gas turbine cogeneration plants. *Energy Sources, 23*(3), 213–224. https://doi.org/10.1080/00908310151092266

# การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่มีความสามารถในการสร้าง Indole Acetic Acid (IAA) จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อย

# Isolation of Indole Acetic Acid (IAA) Producing Pink Pigmented Facultative Methylotrophs from the Phyllosphere of *Wedelia trilobata* (L.) Hitch

**ธัญลักษณ์ ใจป้อม[1], ฐิติปวีณ์ แซ่หลี[2], และธนวุฒิ พรหมบัญชาชัย[3]***

**Thanyaluk Jaipom[1], Thitipawee Saelee[2], Thanawut Prombunchachai[3]***

[1]สาขาวิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

[1]Division of Microbiology and Parasitology, School of Medical Sciences, University of Phayao,

Tthanpp17532634@gmail.com, mythtipawee@gmail.com, thanawut.pr@up.ac.th

**บทคัดย่อ**

Indole-3-acetic acid (IAA) เป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน (auxin) ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ปัจจุบันเกษตรกรใช้ IAA สังเคราะห์ทางเคมี เพื่อกระตุ้นการเกิดรากของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม Pink-pigmented facultative methylotrophs (PPFMs) จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) Hitch) ในพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยาและศึกษาความ สามารถ ในการสร้าง IAA จากการศึกษาปริมาณและคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs บนอาหาร Ammonia mineral salt agar (AMS) ที่มีเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 0.5 พบว่า แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs เจริญเป็นโคโลนีสีชมพูบนอาหาร มีปริมาณอยู่ระหว่าง $3.00 \times 10^3$ ถึง $2.18 \times 10^5$ CFU/g ของตัวอย่างใบไม้ และสามารถแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ได้ทั้งหมดจำนวน 81 ไอโซเลต มีลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลล์เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน จากการศึกษาความ สามารถในการสร้าง IAA เบื้องต้นโดยสังเกตจากโซนสีชมพูรอบ ๆ โคโลนีหลังจากหยด Salkowski reagent มี 70 ไอโซเลตที่เกิดโซนสีชมพู และเมื่อนำมาศึกษา การสร้าง IAA โดยเลี้ยงในอาหารที่เติมและไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร พบว่า แบคทีเรียทุกไอโซเลตสามารถสร้าง IAA ได้ในอาหารทั้ง 2 ชนิด โดยไอโซเลต WLPP10-5 สามารถสร้าง IAA ได้สูงที่สุดในอาหารที่เติม L-tryptophan มีปริมาณ IAA เท่ากับ 16.18 ± 2.84 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นศักยภาพของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ในการสร้าง IAA ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ในการเกษตรเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

**คำสำคัญ:** Indole-3-acetic acid (IAA), Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs), กระดุมทองเลื้อย

**Abstract**

Indole-3-acetic acid (IAA) is a key phytohormone in the auxin group that plays a crucial role in regulating plant growth and development. Currently, chemically synthesized are widely used in agriculture to promote root induction. This study aimed to determine and isolate pink-pigmented facultative methylotrophs (PPFMs) from

the leaves of *Wedelia trilobata* (L.) Hitch collected from the University of Phayao, and to evaluate their potential in IAA production. PPFMs were isolated using Ammonia Mineral Salt (AMS) agar supplemented with 0.5% methanol, where they formed distinctive pink colonies. The quantity of PPFMS ranged from $3.00 \times 10^3$ to $2.18 \times 10^5$ CFU/g of leaf sample. A total of 81 isolates were obtained, all of which were Gram-negative, rod-shaped bacteria. Preliminary screening for IAA production using Salkowski reagent revealed that 70 isolates produced a pink halo around the colonies, indicating IAA synthesis. Further quantification of IAA production was performed in media with and without 0.2 g/L L-tryptophan supplementation. All isolates were capable of producing IAA under both conditions. The isolate WLPP10-5 produced the highest IAA concentration of 16.18 ± 2.84 µg/mL in L-tryptophan-supplemented medium. The results highlight the potential of PPFMs as plant growth-promoting bacteria through microbial IAA production and suggest their applicability in sustainable agricultural practices.

**Keywords:** Indole-3-acetic acid (IAA), Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs), *Wedelia trilobata* (L.) Hitch

**1. บทนำ**

Indole-3-acetic acid (IAA) เป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน (auxin) ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชการส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมของพืช (Woodward & Bartel, 2005) มีโครงสร้างเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบ indole ที่มีหมู่ Carboxymethyl group มีกรดอะมิโน L-tryptophan เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ ออกซินเป็นฮอร์โมนพืชที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด (Slavov et al., 2003) การยืดยาวของราก (San-Francisco et al., 2005) การยืดยาวของเซลล์ (Cleland, 1990) ปัจจุบันมีการใช้ออกซินในรูปของ IAA และอนุพันธ์ของ IAA ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น กรดแนฟทาลีนแอซีติก (naphthylacetic acid, NAA) กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ในบริเวณเนื้อเยื่อเจริญของพืช ทำให้มีการชักนำให้เกิดรากในพืช (Srivastava, 2002) และกรดอินโดล-3-บิวทีริก (indole-3-butyric acid, IBA) เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีเสถียรและมีประสิทธิภาพสูงในการเร่งการเกิดราก (Audus, 1953)

IAA นอกจากสามารถผลิตได้จากพืช ยังสามารถผลิตได้จากแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืช เช่น *Franconibacter* sp. แยกได้จากใบหญ้าแห้วหมู (*Cyperus rotundus Linn.*) (Wang et al.,2022) *Arthrobacter* sp. แยกได้จากใบของพืช คลุมดินในสวนแอปเปิ้ล (apple orchard) (Scheublin & Leveau, 2013) และ *Bacillus aryabhattai* MG9 แยกได้จากใบของ *Bruguiera cylindrica* (L.) Blume ที่เก็บรวบรวมจากป่าชายเลนบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (Khianngam et al.,2023) นอกจากนี้บนใบพืชยังมีแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปร่างท่อน ที่สามารถใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมเดียว เช่น formate, formaldehyde และ methanol บางชนิดสามารถใช้ methane เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเมื่อเจริญบนอาหารแข็งมีโคโลนีสีชมพู ปัจจุบันมี 2 สกุล คือ *Methylobacterium* และ *Methylorubrum* (Alessa, et al.,2021) จากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถแยก แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่สามารถผลิต IAA ได้จากใบพืชหลายชนิด เช่น *Methylobacterium radiotolerans* ED5-9 แยกได้จากใบหญ้าปักกิ่ง

สามารถผลิต IAA ได้ 3.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ศิริพรรณ สารินทร์ และคณะ, 2556) และ *Methylobacterium phyllosphaerae* แยกได้จากใบข้าวสามารถผลิต IAA อยู่ในช่วง 15 ถึง 26 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (Madhaiyan et al.,2015)

กระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) Hitch) เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กและเป็นพืชข้ามปีในวงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) ที่นิยมปลูกเพื่อเป็นไม้ดอกไมประดับเป็นพืชที่เติบโตได้ดีในบริเวณดินชื้นแฉะสามารถใช้เป็นสมุนไพรและใช้ ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น สีผสมอาหาร และสีย้อมผ้า เป็นต้น ได้มีการศึกษาแยกจุลินทรีย์รอบรากต้นกระดุมทองเลื้อยที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและมีความสามารถในการสร้าง IAA (วราภรณ์ สุทธิสา และศิริประภา คำจันดี, 2562) และจากการศึกษาของ Schaure & Kutschera (2008) พบว่ามีปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่ใบของต้นทานตะวัน ที่เป็นพืชในวงศ์เดียวกันกับต้นกระดุมทองเลื้อย อยู่ในช่วง $3 \times 10^2$ ถึง $3 \times 10^3$ CFU/g ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษาปริมาณและแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จากใบของ ต้นกระดุมทองเลื้อยและศึกษาความสามารถในการสร้าง IAA ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรต่อไป

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อศึกษาปริมาณและแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยพร้อมทั้งศึกษาความสามารถในการสร้าง IAA ของแบคทีเรียที่แยกได้

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

**การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จากใบของกระดุมทองเลื้อย**

ตัวอย่างใบของต้นกระดุมทองเลื้อยสุ่มเก็บในพื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยพะเยาจำนวน 11 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างเลือกเก็บใบที่ไม่มีร่องรอยของหนอนหรือแมลงกัดแทะและรอยด่าง โดยเก็บจากยอดบนสุดลงมา 3-5 ใบ ใส่ในถุงพลาสติกนำตัวอย่าง ใบกระดุมทองเลื้อย 10 กรัม นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา และตัดให้เป็นชิ้นขนาดประมาณ 1 x 1 เซนติเมตร ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 90 มิลลิลิตร และเติม Tween 80 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปการเจือจางตามระดับความเจือจางจนถึง $10^{-4}$ นำระดับความเจือจางที่ $10^{-2}$ $10^{-3}$ และ $10^{-4}$ ไป spread plate ลงบนอาหาร Ammonium mineral salt agar (AMS) ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) ระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน นับจำนวนโคโลนีสีชมพูที่เจริญบนอาหาร AMS มาคำนวณหาปริมาณของแบคทีเรีย (ธนากร แสงสง่า, 2558) และเลือกโคโลนีที่มีความแตกต่างกันมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี cross streak บนอาหาร glycerol-peptone agar (GP) ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโคโลนี เช่น สี รูปร่าง ขนาด ความนูน ขอบ เนื้อโคโลนี และการส่องผ่านของแสง จากนั้นนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา ของเซลล์โดยการย้อมสีแบบแกรมและนำไปส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า สังเกตการติดสีแกรม รูปร่าง ขนาด และการจัดเรียงตัวของเซลล์ เก็บเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้บนอาหาร GP slant เพื่อใช้เป็น working stock และเก็บเชื้อเป็น stock ในอาหารเหลว GP ที่มี glycerol ร้อยละ 20 โดยปริมาตร (v/v) นำไปเก็บไว้ที่ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

**การคัดเลือกเบื้องต้นของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ในการสร้าง IAA**

นำแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่มีอายุ 7 วัน จาก GP slant มาลงเชื้อแบบจุดบนอาหาร AMS ที่เติม glucose 5 กรัมต่อลิตร และ L-tryptophan 5 กรัมต่อลิตร นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นหยด Salkowski reagent ให้ท่วม สังเกตโซนสีชมพูที่เกิดขึ้นรอบ ๆ โคโลนี (Shrivastava & Kumar, 2011) ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs เลือกไอโซเลตที่เกิดโซนสีชมพูไปศึกษาในการสร้าง IAA ต่อไป

**การศึกษาปริมาณของ IAA จากแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs**

ในการศึกษาความสามารถในการสร้าง IAA นำแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ไอโซเลตที่เกิดโซนสีชมพู มาเลี้ยงในอาหารเหลว AMS broth ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) และเติม/ไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร โดยทำไอโซเลตละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มบนเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิที่อัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่อัตราการปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำ supernatant ไปหาปริมาณของ IAA โดยเติม Salkowski reagent ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณ IAA โดยเทียบกับกราฟมาตราฐานของสารละลาย IAA (Bharucha et al., 2013)

**4. ผลการวิจัย**

จากการคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จากตัวอย่างใบกระดุมทองเลื้อยในพื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 11 ตัวอย่าง บนอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) สามารถแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs โดยสังเกตจากลักษณะโคโลนีสีชมพู พบว่า ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs บนใบกระดุมทองเลื้อย มีปริมาณอยู่ระหว่าง 3.00 x $10^3$ CFU/g ถึง 2.18 x $10^5$ CFU/g และสามารถแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ได้ทั้งหมดจำนวน 81 ไอโซเลต ดังตารางที่ 1

เมื่อนำแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้ทั้ง 81 ไอโซเลต มาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโคโลนี พบว่า โคโลนีมีสีชมพู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างกลม โค้งนูนจากผิวหน้าอาหารเล็กน้อย ขอบเรียบ และผิวหน้าเรียบ นอกจากนี้ยังพบโคโลนีที่มีลักษณะเป็นคลื่นไม่แน่นอน มีปุ่มนูนตรงกลางโคโลนี พบทั้งขอบเรียบและขอบหยัก สามารถแบ่งได้ 10 แบบ เมื่อนำไปศึกษาลักษณะสัณฐาน วิทยาของเซลล์ พบว่า ทั้ง 81 ไอโซเลต เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน มีการจัดเรียงตัวแบบอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว มีขนาดเซลล์อยู่ระหว่างกว้าง 1 ถึง 2 ไมโครเมตร และยาว 2 ถึง 5 ไมโครเมตร มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** ปริมาณและจำนวนไอโซเลตของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้จากใบกระดุมทองเลื้อย

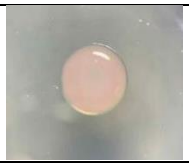
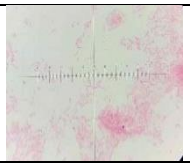
| ตัวอย่างที่ | พื้นที่เก็บตัวอย่าง/พิกัด | ปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs (CFU/g) | จำนวนไอโซเลต |
|---|---|---|---|
| 1 | หน้าร้านค้าสวัสดิการมหาวิทยาลัยพะเยา (19.03216°N, 99.89418°E) | 3.10 x $10^4$ | 6 |
| 2 | ข้างอาคารศูนย์บริการปฐมพยาบาล (19.03208°N, 99.89433°E) | 5.20 x $10^4$ | 9 |
| 3 | หลังอาคาร 99 ปี พระอุบาลีคุณูปมาจารย์ | 2.18 x $10^5$ | 9 |

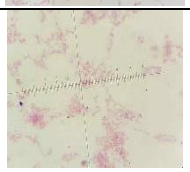
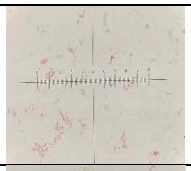
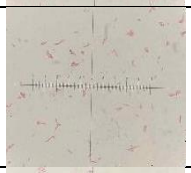
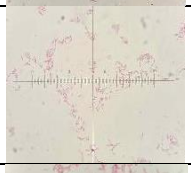
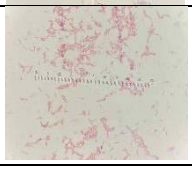
| | | | |
|---|---|---|---|
| | (19.03237°N, 99.89425°E) | | |
| 4 | หน้าอาคารอธิการบดี (19.0291807°N, 99.8962992°E) | $1.99 \times 10^5$ | 7 |
| 5 | หน้าอาคารสาธารณสุขศาสตร์ (19.0310457°N, 99.8981905°E) | $1.34 \times 10^5$ | 6 |
| 6 | หน้าอาคารเกษตรศาสตร์ (19.0312726°N, 99.8980570°E) | $2.00 \times 10^5$ | 8 |
| 7 | ทางเดินอาคารศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ (19.03146°N, 99.89495°E) | $1.71 \times 10^5$ | 1 |
| 8 | ข้างอาคารคณะวิทยาศาสตร์ (19.03039°N, 99.89679°E) | $1.09 \times 10^5$ | 15 |
| 9 | ทางเดินหลังอาคารคณะพยาบาลศาสตร์ (19.03155°N, 99.89715°E) | $2.77 \times 10^4$ | 10 |
| 10 | ใต้บันไดนาคฝั่งโรงอาหารอาคารเรียนรสม (ตึก CE) (19.03053°N, 99.89620°E) | $1.40 \times 10^4$ | 7 |
| 11 | ข้างศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ฝั่งอาคารศิลปะศาสตร์ (19.03101°N, 99.89460°E) | $3.00 \times 10^3$ | 3 |
| | **รวม** | | **81** |

**ตารางที่ 2** การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโคโลนีและลักษณะสัณฐานวิทยาเซลล์

| รูปแบบที่ | ภาพลักษณะสัณฐานวิทยา | | ลักษณะสัณฐานวิทยา |
|---|---|---|---|
| | โคโลนี | การติดสีแกรม | |
| 1 | | | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าเรียบ ขอบเรียบ โปร่งแสง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 5 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 2 | | | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน มีรอยบุ๋มตรงกลาง ขอบเรียบ ทึบแสง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 2 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |

**ตารางที่ 2** การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโคโลนีและลักษณะสัณฐานวิทยาเซลล์(ต่อ)

| รูปแบบที่ | ภาพลักษณะสัณฐานวิทยา | | ลักษณะสัณฐานวิทยา |
|---|---|---|---|
| | โคโลนี | การติดสีแกรม | |
| 3 |  |  | โคโลนี: รูปร่างกลม แบน ผิวหน้าเรียบ ขอบเรียบ โปร่งแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 3 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | | | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าขรุขระ ขอบเรียบ ทึบแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 4 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 5 | |  | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าเรียบ ตรงกลางมีสีเข้มทึบแสง ขอบเรียบ และโปร่งแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 3 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 6 | | | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าหยัก มีปุ่มนูนตรงกลาง ขอบเรียบ ทึบแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 4 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 7 | |  | โคโลนี: รูปร่างกลม แบน ผิวหน้าเป็นคลื่น ขอบเรียบ ทึบแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 4 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 8 | |  | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าเรียบ มีปุ่มนูนตรงกลาง ขอบเรียบ ทึบแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 3 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 9 | |  | โคโลนี: รูปร่างกลม แบน ผิวหน้าเรียบ ตรงกลางมีสีเข้มทึบแสง ขอบเรียบ และโปร่งแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 4 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |
| 10 | |  | โคโลนี: รูปร่างกลม นูน ผิวหน้าเรียบ ขอบเรียบ โปร่งแสง<br>มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร<br>เซลล์: รูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 2 ไมโครเมตร ยาว 5 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ<br>การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว |

**การคัดเลือกเบื้องต้นของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs และการศึกษาความสามารถในการสร้าง IAA**

เมื่อนำแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้มาทดสอบการสร้าง IAA เบื้องต้น หลังจากหยด Salkowski reagent พบว่ามีแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่เกิดโซนสีชมพูขึ้นรอบ ๆ โคโลนี มีทั้งหมด 70 ไอโซเลต จากนั้นเมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการสร้าง IAA ในอาหารเหลว AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) และเติม/ไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร พบว่า แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ทั้ง 70 ไอโซเลต สามารถสร้าง IAA ได้ในอาหารที่เติมและไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร โดยปริมาณ IAA ที่สร้างได้ในอาหารที่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณอยู่ระหว่าง 16.18 ± 2.84 ถึง 1.53 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และในอาหารที่ไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณอยู่ระหว่าง 8.64 ± 1.83 ถึง 1.03 ± 0.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จำนวน 18 ไอโซเลต ที่สามารถสร้าง IAA ในอาหารที่เติม L-

tryptophan ได้มากกว่า 7.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยไอโซเลต WLPP10-5 สามารถสร้าง IAA ได้สูงที่สุดในอาหารเหลว AMS ที่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่สามารถสร้าง IAA ได้มากกว่า 7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในอาหารที่เติม L-tryptophan

| ลำดับที่ | ไอโซเลต | ปริมาณ IAA (µg/ml) | ลำดับที่ | ไอโซเลต | ปริมาณ IAA (µg/ml) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | WLPP10-5 | $16.18^{a} \pm 2.84$ | 10 | WLPP6-2 | $8.19^{b} \pm 3.87$ |
| 2 | WLPP4-4 | $15.74^{a} \pm 2.75$ | 11 | WLPP6-6 | $7.94^{b} \pm 2.18$ |
| 3 | WLPP8-15 | $15.68^{a} \pm 2.78$ | 12 | WLPP6-9 | $7.82^{b} \pm 1.43$ |
| 4 | WLPP4-3 | $11.47^{b} \pm 2.36$ | 13 | WLPP10-6 | $7.82^{b} \pm 3.24$ |
| 5 | WLPP6-5 | $10.14^{b} \pm 1.04$ | 14 | WLPP3-8 | $7.44^{b} \pm 5.01$ |
| 6 | WLPP2-1 | $9.77^{b} \pm 0.58$ | 15 | WLPP4-5 | $7.38^{b} \pm 1.73$ |
| 7 | WLPP11-1 | $9.20^{b} \pm 1.39$ | 16 | WLPP10-3 | $7.31^{b} \pm 1.58$ |
| 8 | WLPP8-3 | $8.67^{b} \pm 2.18$ | 17 | WLPP8-1 | $7.19^{b} \pm 1.18$ |
| 9 | WLPP6-7 | $8.38^{b} \pm 0.29$ | 18 | WLPP9-8 | $7.19^{b} \pm 2.62$ |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยตัวอักษรแตกต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความ แตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p<0.05$)

เมื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของไอโซเลต WLPP10-5 พบว่า มีลักษณะสัณฐานวิทยาของโคโลนีตามรูปแบบที่ 1 ที่มีรูปร่างโคโลนีกลม นูน ผิวหน้าเรียบ ขอบเรียบ โปร่งแสง มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และมีลักษณะสัณฐานวิทยาเซลล์ มีรูปร่างแท่ง ขนาดกว้าง 1 ไมโครเมตร ยาว 5 ไมโครเมตร ติดสีแดง แกรมลบ การจัดเรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยว

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนใบพืช โดยใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานใน การเจริญเมื่อเจริญบนอาหารแข็งที่เติมเมทานอลจะมีโคโลนีสีชมพู (Alessa, et al.,2021) จากการคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs จากใบของต้นกระดุมทองเลื้อยบนอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) มีการเจริญของโคโลนี สีชมพู เมื่อคำนวณปริมาณของเชื้ออยู่ระหว่าง $3.00 \times 10^{3}$ CFU/g ถึง $2.18 \times 10^{5}$ CFU/g สอดคล้องกับ Schaure & Kutschera (2008) ที่ศึกษาปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs บนใบของต้นทานตะวันที่เป็นพืชในวงศ์เดียวกัน กับต้นกระดุมทองเลื้อย มีปริมาณอยู่ในช่วง $3.00 \times 10^{2}$ ถึง $3.00 \times 10^{3}$ CFU/g และสอดคล้องกับ (ศิริพรรณ สารินทร์ และคณะ, 2556) ที่ศึกษาปริมาณของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs บนใบหญ้าปักกิ่งมีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย $2.5 \times 10^{3}$ CFU/g

จากการศึกษาความสามารถในการสร้าง IAA ในอาหาร AMS ที่มีเมทานอลร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร (v/v) และเติม/ไม่เติม L-tryptophan 0.2 กรัมต่อลิตร ซึ่งในการสังเคราะห์ IAA โดยทั่วไปมี 2 วิถี คือ วิถีที่ใช้ L-tryptophan เป็นสารตั้งต้น (Tryptophan-dependent pathway) เป็นวิถีหลักในการสังเคราะห์ IAA ในพืชส่วนใหญ่ โดย L-tryptophan จะถูกเปลี่ยนผ่านเส้นทางเมตาบอลิซึมหลายเส้นทางย่อย ได้แก่ Indole-3-pyruvic acid (IPA) pathway, Indole-3-acetamide

(IAM) pathway, Tryptamine (TAM) pathway และ Indole-3-acetonitrile (IAN) pathway เป็นต้น และวิถีที่ไม่ใช้ L-tryptophan เป็นสารตั้งต้น (Tryptophan-independent pathway) IAA จะถูกสังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นอื่น เช่น chorismate หรือ indole โดยไม่ผ่าน L-tryptophan (Mano & Nemoto, 2012) แบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้จากใบต้นกระดุมทองเลื้อยสามารถสร้าง IAA ได้ ทั้งในอาหารที่เติม และไม่เติม L-tryptophan โดยไอโซเลต WLPP10-5 สามารถสร้าง IAA ได้สูงที่สุดในอาหารเหลว AMS ที่เติม L-tryptophan มีปริมาณ เท่ากับ 16.18 ± 2.84 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับNysanth et al. (2018) ที่ศึกษาความสามาถในการผลิต IAA ของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้จากใบข้าว อยู่ในช่วง 6.74 ถึง 33.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาความสามารถของแบคทีเรียกลุ่ม PPFMs ที่แยกได้จากใบของกระดุมทองเลื้อย ที่มีความสามารถในการสร้าง IAA สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในการเกษตรสำหรับใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ผู้วิจัยขอขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่สนับสนุนงบประมาณ และให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดการวิจัยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

**7. เอกสารอ้างอิง**

วราภรณ์ สุทธิสา และ ศิริประภา คำจันดี. (2562). การคัดแยกแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากดินบริเวณรอบรากต้นกระดุมทองเลื้อย (*Wedelia trilobata* (L.) A.S. Hitchook). *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*, 13(2), 79-92

ศิริพรรณ สารินทร์, ธนวุฒิ พรมบัญชาชัย, นารีลักษณ์ นาแก้ว และ อภิชาต ชิดบุรี. (2556). การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่ม Pink Pigmented Facultative Methylotrophs (PPFMs) ที่สามารถในการสร้าง Indole Acetic Acid (IAA) จากหญ้าปักกิ่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร*, *21(2)*, 14

ธนากร แสงสง่า. (2558). การสังเคราะห์ indole-3-acetic acid (IAA) ของแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ที่แยกได้จาก ยางพารา *Hevea brasiliensis* Mull-Arg. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *7*, 30-31.

Alessa, O., Ogura, Y., Fujitani, Y., Takami, H., Hayashi, T., Şahin, N., & Tani, A. (2021). Comprehensive comparative genomics and phenotyping of *Methylobacterium* species. *Frontiers in Microbiology, 12*, Article 740610. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.740610

Audus, L. J. (1953). A sensitive and versatile bioassay for auxin. *Nature, 172*, 1039. https://doi.org/10.1038/1721039a0

Bharucha, U., Patel, K., & Trivedi, U. (2013). Optimization of indole acetic acid production by *Pseudomonas putida* UB1 and its effect as plant growth-promoting rhizobacteria on mustard (*Brassica nigra*). *Agricultural Research, 2*(3), 215–221.

Cleland, R. E. (1990). Auxin and cell elongation. In P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones and their role in plant growth and development* (pp. 132–148). Kluwer Academic Publishers.

Khianngam, S., Meetum, P., Na Chiangmai, P., & Tanasupawat, S. (2023). Identification and optimization of Indole-3-acetic acid production of endophytic bacteria and their effects on plant growth. *Tropical Life Sciences Research, 34*(1), 219–239.

Madhaiyan, M., Alex, T. H. H., Ngoh, S., Te, P. B., Prithiviraj, B., & Ji, L. (2015). Leaf-residing *Methylobacterium* species fix nitrogen and promote biomass and seed production in *Jatropha curcas*. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, 8*, Article 222. https://doi.org/10.1186/s13068-015-0404-y

Mano, Y., & Nemoto, K. (2012). The pathway of auxin biosynthesis in plants. *Journal of Experimental Botany, 63*(8), 2853–2872.

Nysanth, N. S., Meenakumari, K. S., Syriac, E. K., & Subha, P. (2018). Isolation, characterization and evaluation of pink pigmented facultative methylotrophs (PPFMs) associated with paddy. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), 2187–2210.

San Francisco, S., Houdusse, F., Zamarreno, A. M., Garnica, M., Casanova, E., & Garcia-Mina, J. M. (2005). Effects of IAA and IAA precursors on the development, mineral nutrition, IAA content and free polyamine content of pepper plants cultivated in hydroponic conditions. *Scientia Horticulturae, 106*, 38–52.

Scheublin, T. R., & Leveau, J. H. J. (2013). Isolation of *Arthrobacter* species from the phyllosphere and demonstration of their epiphytic fitness. *MicrobiologyOpen, 2*(1), 205–213.

Schaure, S., Kutschera, U. (2008). Methylotrophic bacteria on the surfaces of field-grown sunflower plants: a biogeographic perspective. *Theory Biosciences*, 127, 23-29.

Shrivastava, U. P., & Kumar, A. (2011). A simple and rapid plate assay for the screening of Indole 3 Acetic Acid (IAA) producing microorganisms. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology, 2*(1), 120–123.

Slavov, S., Van Onckelen, H., Batchvarova, R., Atanassov, A., & Prinsen, E. (2003). IAA production during germination of *Orobanche* spp. seeds. *Journal of Plant Physiology, 161*, 847–853.

Srivastava, L. M. (2002). *Plant growth and development: Hormones and environment*. Academic Press.

Wang, S., Wang, J., Zhou, Y., Huang, Y., & Tang, X. (2022). Prospecting the plant growth–promoting activities of endophytic bacteria *Franconibacter* sp. YSD YN2 isolated from *Cyperus esculentus* L. var. *sativus* leaves. *Annals of Microbiology, 72*, Article 1. https://doi.org/10.1186/s13213-021-01656-2

Woodward, A. W., & Bartel, B. (2005). Auxin: Regulation, action, and interaction. *Annals of Botany, 95*, 707–7

# การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำรับยาสมุนไพรผสมระหว่างขมิ้นชัน ว่านหางจระเข้ บัวบก และเปลือกมังคุด โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพร

# Chemical Analysis of Herbal Formulation Containing Turmeric, Aloe Vera, Centella asiatica and Mangosteen Peel by High Performance Liquid Chromatography as a Guideline for Herbal Product Development

**ณัฐณิชา จานทอง[1], มุกรวีย์ มิตรสงเคราะห์[2], พัฒน์ศรัญย์ เลาหไพบูลย์[3], อรณิชา คงวุฒิ[4]***

**Natnicha Jantong[1], Moukrawee Mistsongkor[2], Phatsaran Laohhapaiboon[3], Ornnicha Kongwut[4]***

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[1]The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University

[2]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[2]The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University

[3]ห้างหุ้นส่วนจำกัด บุญพาวาสนาส่ง

[3]Boonpawassanasong Limited Partnership

[4]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[4]Department of Physics, Faculty of science and technology, Kanchanaburi Rajabhat University, ornnicha.k@kru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำรับยาสมุนไพรผสมที่ประกอบด้วยขมิ้นชัน ว่านหางจระเข้ บัวบก และเปลือกมังคุด โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) และเปรียบเทียบคุณสมบัติกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน เพื่อเป็นแนวทางในการใช้สมุนไพรทดแทนผลิตภัณฑ์เคมี การศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยสกัดสมุนไพรด้วยเอทานอล 70% ผสมในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 : 1 วิเคราะห์สารสำคัญด้วย HPLC และทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ผลการวิจัยพบสารออกฤทธิ์สำคัญ 8 ชนิด โดยเคอร์คูมินมีปริมาณสูงสุด 14.3±0.6 มิลลิกรัมต่อกรัม (32.8%) ตามด้วยแอลฟา-แมงโกสติน 8.8±0.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (20.2%) ตำรับสมุนไพรมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระที่ IC50 = 45.8±2.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่โพลีไวดอน-ไอโอดีนไม่แสดงฤทธิ์ ตำรับสมุนไพรมีค่า pH 5.8±0.2 ซึ่งเหมาะสมกับผิวหนังมากกว่าโพลีไวดอน-ไอโอดีน (pH 3.5±0.1) แต่มีความคงตัวต่ำกว่า การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ระหว่างคุณสมบัติของตำรับสมุนไพรกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณเคอร์คูมินกับค่า IC50 ($r = -0.876$) การศึกษานี้แสดงศักยภาพของตำรับยาสมุนไพรเป็นทางเลือกในการดูแลบาดแผล ด้วยข้อได้เปรียบด้านความปลอดภัย การต้านอนุมูลอิสระ และต้นทุนที่ต่ำ แต่ควรต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพทางคลินิกต่อไป

**คำสำคัญ :** สมุนไพรไทย เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โพลีไวดอน-ไอโอดีน การต้านอนุมูลอิสระ เคอร์คูมิน

**Abstract**

This research aimed to analyze the chemical composition of a herbal formulation containing turmeric, aloe vera, centella asiatica, and mangosteen peel using High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and compare its properties with povidone-iodine as a guideline for using herbal products to replace synthetic chemicals. This experimental study involved extracting herbs with 70% ethanol, mixing in a 2 : 1 : 1 : 1 ratio, analyzing active compounds using HPLC, and testing various properties. Results revealed eight significant bioactive compounds, with curcumin showing the highest concentration at 14.3±0.6 mg/g (32.8%), followed by α-mangostin at 8.8±0.4 mg/g (20.2%). The herbal formulation demonstrated antioxidant activity with $IC_{50}$ = 45.8±2.3 μg/mL, while povidone-iodine showed no antioxidant effect. The herbal formulation had a pH of 5.8±0.2, which is more suitable for skin compared to povidone-iodine (pH 3.5±0.1), but showed lower stability. Statistical analysis revealed significant differences ($p<0.001$) between the herbal formulation and povidone-iodine properties. Correlation analysis showed a negative relationship between curcumin content and $IC_{50}$ values ($r = -0.876$). This study demonstrates the potential of herbal formulations as an alternative for wound care, with advantages in safety, antioxidant activity, and lower cost, but requires further clinical efficacy studies.

**Keywords:** Thai herbs, High Performance Liquid Chromatography, Povidone-iodine, Antioxidant activity, Curcumin

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันการดูแลรักษาบาดแผลมักอาศัยผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เบตาดีน (Povidone-iodine) ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสถานพยาบาล (Ariani et al., 2024; Zhang et al., 2021) อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเหล่านี้ อาจส่งผลข้างเคียงต่อผิวหนัง เช่น การระคายเคือง การแพ้ หรือการทำลายเนื้อเยื่อที่ดีในบริเวณแผล (Ancy, 2018) นอกจากนี้การพึ่งพาผลิตภัณฑ์นำเข้ายังส่งผลกระทบต่อต้นทุนการรักษา และความมั่นคงด้านสาธารณสุขของประเทศ ขณะเดียวกันประเทศไทยมีภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรในการรักษาบาดแผลที่สั่งสมมาอย่างยาวนาน (Brimson et al., 2025) โดยเฉพาะการใช้ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) ซึ่งมีสารสำคัญคือเคอร์คูมิน (Curcumin) ที่มีคุณสมบัติต้านการอักเสบ และต้านแบคทีเรีย (Chou et al., 2023; Buhrmann et al., 2021) การศึกษาทางวิทยาศาสตร์พบว่าเคอร์คูมิน (Curcumin) ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด รวมถึงเชื้อสแตปฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) และเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) ที่เป็นสาเหตุหลักของการติดเชื้อในบาดแผล (Dilnessa, 2019) ตำรับยาพื้นบ้านไทย มักผสมผสานขมิ้นชันกับสมุนไพรอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ว่านหางจระเข้ (*Aloe vera*) ที่มีสารอะโลอิน (Aloin) ช่วยสมานแผลและลดการอักเสบ บัวบก (*Centella asiatica*) ที่อุดมไปด้วยเอเชียติโคไซด์ (Asiaticoside) กระตุ้นการสร้างคอลลาเจนและเร่งการหายของแผล และเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana*) ที่มีสารแซนโทน (Xanthones) โดยเฉพาะแอลฟา-แมงโกสติน (α-Mangostin) ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ (Felix et al., 2022; Nguyen et al., 2021; Saeloh et al., 2021) แม้ว่าการใช้สมุนไพรเหล่านี้จะมีประวัติการใช้งานที่ยาวนานและได้ผลดี แต่ยังขาดการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีและการศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระอย่างเป็นระบบ (Chotchoungchatchai et al., 2020) การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลว

สมรรถนะสูง (HPLC : High Performance Liquid Chromatography) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตำรับยาสมุนไพรผสม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียกับเบตาดีน

การวิจัยนี้จะให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนการใช้สมุนไพรไทยเป็นทางเลือกในการดูแลบาดแผล ลดการพึ่งพาสารเคมี สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสมุนไพรท้องถิ่น และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการส่งเสริมสุขภาพด้วยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของประเทศ (Lanh et al., 2021) ผลการศึกษาจะเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่มีมาตรฐานมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์เคมี และปลอดภัยสำหรับการใช้งานในระยะยาว อันจะนำไปสู่การสร้างทางเลือกใหม่ในการดูแลสุขภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนเศรษฐกิจชุมชนอย่างแท้จริง (Wang et al., 2025)

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

1. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารออกฤทธิ์ในตำรับยาสมุนไพรผสมที่ประกอบด้วยขมิ้นชัน ว่านหางจระเข้ บัวบก และเปลือกมังคุด โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาสมุนไพรผสมเปรียบเทียบกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน และเป็นแนวทางในการใช้สมุนไพรทดแทนผลิตภัณฑ์เคมีสังเคราะห์ในอนาคต

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory-based Experimental Research) โดยแบ่งการดำเนินงาน ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก เน้นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและเปรียบเทียบคุณสมบัติเพื่อเป็นแนวทางในการใช้สมุนไพรทดแทนผลิตภัณฑ์เคมี

**ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมวัตถุดิบและสารสกัดสมุนไพร**

การจัดหาและเตรียมสมุนไพรสดจากแหล่งปลูกที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) ว่านหางจระเข้ (*Aloe vera*) บัวบก (*Centella asiatica*) และเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana*) โดยทำการล้างทำความสะอาด ตัดแต่งให้มีขนาดเหมาะสม และทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven, Model DHG-9023A, Shanghai Yiheng Scientific Instrument Co., Ltd., China) ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ความชื้นไม่เกิน 10% ตามวิธีของ Brimson et al. (2025)

กระบวนการสกัดจะใช้วิธีการแช่แอลกอฮอล์ (Maceration) โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 70% (Ethanol 99.5%, AR grade, RCI Labscan Ltd., Thailand) เป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย 1 : 10 (น้ำหนักโดยปริมาตร) เป็นเวลา 72 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองและระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator, Model R-114, Buchi, Switzerland) จนได้สารสกัดข้น ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Chou et al. (2023) การเตรียมตำรับยาผสมจะผสมสารสกัดทั้ง 4 ชนิดในอัตราส่วน ขมิ้นชัน : ว่านหางจระเข้ : บัวบก : เปลือกมังคุด = 2 : 1 : 1 : 1 ตามตำรับยาพื้นบ้านที่ดัดแปลง จากการศึกษาของ Saeloh et al. (2021)

**ขั้นตอนที่ 2 : การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง**

การวิเคราะห์จะดำเนินการที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC System, Model 1290 Infinity II, Agilent Technologies, USA) พร้อมตัวตรวจวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลต และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (UV-Visible Detector, Model G7114A, Agilent

Technologies, USA) และเครื่องตรวจวัดสารชนิดโฟโตไดโอดอะเรย์ (Photodiode Array Detector, Model G7115A, Agilent Technologies, USA)

สภาวะการวิเคราะห์จะใช้คอลัมน์ C18 (250 × 4.6 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร, Luna C18(2), Phenomenex, USA) อุณหภูมิคอลัมน์ 30 องศาเซลเซียส วัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็นระบบความลาดชันของน้ำ (gradient) (0.1% กรดฟอร์มิก, Formic acid 99%, AR grade, Merck KGaA, Germany) และอะซีโตไนไตรล์ (Acetonitrile, HPLC grade, Merck KGaA, Germany) อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรการฉีด 20 ไมโครลิตร ตามสภาวะที่ดัดแปลงจาก Felix et al. (2022) สำหรับการวิเคราะห์แอลฟา-แมงโกสติน และ Buhrmann et al. (2021) สำหรับการวิเคราะห์เคอร์คูมิน

สารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยเคอร์คูมิน (Curcumin, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA), เดเมทอกซีเคอร์คูมิน (Demethoxycurcumin, ≥95%, Sigma-Aldrich, USA), บิสเดเมทอกซีเคอร์คูมิน (Bisdemethoxycurcumin, ≥95%, Sigma-Aldrich, USA) สำหรับขมิ้นชัน อะโลอิน (Aloin, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA) และอะโลอีโมดิน (Aloeemodin, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA) สำหรับว่านหางจระเข้ เอเชียติโคไซด์ (Asiaticoside, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA) และมาเดคาสโซไซด์ (Madecassoside, ≥95%, Sigma-Aldrich, USA) สำหรับบัวบก และแอลฟา-แมงโกสติน (α-Mangostin, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA) สำหรับเปลือกมังคุด การวิเคราะห์เชิงปริมาณจะทำโดยการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของสารมาตรฐานแต่ละชนิดและคำนวณหาปริมาณสารในตัวอย่างตามวิธีของ Nguyen et al. (2021)

**ขั้นตอนที่ 3 : การประเมินคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ**

การศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของตำรับยาสมุนไพรผสมเปรียบเทียบกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน (Povidone-iodine 10%, Betadine Solution, Mundipharma, Thailand) ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องมือวัดค่า pH (pH Meter, Model SevenEasy, Mettler Toledo, Switzerland) ตามมาตรฐาน USP (United States Pharmacopeia) ความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Viscometer, Model DV2T, Brookfield, USA) ตามวิธีการของ Zhang et al. (2021)

การทดสอบความคงตัวของสาระสำคัญจะทำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (4, 25, 40 องศาเซลเซียส) และภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Stability Chamber, Model KBF 720, Binder, Germany) ตามแนวทาง ICH Q1A (International Council for Harmonisation) ที่ดัดแปลงโดย Wang et al. (2025) การทดสอบการละลายน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ จะทำตามวิธีมาตรฐาน USP

การศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาผสมด้วยวิธี DPPH assay โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH, ≥95%, Sigma-Aldrich, USA) ตามวิธีการของ Awais et al. (2021) และ ABTS assay โดยใช้ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS, ≥98%, Sigma-Aldrich, USA) และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, ACS grade, Merck KGaA, Germany) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Lanh et al. (2021) เพื่อประเมินศักยภาพในการป้องกันความเสียหายจากอนุมูลอิสระ การทดสอบจะทำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (10-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, ≥99%, Sigma-Aldrich, USA) การอ่านค่าการดูดกลืนแสงจะใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer, Model UV-1800, Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับ DPPH และ 734 นาโนเมตร สำหรับ ABTS

**ขั้นตอนที่ 4 : การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล**

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ จะถูกบันทึกและวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics version 28.0 (IBM Corp., USA) ตามวิธีการทางสถิติของ Jing et al. (2024) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะใช้การทดสอบ t-test แบบกลุ่มตัวอย่างอิสระ (Independent t-test) สำหรับการเปรียบเทียบ 2 กลุ่ม และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ตามด้วยการทดสอบช่วงหลายค่าใหม่ของ Duncan (Duncan's Multiple Range Test) สำหรับการเปรียบเทียบมากกว่า 2 กลุ่ม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสำคัญกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระจะใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) แบบ Pearson correlation coefficient ตามวิธีการของ Chotchoungchatchai et al. (2020) ผลการวิจัยจะถูกนำเสนอในรูปแบบตาราง กราฟ และการอภิปรายเพื่อสรุปศักยภาพของตำรับยาสมุนไพรเปรียบเทียบกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน และให้ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อยอดในการใช้สมุนไพรเป็นทางเลือกในการดูแลบาดแผลในอนาคต

การศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของมหาวิทยาลัย และเป็นการวิจัยพื้นฐานเพื่อสร้างฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพร โดยไม่ได้ทำการทดสอบกับสิ่งมีชีวิต แต่เน้นการวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณสมบัติเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาประสิทธิภาพทางคลินิกในอนาคต

## 4. ผลการวิจัย

**การเตรียมสารสกัดสมุนไพร (n = 3)**

การสกัดสมุนไพรด้วยเอทานอล 70% เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ผลผลิตสารสกัดข้นที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด โดยขมิ้นชันให้ผลผลิตสูงสุด 18.5±0.8% ตามด้วยบัวบก 12.3±0.6% เปลือกมังคุด 8.7±0.4% และว่านหางจระเข้ 6.2±0.3% ตามลำดับ สารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งหนืด สีเข้มตามธรรมชาติของสมุนไพรแต่ละชนิด และละลายน้ำได้ดี ผลผลิตที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลจากความแตกต่างของปริมาณสารสกัดได้ในแต่ละชนิดสมุนไพร รวมถึงคุณสมบัติการละลายในตัวทำละลายที่ใช้

**ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง**

**ตารางที่ 1** ปริมาณสารสำคัญในสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดแห้ง) (n = 3)

| สมุนไพร | สารสำคัญ | ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกรัม) |
|---|---|---|
| ขมิ้นชัน | Curcumin | 28.5±1.2[a] |
| | Demethoxycurcumin | 8.7±0.4[b] |
| | Bisdemethoxycurcumin | 4.2±0.3[C] |
| ว่านหางจระเข้ | Aloin | 15.8±0.7[a] |
| | Aloeemodin | 3.2±0.2[b] |
| บัวบก | Asiaticoside | 22.4±1.1[a] |
| | Madecassoside | 18.6±0.9[b] |
| เปลือกมังคุด | α-Mangostin | 35.2±1.5[a] |
| | γ-Mangostin | 12.8±0.6[b] |

**หมายเหตุ :** ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละสมุนไพรแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test โดย $^{a}$, $^{b}$, $^{c}$ = ระดับความแตกต่างทางสถิติ ($^{a}$ = สูงสุด, $^{b}$ = ปานกลาง, $^{c}$ = ต่ำสุด)

จากผลการวิเคราะห์สารสำคัญในสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิด พบว่าเปลือกมังคุดให้ปริมาณ α-Mangostin สูงสุด (35.2±1.5 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือขมิ้นชันที่ให้ Curcumin (28.5±1.2 มิลลิกรัมต่อกรัม) บัวบกให้ Asiaticoside (22.4±1.1 มิลลิกรัมต่อกรัม) และว่านหางจระเข้ให้ Aloin (15.8±0.7 มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ การที่แต่ละสมุนไพรแสดงการมีอยู่ของสารสำคัญหลักที่เป็นเอกลักษณ์ของตนเองยืนยันความถูกต้องของการใช้เทคนิค HPLC ในการวิเคราะห์

**ตารางที่ 2** องค์ประกอบของสารสำคัญในตำรับยาสมุนไพรผสมตามสัดส่วน 2 : 1 : 1 : 1 (n = 3)

| สารสำคัญ | ปริมาณในตำรับผสม (มิลลิกรัมต่อกรัม) | % ของสารสำคัญทั้งหมด |
|---|---|---|
| Curcumin | 14.3±0.6$^{a}$ | 32.8% |
| α-Mangostin | 8.8±0.4$^{b}$ | 20.2% |
| Asiaticoside | 5.6±0.3$^{c}$ | 12.9% |
| Madecassoside | 4.7±0.2$^{d}$ | 10.8% |
| Aloin | 3.9±0.2$^{d}$ | 9.0% |
| Demethoxycurcumin | 2.2±0.1$^{e}$ | 5.0% |
| γ-Mangostin | 1.6±0.1$^{f}$ | 3.7% |
| อื่น ๆ | 2.4±0.3 | 5.6% |
| **รวม** | **43.5±1.2** | **100%** |

**หมายเหตุ :** ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test

เมื่อนำสารสกัดมาผสมตามสัดส่วนตำรับ พบว่าสารสำคัญบางชนิดหายไป โดยเหลือเพียง 8 ชนิด จาก 9 ชนิดที่พบในสารสกัดแยกเดี่ยว โดย Curcumin ยังคงมีปริมาณสูงสุด (14.3±0.6 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 32.8%) ตามด้วย α-Mangostin (8.8±0.4 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 20.2%) การหายไปของ Bisdemethoxycurcumin และ Aloeemodin อาจเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบในระหว่างการผสม หรือการที่ปริมาณดังกล่าวต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องมือ

**คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ**

**ตารางที่ 3** เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างตำรับสมุนไพรผสมกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน 10% (n = 3)

| คุณสมบัติ | ตำรับสมุนไพรผสม | โพลีไวดอน-ไอโอดีน 10% |
|---|---|---|
| ค่า pH | 5.8±0.2$^{b}$ | 3.5±0.1$^{a}$ |
| ความหนืด (cP) | 12.5±0.8$^{b}$ | 8.3±0.4$^{a}$ |
| สี (L* a* b*) | 45.2, 18.4, 32.6 | 22.8, 5.2, 12.4 |
| ความละลายน้ำ | ละลายน้ำได้ดี | ละลายน้ำได้ดี |
| กลิ่น | หอมตามธรรมชาติ | กลิ่นไอโอดีน |

**หมายเหตุ :** ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยใช้ การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพแสดงให้เห็นว่าตำรับสมุนไพรมีค่า pH (5.8±0.2) ที่เหมาะสมกับผิวหนังมากกว่าโพลีไวดอน-ไอโอดีน (3.5±0.1) และมีความหนืดสูงกว่า (12.5±0.8 เทียบกับ 8.3±0.4 เซนติพอยส์) ซึ่งอาจช่วยในการยึดเกาะบนผิวแผลได้ดีกว่า ความแตกต่างของค่า pH ที่มีนัยสำคัญนี้แสดงให้เห็นว่าตำรับสมุนไพรมีความปลอดภัยต่อผิวหนังสูงกว่า

**ตารางที่ 4** ร้อยละการคงเหลือของสารสำคัญในตำรับยาและโพลีไวดอน-ไอโอดีนหลังเก็บรักษาที่สภาวะต่าง ๆ เป็นเวลา 3 เดือน (n = 3)

| สภาวะการเก็บรักษา | Curcumin | α-Mangostin | Asiaticoside | โพลีไวดอน-ไอโอดีน |
|---|---|---|---|---|
| 4°C | 96.8±1.2[a] | 98.2±0.8[a] | 97.5±1.0[a] | 99.1±0.5[a] |
| 25°C | 89.3±2.1[b] | 94.6±1.5[b] | 91.8±1.8[b] | 97.8±0.8[b] |
| 40°C | 74.5±3.2[c] | 86.7±2.4[c] | 83.2±2.6[c] | 92.4±1.2[c] |
| แสงฟลูออเรสเซนต์ | 68.2±2.8[d] | 81.3±2.1[d] | 79.6±2.3[d] | 88.9±1.5[d] |

**หมายเหตุ :** ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test

การทดสอบความคงตัวเป็นเวลา 3 เดือนแสดงให้เห็นว่าสารสำคัญทั้งหมดมีความคงตัวลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงและภายใต้แสง โดยเคอร์คูมินมีความไวต่อสภาวะการเก็บรักษามากที่สุด โดยเฉพาะแสงฟลูออเรสเซนต์ (เหลือ 68.2±2.8%) ในขณะที่โพลีไวดอน-ไอโอดีนมีความคงตัวสูงกว่าในทุกสภาวะ ผลนี้แสดงถึงข้อจำกัดสำคัญของตำรับสมุนไพรที่ต้องมีการปรับปรุงด้านการเก็บรักษา

**การทดสอบการต้านอนุมูลอิสระ**

**ตารางที่ 5** ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระแสดงเป็นค่า $IC_{50}$ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (n = 3)

| ตัวอย่าง | DPPH Assay | ABTS Assay |
|---|---|---|
| ตำรับสมุนไพรผสม | 45.8±2.3[b] | 38.2±1.8[b] |
| สารสกัดขมิ้นชัน | 32.4±1.5[c] | 28.6±1.2[c] |
| สารสกัดเปลือกมังคุด | 28.7±1.8[c] | 25.3±1.4[c] |
| สารสกัดบัวบก | 68.3±3.2[a] | 72.5±2.9[a] |
| สารสกัดว่านหางจระเข้ | 142.6±5.8[a] | 156.2±6.2[a] |
| Ascorbic acid (มาตรฐาน) | 18.5±0.8[d] | 16.2±0.6[d] |
| โพลีไวดอน-ไอโอดีน | ไม่มีฤทธิ์ | ไม่มีฤทธิ์ |

**หมายเหตุ :** ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test

ผลการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของตำรับสมุนไพร โดยมีค่า $IC_{50}$ ที่ 45.8±2.3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (DPPH) และ 38.2±1.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ABTS) ซึ่งดีกว่าสารสกัดเดี่ยวทุกชนิด ยกเว้นสารสกัดขมิ้นชันและเปลือกมังคุด ในขณะที่โพลีไวดอน-ไอโอดีนไม่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลนี้ยืนยันศักยภาพของตำรับสมุนไพรในการป้องกันความเสียหายจากอนุมูลอิสระ

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

**ตารางที่ 6** ผลการทดสอบ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test

| พารามิเตอร์ | F-value | p-value | Significance |
|---|---|---|---|
| ปริมาณสารสำคัญ | 324.56 | <0.001 | *** |
| ค่า pH | 892.34 | <0.001 | *** |
| ความหนืด | 156.78 | <0.001 | *** |
| การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) | 445.23 | <0.001 | *** |
| การต้านอนุมูลอิสระ (ABTS) | 523.67 | <0.001 | *** |

**หมายเหตุ :** *** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ p<0.001

**ตารางที่ 7** ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารสำคัญกับการต้านอนุมูลอิสระ (n = 3)

| สารสำคัญ | DPPH $IC_{50}$ | ABTS $IC_{50}$ |
|---|---|---|
| Curcumin | -0.876*** | -0.823*** |
| α-Mangostin | -0.745** | -0.692** |
| Asiaticoside | -0.567* | -0.534* |
| Aloin | -0.423* | -0.398 |
| DPPH vs ABTS | - | 0.934*** |

**หมายเหตุ :** * = p<0.05, ** = p<0.01, *** = p<0.001

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเคอร์คูมินกับค่า $IC_{50}$ ของการต้านอนุมูลอิสระ (r = -0.876 สำหรับ DPPH) ซึ่งยืนยันว่าเคอร์คูมินเป็นสารหลักที่มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตำรับ

**การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย**

**ตารางที่ 8** เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างตำรับสมุนไพรกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน

| ปัจจัย | ตำรับสมุนไพรผสม | โพลีไวดอน-ไอโอดีน |
|---|---|---|
| ความปลอดภัย | สูง (ธรรมชาติ) | ปานกลาง (อาจระคายเคือง) |
| การต้านอนุมูลอิสระ | มี ($IC_{50}$ = 45.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) | ไม่มี |
| ความคงตัว | ปานกลาง (ไวต่อแสงและความร้อน) | สูง |
| ต้นทุน | ต่ำ (วัตถุดิบท้องถิ่น) | สูง (นำเข้า) |
| การยอมรับ | ดี (กลิ่นหอมธรรมชาติ) | ปานกลาง (กลิ่นไอโอดีน) |

| ปัจจัย | ตำรับสมุนไพรผสม | โพลีไวดอน-ไอโอดีน |
|---|---|---|
| ความพร้อมใช้ | ต้องเตรียม | พร้อมใช้ |

การเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าตำรับสมุนไพรมีข้อได้เปรียบในด้านความปลอดภัย การต้านอนุมูลอิสระ และต้นทุนที่ต่ำ แต่มีข้อเสียในด้านความคงตัวและความสะดวกในการใช้งาน

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

**อภิปรายผล**

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง แสดงให้เห็นการมีอยู่ของสารออกฤทธิ์หลักในตำรับสมุนไพรผสมอย่างชัดเจน โดยเคอร์คูมินซึ่งเป็นสารสำคัญจากขมิ้นชันมีปริมาณสูงสุด 14.3 มิลลิกรัมต่อกรัม คิดเป็น 32.8% ของสารสำคัญทั้งหมด ซึ่งจากการศึกษาของ Chou et al. (2023) รายงานว่าเคอร์คูมินในปริมาณขั้นต่ำ 10-15 มิลลิกรัมต่อกรัมสามารถแสดงคุณสมบัติต้านการอักเสบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านการยับยั้งการทำงานของ NF-**K**B และไซโคลออกซิจีเนส-2 ในขณะที่การศึกษาของ Buhrmann et al. (2021) พบว่าเคอร์คูมินในปริมาณ 8-12 มิลลิกรัมต่อกรัมสามารถยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ ซึ่งปริมาณที่พบในตำรับนี้อยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพดังกล่าว แอลฟา-แมงโกสติน (**α**-Mangostin) จากเปลือกมังคุดที่พบในปริมาณ 8.8 มิลลิกรัมต่อกรัม (20.2%) มีความสำคัญในการต้านแบคทีเรียเทียบเท่ากับเคอร์คูมิน การศึกษาของ Felix et al. (2022) แสดงให้เห็นว่าแอลฟา-แมงโกสตินมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียแกรมบวกอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเชื้อสแตปฟิโลคอคคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุหลักของการติดเชื้อในบาดแผล โดยแอลฟา-แมงโกสตินในปริมาณ 5-10 มิลลิกรัมต่อกรัม สามารถยับยั้งการเติบโตของเชื้อนี้ได้ด้วยค่า MIC (Minimum Inhibitory Concentration) ที่ 8-16 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแกร่ง การมีอยู่ของเอเชียติโคไซด์ (Asiaticoside) และมาเดคาสโซไซด์ (Madecassoside) จากบัวบกในปริมาณ 5.6 และ 4.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เป็นการเสริมศักยภาพของตำรับในด้านการกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน การศึกษาของ Awais et al. (2021) พบว่าไตรเทอร์พีนอยด์ (Triterpenoids) เหล่านี้สามารถเพิ่มการสังเคราะห์คอลลาเจน (Collagen) ประเภท I และ III ลดการสลายตัวของเมทริกซ์เซลล์ (Cell Matrix) และส่งเสริมการสร้างหลอดเลือดใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการสมานแผลระยะที่สอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างตารางที่ 1 และ 2 พบว่าสารสำคัญ 2 ชนิดหายไปในตำรับผสม ได้แก่ Bisdemethoxycurcumin จากขมิ้นชันและ Aloeemodin จากว่านหางจระเข้ เมื่อเทียบกับสารสกัดที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น สาเหตุที่เป็นไปได้ประกอบด้วย (1) การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบต่างชนิดในระหว่างกระบวนการผสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือการเกิดสารประกอบใหม่ (2) การที่สารเหล่านี้มีความไม่เสถียรภายใต้สภาวะการผสมและเก็บรักษา โดยเฉพาะ Aloeemodin ที่มีความไวต่อ pH และแสง (3) การที่ปริมาณของสารดังกล่าวในตำรับผสมอาจต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องมือ (Limit of Detection) ซึ่งการศึกษาของ Wang et al. (2025) พบปรากฏการณ์คล้ายคลึงกันในการผสมสารสกัดสมุนไพรหลายชนิด อย่างไรก็ตามการหายไปของสาร 2 ชนิดนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ โดยรวมของตำรับเนื่องจากสารหลักที่มีบทบาทสำคัญยังคงอยู่ครบถ้วน

ผลการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบที่สำคัญของตำรับสมุนไพรเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีไวดอน-ไอโอดีน โดยตำรับสมุนไพรมีค่า IC50 ที่ 45.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับการทดสอบ DPPH และ 38.2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

สำหรับการทดสอบ ABTS ในขณะที่โพลีไวดอน-ไอโอดีนไม่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ตามการศึกษาของ Wang et al. (2025) พบว่าคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์และการลดการอักเสบในบาดแผล โดยสารที่มีค่า IC50 ต่ำกว่า 50 μg/mL จะสามารถลดออกซิเดทีฟสเตรสและส่งเสริมการสมานแผลได้ดี การมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันความเสียหายจากออกซิเดทีฟสเตรส (Oxidative stress) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอักเสบ ซึ่งหากไม่ได้รับการควบคุมอาจนำไปสู่การอักเสบเรื้อรังและการหายของแผลที่ล่าช้า

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพพบว่าตำรับสมุนไพรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 5.8 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของผิวหนัง (pH 4.5-6.5) มากกว่าโพลีไวดอน-ไอโอดีนที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำถึง 3.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เป็นกรดจัดของโพลีไวดอน-ไอโอดีนอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวหนังบอบบาง หรือเด็กเล็ก การมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมของตำรับสมุนไพรจึงเป็นข้อได้เปรียบในด้านความปลอดภัย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang et al. (2021) ที่พบว่าผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มี pH ใกล้เคียงกับผิวหนังมีความปลอดภัยสูงกว่าผลิตภัณฑ์เคมีที่มี pH ต่ำหรือสูงมาก

ข้อจำกัดสำคัญที่พบในการศึกษานี้คือความคงตัวของสารสำคัญในตำรับสมุนไพร โดยเฉพาะเคอร์คูมินที่มีความไวต่อแสงและความร้อนสูง ผลการทดสอบความคงตัวแสดงให้เห็นว่าเคอร์คูมิน (Curcumin) เหลือเพียง 68.2% หลังจากการเก็บรักษาภายใต้แสงเป็นเวลา 3 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีไวดอน-ไอโอดีนที่ยังคงประสิทธิภาพไว้ได้ 88.9% การเลือกสภาวะการทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 4, 25, และ 40 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งการทดสอบภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ เป็นไปตามแนวทาง ICH Q1A (International Council for Harmonisation) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เภสัชกรรม โดยอุณหภูมิ 4°C เป็นสภาวะเก็บรักษาในตู้เย็น 25°C เป็นอุณหภูมิห้องปกติ และ 40°C เป็นสภาวะเร่งเพื่อจำลองผลกระทบของอุณหภูมิสูงในระยะยาว ส่วนการทดสอบภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์เป็นการจำลอง ผลกระทบของแสงที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและการใช้งาน ตามการศึกษาของ Zhang et al. (2021) ที่แนะนำให้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่มีเคอร์คูมินที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C และป้องกันแสง หรือเติมสารต้านออกซิเดชันเพื่อเพิ่มความคงตัว

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเคอร์คูมิน (Curcumin) กับค่า IC50 ของการต้านอนุมูลอิสระ (r = -0.876 สำหรับ DPPH) ซึ่งยืนยันว่าเคอร์คูมิน (Curcumin) เป็นสารหลักที่มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของตำรับ การค้นพบนี้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าโครงสร้างทางเคมีของเคอร์คูมิน (Curcumin) ที่มีหมู่ฟีนอลิก (Phenolic) และระบบพันธะคู่ที่เชื่อมกันทำให้สามารถบริจาคอิเล็กตรอนและทำให้อนุมูลอิสระเสถียรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์สุขภาพ การใช้วัตถุดิบท้องถิ่นในการผลิตตำรับสมุนไพรมีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าการนำเข้าโพลีไวดอน-ไอโอดีน จากการคำนวณต้นทุนการผลิตตำรับสมุนไพรต่อมิลลิลิตร พบว่ามีต้นทุนประมาณ 2.50 บาทต่อมิลลิลิตร (โดยคิดจากราคาวัตถุดิบสมุนไพรสด 50 บาท/กิโลกรัม, เอทานอล 120 บาท/ลิตร, ค่าพลังงานในการสกัด และระเหย 30 บาท/ชุด, ค่าแรงงาน 200 บาท/วัน) ในขณะที่โพลีไวดอน-ไอโอดีน 10% ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาประมาณ 15-25 บาทต่อ 30 มิลลิลิตร หรือประมาณ 0.50-0.83 บาทต่อมิลลิลิตร แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการใช้งานจริง ตำรับสมุนไพรยังคงมีต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ โดยเฉพาะเมื่อผลิตในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน และลดการพึ่งพาต่างประเทศ การมีกลิ่นที่เป็นธรรมชาติและไม่แสบคันเมื่อเปรียบเทียบกับกลิ่นไอโอดีนที่เฉียบแหลม อาจได้รับการยอมรับจากผู้ใช้มากกว่า โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและผู้สูงอายุ

การศึกษานี้มีข้อจำกัดสำคัญคือการไม่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการรักษาบาดแผลในสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการยืนยันประสิทธิภาพทางคลินิก ผลการศึกษาจึงเป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานที่แสดงถึงศักยภาพของตำรับสมุนไพร การศึกษาต่อยอดควรรวมถึงการทดสอบในเซลล์เพาะเลี้ยง การทดสอบในสัตว์ทดลอง และในที่สุดการทดลองทางคลินิกในมนุษย์ เพื่อยืนยันความปลอดภัยและประสิทธิภาพก่อนการนำไปใช้ในระบบสาธารณสุข

ผลการวิจัยนี้ให้ความหวังในการพัฒนาทางเลือกธรรมชาติสำหรับการดูแลบาดแผล ซึ่งมีความสำคัญในบริบทของประเทศกำลังพัฒนาที่ต้องการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์นำเข้า การสร้างฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนภูมิปัญญาท้องถิ่นจะช่วยยกระดับการแพทย์แผนไทยให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากลและสามารถบูรณาการเข้ากับการแพทย์สมัยใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อจำกัดการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติพื้นฐานของตำรับสมุนไพรไม่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการรักษาบาดแผลในสิ่งมีชีวิต ผลการศึกษาจึงเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อยอดและพัฒนา ผลิตภัณฑ์สมุนไพรเท่านั้น การยืนยันประสิทธิภาพทางคลินิกจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

**ข้อเสนอแนะ**

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

ควรดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพการรักษาบาดแผลในระดับเซลล์เพาะเลี้ยงและสัตว์ทดลอง เพื่อยืนยันคุณสมบัติทางชีวภาพของตำรับสมุนไพร พร้อมทั้งพัฒนาสูตรตำรับที่เพิ่มความคงตัวของสารสำคัญและปรับปรุงรูปแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง นอกจากนี้ควรศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการใช้เทคโนโลยีนาโนเอนแคปซูเลชัน (Nanoencapsulation) เพื่อปรับปรุงการดูดซึมและความคงตัวของสารสำคัญ รวมถึงการศึกษาการต้าน/ยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการติดเชื้อในบาดแผล

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุนการพัฒนาตำรับสมุนไพรนี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในระดับชุมชน โดยการถ่ายทอดความรู้การเตรียมและใช้งานให้กับผู้ประกอบการสมุนไพรท้องถิ่น รวมทั้งสร้างมาตรฐานการผลิตและการควบคุมคุณภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการขยายผลในระดับอุตสาหกรรม การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและการกำหนดอายุ การเก็บรักษาที่เหมาะสมก็เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพาณิชย์ในอนาคต

**6. เอกสารอ้างอิง**

Ancy, J. (2018). Surgical wound healing after wound care with normal saline over wound care with povidone iodine among the clients who have undergone laparotomy. *The Journal of Nursing Trendz*, *1*(1), 1-5. https://doi.org/10.5958/2249-3190.2018.00038.x

Ariani, I., Harsya, D. P., & Burhan, A. (2024). A comparison of the effects of contemporary dressings and 1% Povidone Iodine on the healing of diabetic ulceration: A Quasy Experiment. *Journal of Wound Research and Technology*, *1*(1), 1-8. https://doi.org/10.70196/jwrt.v1i1.4

Awais, M., Ahmad, W., Asif, A. R., Muhammad, S. A., Khan, I., Ali, M. A., Riaz, M. Q., & Saqib, M. (2021). Effects of a Mixture of Acacia Honey and Povidone-Iodine on the Healing of Full Thickness Skin Wound in Normal and Dexamethasone Treated Rabbits. *Pakistan Journal of Zoology*, *53*(2), 1-8. https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190202100216

Brimson, J. M., Brimson, S., Thitilertdecha, P., Tencomano, T., & Isidoro, C. (2025). A Brief History of Thai Traditional and Herbal Medicine. In *Medicinal Properties and Molecular Mechanisms of Thai Traditional Herbs* (pp. 1-25). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003508724-1

Buhrmann, C., Brockmueller, A., Mueller, A. L., Shayan, P., & Shakibaei, M. (2021). Curcumin Attenuates Environment-Derived Osteoarthritis by Sox9/NF-kB Signaling Axis. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(14), 7645. https://doi.org/10.3390/ijms22147645

Chotchoungchatchai, S., Krairit, O., Tragulpiankit, P., & Prathanturarug, S. (2020). The efficacy of honey and a Thai Herbal Oil preparation in the treatment of pressure ulcers based on Thai traditional medicine wound diagnosis versus standard practice: An open-label randomized controlled trial. *Contemporary Clinical Trials Communications*, *17*, 100538. https://doi.org/10.1016/j.conctc.2020.100538

Chou, A. H., Lee, H. C., Liao, C. C., Yu, H. P., & Liu, F. C. (2023). ERK/NF-kB/COX-2 Signaling Pathway Plays a Key Role in Curcumin Protection against Acetaminophen-Induced Liver Injury. *Life*, *13*(11), 2150. https://doi.org/10.3390/life13112150

Dilnessa, T. (2019). Antimicrobial Susceptibility Pattern of Staphylococcus aureus. In *Staphylococcus Aureus* (pp. 1-20). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.74615

Felix, L., Mishra, B., Khader, R., Ganesan, N., & Mylonakis, E. (2022). In Vitro and In Vivo Bactericidal and Antibiofilm Efficacy of Alpha Mangostin Against Staphylococcus aureus Persister Cells. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *12*, 898794. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.898794

Jing, X., Zhang, H., & Liu, D. (2024). Bioactive Anti-inflammatory Antibacterial Plasma-activated Hydrogel for Infected Wound Healing. In *2024 IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS)* (pp. 1-2). IEEE. https://doi.org/10.1109/icops58192.2024.10626857

Lanh, T. N., Le, Q. U., & Lay, H. L. (2021). The effective treatment therapy of oral ulcers by traditional medicine: A prospective science opinion. *Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine*, *7*(4), 1-8. https://doi.org/10.31254/jahm.2021.7401

Nguyen, P. T. M., Nguyen, M. T. H., & Bolhuis, A. (2021). Inhibition of biofilm formation by alpha-mangostin loaded nanoparticles against. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(3), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.061

Saeloh, D., Rattanama, P., Mordmuang, A., & Chokpaisarn, J. (2021). Wound Healing Potential of Ya-RakSa-Phlae: a Traditional Thai Herbal Recipe. *Journal of Complementary Medicine Research*, *12*(2), 16-25. https://doi.org/10.5455/jcmr.2021.12.02.16

Wang, X., Huo, H., Cao, L., Zhong, Y., Gong, J., Lin, Z., Xie, X., Bao, Z., & Zhang, P. (2025). Curcumin-release antibacterial dressings with antioxidation and anti-inflammatory function for diabetic wound healing and glucose monitoring. *Journal of Controlled Release*, *375*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2024.12.012

Zhang, F., Chen, Z., Su, F., & Zhang, T. (2021). Comparison of topical honey and povidone iodine-based dressings for wound healing: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Wound Care*, *30*(Sup4), S28-S35. https://doi.org/10.12968/jowc.2021.30.sup4.s28

# การพัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถะสูง

# Development of Keto Rice Formula from Local Ingredients and Study of Nutritional Value Using High-Performance Liquid Chromatography Techniques

**กรณิศา เกิดแก้ว[1], ธัญพิชชา โสแก้ว[2], พัฒน์ศรัญย์ เลาหไพบูลย์[3], อรณิชา คงวุฒิ[4]***

**Kornnisa Koedkeaw[1], Thanphitcha Sokaew[2], Phatsaran Laohhapaiboon[3], Ornnicha Kongwut[4]***

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[1]The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University

[2]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[2]The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University

[3]ห้างหุ้นส่วนจำกัด บุญพาวาสนาส่ง

[3]Boonpawassanasong Limited Partnership

[4]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[4]Department of Physics, Faculty of science and technology, Kanchanaburi Rajabhat University, ornnicha.k@kru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นและศึกษาคุณค่าทางโภชนาการด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถะสูง (HPLC) เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิและผลิตภัณฑ์ท้องตลาด การศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยพัฒนาข้าวคีโตสองสูตร สูตรที่ 1 ประกอบด้วยข้าวบุกร้อยละ 60 ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 30 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 10 สูตรที่ 2 ประกอบด้วยข้าวบุกร้อยละ 50 เมล็ดเจียร้อยละ 30 ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 15 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค HPLC และประเมินคุณสมบัติต่าง ๆ ผลการวิจัยพบว่า สูตรที่ 1 มีคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด 8.2±0.3 ต่อ 100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าข้าวหอมมะลิร้อยละ 89.6 และต่ำกว่าข้าวคีโตท้องตลาดร้อยละ 46.4 สูตรที่ 2 มีโปรตีนสูงถึง 5.4±0.3 ต่อ 100 กรัม และมีโปรไฟล์กรดอะมิโนครบถ้วน การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ระหว่างข้าวคีโตกับข้าวหอมมะลิ คุณสมบัติทางกายภาพแสดงความแข็ง 15.2-16.7 นิวตัน ความยืดหยุ่น 0.69-0.74 ปาสกาล และความเหนียว 0.52-0.58 จูลต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยอมรับได้สำหรับการบริโภค ต้นทุนการผลิตอยู่ระหว่าง 16.70-24.30 บาทต่อ 100 กรัม ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ท้องตลาดร้อยละ 46-63 จากองค์ประกอบทางเคมี คาดว่าผลิตภัณฑ์จะมีดัชนีน้ำตาลต่ำและเหมาะสมสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน การศึกษานี้แสดงศักยภาพของวัตถุดิบท้องถิ่นในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ สนับสนุนเศรษฐกิจชีวภาพ และสร้างทางเลือกที่เข้าถึงได้สำหรับผู้บริโภคไทย

**คำสำคัญ:** ข้าวคีโต อาหารคีโตเจนิก เบาหวาน วัตถุดิบท้องถิ่น เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถะสูง

**Abstract**

This research aimed to develop keto rice formulations from local ingredients and analyze their nutritional values using HPLC technique compared with jasmine rice and commercial products. This experimental study developed two keto rice formulations: Formula 1 consisting of 60% konjac, 30% ground cauliflower, and 10% coconut oil; Formula 2 consisting of 50% konjac, 30% chia seeds, 15% ground cauliflower, and 5% coconut oil. Chemical compositions were analyzed using HPLC and various properties were evaluated. Results showed that Formula 1 had the lowest carbohydrate content of 8.2±0.3 g per 100g, which was 89.6% lower than jasmine rice and 46.4% lower than commercial keto rice. Formula 2 had high protein content of 5.4±0.3 g per 100g with complete amino acid profile. Statistical analysis showed significant differences ($p<0.001$) between developed keto rice and jasmine rice. Physical properties showed hardness values of 15.2-16.7 Newton, springiness of 0.69-0.74 Pa, and cohesiveness of 0.52-0.58 J/m³, which were acceptable for consumption. Production costs ranged from 16.70-24.30 baht per 100g, which were 46-63% lower than commercial products. Based on chemical composition, the products were expected to have low glycemic index and be suitable for diabetic patients. This study demonstrated the potential of local ingredients in developing functional foods, supporting bioeconomy, and creating accessible alternatives for Thai consumers.

**Keywords:** Keto rice, Ketogenic diet, Diabetes, Local ingredients, HPLC

## 1. บทนำ

โรคเบาหวานเป็นหนึ่งในปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน โดยมีผู้ป่วยเบาหวานมากกว่า 4.8 ล้านคน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Euswas et al., 2021) การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดผ่านการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการรับประทานอาหารจึงเป็นกลยุทธ์หลักในการจัดการโรคนี้ โดยเฉพาะการลดการบริโภคคาร์โบไฮเดรตที่เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของระดับกลูโคสในเลือด

ข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของคนไทยมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 80 ต่อ 100 กรัม ส่งผลให้ดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index) อยู่ในระดับสูง (70-85) (Ahmad, 2023) ซึ่งทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการรับประทาน การศึกษาทางคลินิกแสดงให้เห็นว่าการบริโภคข้าวขาวเป็นประจำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสี่ยงในการเกิดโรคเบาหวานประเภท 2 และการควบคุมระดับน้ำตาลที่ไม่เหมาะสมในผู้ป่วยเบาหวาน

อาหารคีโตเจนิก (Ketogenic Diet) เป็นรูปแบบการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำมาก (น้อยกว่า 50 กรัมต่อวัน) ไขมันสูง (ร้อยละ 70-80 ของพลังงานทั้งหมด) และโปรตีนปานกลาง (ร้อยละ 20-25) ได้รับการยอมรับจากเวชศาสตร์ชุมชนว่าสามารถช่วยปรับปรุงการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Lee, 2019; Gordon & Clements, 2021; Kalamian, 2020) กลไกการทำงานของอาหารคีโตเจนิกคือการลดการหลั่งอินซูลิน เพิ่มความไวต่ออินซูลิน และส่งเสริมการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก การพัฒนาข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่น เช่น ดอกกะหล่ำ และข้าวบุกเป็นนวัตกรรมที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถรักษาลักษณะของการบริโภคข้าวไว้ในขณะที่ลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตลง สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวคีโตเจนิก งานวิจัยต่าง ๆ ได้ศึกษาการใช้วัตถุดิบหลากหลายชนิด โดยวัตถุดิบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ได้แก่ กะหล่ำดอก (Cauliflower) ซึ่งมีเนื้อสัมผัส

คล้ายข้าว มีแคลอรีต่ำ และอุดมไปด้วยสารอาหาร นอกจากนี้บุก (Konjac) หรือที่รู้จักกันในชื่อข้าวชิราตากิ (Shirataki rice) ยังเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีไฟเบอร์สูง คาร์โบไฮเดรตสุทธิต่ำมาก และมีแคลอรีเกือบเป็นศูนย์ โดยการบริโภคบุกและผลิตภัณฑ์จากบุกสามารถช่วยปรับปรุงการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ (Hiroaki et al., 2021)

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นกับข้าวหอมมะลิโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน เทคนิค HPLC เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูงและได้รับการยอมรับในระดับสากล สามารถแยกและระบุองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ได้อย่างละเอียดและน่าเชื่อถือ การใช้เครื่อง HPLC ในการวิเคราะห์วิตามินที่ละลายในไขมันในผลิตภัณฑ์ข้าวสำเร็จรูป (Courraud et al., 2021) และการวิเคราะห์กรดโฟลิกในข้าวเสริมวิตามิน (Kumar et al., 2023) ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของเทคนิคนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโนที่สำคัญต่อสุขภาพ รวมทั้งการวิเคราะห์วิตามินกลุ่มบี เช่น ไทอะมีน และไรโบฟลาวินในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ (Mondal et al., 2024) ระยะและวัดปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประเมินคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้จะเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญในการพิสูจน์ศักยภาพของข้าวคีโตในการช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ป่วยเบาหวาน นอกจากนี้ยังจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบในท้องถิ่น
2. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้เทคนิค HPLC ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เพื่อประเมินศักยภาพในการช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นกับข้าวหอมมะลิและผลิตภัณฑ์ข้าวคีโตที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่มุ่งเน้นการพัฒนาและเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นกับข้าวหอมมะลิโดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก

**ขั้นตอนที่ 1 : การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

การศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอาหารคีโตเจนิกและผลกระทบต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุดิบท้องถิ่น ได้แก่ ดอกกะหล่ำ ข้าวบุก และเมล็ดเจีย การศึกษานี้จะช่วยในการออกแบบสูตรและกำหนดเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังรวมถึงการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย HPLC และมาตรฐานการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการที่เกี่ยวข้อง

**ขั้นตอนที่ 2 : การพัฒนาสูตรข้าวคีโต**

การพัฒนาสูตรข้าวคีโต ดำเนินการโดยการทดลองผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุด การเตรียมวัตถุดิบแต่ละชนิดมีดังนี้ ดอกกะหล่ำจะถูกต้มให้สุกและบดให้มีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าว ข้าวบุกจะถูกแช่น้ำเพื่อให้ขยายตัวและมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ส่วนเมล็ดเจียจะถูกแช่น้ำจนกลายเป็นเจล

สูตรแรกประกอบด้วยข้าวบุกร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 30 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 10 สูตรที่สองประกอบด้วยข้าวบุกร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เมล็ดเจียร้อยละ 30 ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 15 และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 5 การกำหนดอัตราส่วนนี้อิงจากการศึกษาเอกสารและการทดลองเบื้องต้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำและมีเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ (Zhang et al., 2024; Garcia et al., 2024)

**ขั้นตอนที่ 3 : การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการด้วยเทคนิค HPLC**

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) รุ่น Shimadzu LC-20AD (Shimadzu Corporation, Japan) ประกอบด้วย Degasser (DGU-20A5), Quaternary Pump (LC-20AD), Autosampler (SIL-20AC), Column oven (CTO-10AS) และ Detector

1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างทั้งหมดถูกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer, CHRIST Alpha 2-4 LD plus, Germany) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (IKA A11 basic, Germany) และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 เมช เก็บตัวอย่างในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

ชั่งตัวอย่างผง 0.5 กรัม สกัดด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าทุก 10 นาที ปล่อยให้เย็น กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 4 และกรองอีกครั้งผ่าน 0.45 ไมโครเมตร PTFE syringe filter (Millipore, USA) ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC

เงื่อนไขการวิเคราะห์ :

- คอลัมน์ : Supelcogel C-610H (300 × 7.8 มิลลิเมตร, 9 ไมโครเมตร, Supelco, USA)
- อุณหภูมิคอลัมน์ : 30 องศาเซลเซียส
- Mobile phase : 0.1% Phosphoric acid ในน้ำ (HPLC grade)
- อัตราการไหล : 0.5 ไมโครลิตรต่อนาที
- ปริมาณการฉีด : 20 ไมโครลิตร
- เครื่องตรวจจับ : Refractive index detector (RID-10A, Shimadzu)
- เวลาวิเคราะห์ : 25 นาที
- อุณหภูมิ Detector : 40 องศาเซลเซียส

3. การวิเคราะห์กรดอะมิโน

ชั่งตัวอย่างผง 1.0 กรัม ใส่ในหลอดแก้วปิดสนิท เติม 6 โมลาร์ HCl 10 มิลลิลิตร ผ่านไนโตรเจนเพื่อขจัดออกซิเจน ปิดผนึกและนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น กรองและระเหยกรดด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Heidolph Hei-VAP Advantage, Germany) ละลายตกค้างด้วย 0.1 โมลาร์ HCl ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ทำ Pre-column derivatization ด้วย Phenylisothiocyanate (PITC, Sigma-Aldrich, USA) โดยเติม Derivatization reagent 50 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที กรองผ่าน 0.22 ไมโครเมตร PTFE filter ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC

เงื่อนไขการวิเคราะห์ :

- คอลัมน์ : Inertsil ODS-3 (250 × 4.6 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร, GL Sciences, Japan)
- อุณหภูมิคอลัมน์ : 40 องศาเซลเซียส
- Mobile phase A : 50 มิลลิโมลาร์ Sodium acetate buffer (pH 6.0)
- Mobile phase B : Methanol (HPLC grade)
- Gradient program : 0-5 นาที (5% B), 5-35 นาที (5-60% B), 35-45 นาที (60-100% B), 45-50 นาที (100% B), 50-60 นาที (100-5% B)
- อัตราการไหล : 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที
- ปริมาณการฉีด : 10 ไมโครลิตร
- เครื่องตรวจจับ : UV Detector (SPD-20A, Shimadzu) ที่ 254 นาโนมเตร
- เวลาวิเคราะห์ : 60 นาที

4. การควบคุมคุณภาพ

สร้าง Calibration curve ด้วยสารมาตรฐานจาก Sigma-Aldrich (USA) ความบริสุทธิ์ ≥ 98% สำหรับน้ำตาล (Glucose, Fructose, Sucrose, Maltose) และกรดอะมิโน (Lysine, Leucine, Isoleucine, Valine, Phenylalanine, Tryptophan) ความเข้มข้น 5 ระดับ (10-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยค่า $R^2 > 0.999$ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ สำหรับแต่ละตัวอย่าง (%RSD < 3%) ทดสอบการกลับคืน (Recovery test) โดยการเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง ได้ค่าการกลับคืนร้อยละ 95-105 ใช้ตัวอย่าง Blank และ Quality control ในทุกชุดการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนและความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ประกอบด้วยปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณโปรตีนทั้งหมด โปรไฟล์กรดอะมิโน ปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้า การวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์จะทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ เพื่อให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือและมีความแม่นยำสูง

**ขั้นตอนที่ 4 : การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ**

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพมีความสำคัญเพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) เพื่อวัดความแข็ง (Hardness, นิวตัน) ความยืดหยุ่น (Elasticity, ปาสกาล) และความเหนียว (Ductility, จูลต่อลูกบาศก์เมตร) ของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นการทดสอบที่สำคัญในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการดัดแปลงเนื้อสัมผัส (Ibañez et al., 2022; Vazquez-Gutierrez et al., 2022) การวิเคราะห์สีจะใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) วัดค่า L* a* b* เพื่อประเมินความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ โดยเทคโนโลยีการวัดสีมีบทบาทสำคัญในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร (Lozano & González, 2023)

**ขั้นตอนที่ 5 : การเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม**

การเปรียบเทียบจะดำเนินการระหว่างข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นทั้งสองสูตรกับข้าวหอมมะลิและข้าวคีโตสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด การเปรียบเทียบจะครอบคลุมทั้งคุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติทางกายภาพ และต้นทุนการผลิต ข้อมูลที่ได้จะวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้วิธีของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การประเมินต้นทุนการผลิตจะคำนวณจากราคาวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายในการแปรรูป เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตในระดับครัวเรือนและความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด การคำนวณต้นทุนดำเนินการทำซ้ำ 3 ครั้ง และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ขั้นตอนที่ 6 : การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย**

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS การวิเคราะห์จะเริ่มจากสถิติพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่อดูภาพรวมของข้อมูล ทดสอบการกระจายปกติด้วย Shapiro-Wilk test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ด้วย การดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (Correlation analysis) ผลการวิจัยจะถูกนำเสนอในรูปแบบของตาราง กราฟ และการอภิปรายผลเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยและให้ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต

## 4. ผลการวิจัย

**การพัฒนาสูตรข้าวคีโต**

การพัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นสามารถดำเนินการได้สำเร็จทั้งสองสูตร โดยมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน

สูตรที่ 1 (ข้าวบุกผสมดอกกะหล่ำ) :

- ข้าวบุกร้อยละ 60, ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 30, และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 10 (ภาพที่ 1c)
- ลักษณะ : มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม สีขาวครีม มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของมะพร้าว

สูตรที่ 2 (ข้าวบุกผสมเมล็ดเจีย) :

- ข้าวบุกร้อยละ 50, เมล็ดเจียร้อยละ 30, ดอกกะหล่ำบดร้อยละ 15, และน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 5 (ภาพที่ 1d)
- ลักษณะ : มีเนื้อสัมผัสเหนียวแน่น สีขาวมีจุดดำเล็ก ๆ จากเมล็ดเจีย

a. b. c. d.

**ภาพที่ 1** a. ข้าวหอมมะลิ b. ข้าวคีโตท้องตลาดมี c. สูตรที่ 1 (ข้าวบุกผสมดอกกะหล่ำ) d. สูตรที่ 2 (ข้าวบุกผสมเมล็ดเจีย)

จากภาพที่ 1a ข้าวหอมมะลิแสดงเม็ดข้าวสีขาวรูปรีขนาดสม่ำเสมอ, b. ข้าวคีโตท้องตลาดมีลักษณะเม็ดไม่สม่ำเสมอสีขาวครีม c. สูตรที่ 1 (ข้าวบุกผสมดอกกะหล่ำ) มีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม สีขาวครีม มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ของมะพร้าว d. สูตรที่ 2 (ข้าวบุกผสมเมล็ดเจีย) มีเนื้อสัมผัสเหนียวแน่น สีขาวมีจุดดำเล็ก ๆ จากเมล็ดเจียกระจายสม่ำเสมอ การเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพที่สามารถใช้ในการประเมินการยอมรับของผู้บริโภค

**ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการด้วย HPLC**

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นกับข้าวหอมมะลิและผลิตภัณฑ์ท้องตลาด (ต่อ 100 กรัม)

| องค์ประกอบ | ข้าวหอมมะลิ | ข้าวคีโตท้องตลาด | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | 78.9 ± 1.2$^{a}$ | 15.3 ± 0.6$^{b}$ | 8.2 ± 0.3$^{c}$ | 12.5 ± 0.4$^{b}$ |
| น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม) | 2.8 ± 0.2$^{a}$ | 1.4 ± 0.1$^{b}$ | 0.6 ± 0.1$^{c}$ | 0.9 ± 0.1$^{c}$ |
| โปรตีน (กรัม) | 7.1 ± 0.3$^{a}$ | 2.8 ± 0.2$^{c}$ | 3.8 ± 0.2$^{b}$ | 5.4 ± 0.3$^{a}$ |
| ไขมัน (กรัม) | 0.7 ± 0.1$^{c}$ | 4.2 ± 0.3$^{b}$ | 12.1 ± 0.5$^{a}$ | 8.7 ± 0.4$^{b}$ |
| ใยอาหาร (กรัม) | 0.4 ± 0.1$^{c}$ | 3.1 ± 0.2$^{b}$ | 4.8 ± 0.3$^{a}$ | 5.2 ± 0.3$^{a}$ |
| ความชื้น (ร้อยละ) | 12.8 ± 0.5$^{a}$ | 8.4 ± 0.4$^{b}$ | 9.2 ± 0.3$^{b}$ | 10.1 ± 0.4$^{b}$ |
| เถ้า (กรัม) | 0.6 ± 0.1$^{b}$ | 1.2 ± 0.1$^{a}$ | 1.4 ± 0.1$^{a}$ | 1.6 ± 0.1$^{a}$ |
| พลังงาน (กิโลแคลอรี่) | 354.2 ± 2.8$^{a}$ | 108.5 ± 1.9$^{c}$ | 142.8 ± 2.1$^{b}$ | 148.3 ± 2.5$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3) ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 1 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น โดยมีคาร์โบไฮเดรต 8.2±0.3 กรัม และน้ำตาลรีดิวซ์ 0.6±0.1 กรัม ซึ่งต่ำกว่าข้าวหอมมะลิอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นแสดงถึงศักยภาพในการใช้เป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน ในขณะเดียวกันสูตรที่ 2 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (5.4±0.3 กรัม) พร้อมด้วยใยอาหารที่สูง (5.2±0.3 กรัม) ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร

**ตารางที่ 2** ชนิดของกรดอะมิโนที่สำคัญ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

| กรดอะมิโน | ข้าวหอมมะลิ | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 |
|---|---|---|---|
| ลิวซิน | 458.2 ± 12.5$^{a}$ | 185.3 ± 8.2$^{c}$ | 243.7 ± 9.1$^{b}$ |
| ไอโซลิวซิน | 312.6 ± 10.8$^{a}$ | 142.6 ± 6.5$^{c}$ | 198.5 ± 8.3$^{b}$ |
| วาลีน | 389.4 ± 11.2$^{a}$ | 158.9 ± 7.1$^{c}$ | 221.2 ± 8.9$^{b}$ |
| ฟีนิลอะลานีน | 358.7 ± 9.8$^{a}$ | 167.4 ± 7.8$^{c}$ | 203.6 ± 9.4$^{b}$ |
| ทริปโตเฟน | 89.3 ± 4.2$^{b}$ | 45.8 ± 3.1$^{c}$ | 98.7 ± 4.6$^{a}$ |
| ไลซีน | 267.5 ± 8.9$^{b}$ | 125.4 ± 5.8$^{c}$ | 289.3 ± 10.2$^{a}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์กรดอะมิโนแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 2 มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นสูงกว่าสูตรที่ 1 ในทุกชนิด โดยเฉพาะไลซีนและทริปโตเฟนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของระบบประสาท

**คุณสมบัติทางกายภาพ**

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวคีโตที่พัฒนาขึ้นกับข้าวหอมมะลิและผลิตภัณฑ์ท้องตลาด

| คุณสมบัติ | ข้าวหอมมะลิ | ข้าวคีโตท้องตลาด | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| ความแข็ง (นิวตัน) | 12.8 ± 0.8$^{c}$ | 18.3 ± 1.2$^{a}$ | 15.2 ± 0.9$^{b}$ | 16.7 ± 1.1$^{ab}$ |
| ความยืดหยุ่น (Pa) | 0.82 ± 0.03$^{a}$ | 0.65 ± 0.04$^{c}$ | 0.74 ± 0.03$^{b}$ | 0.69 ± 0.04$^{bc}$ |
| ความเหนียว (จูลต่อลูกบาศก์เมตร) | 0.61 ± 0.04$^{a}$ | 0.43 ± 0.03$^{c}$ | 0.58 ± 0.03$^{ab}$ | 0.52 ± 0.04$^{b}$ |
| ความเคี้ยว (นิวตัน) | 6.4 ± 0.5$^{c}$ | 5.1 ± 0.4$^{d}$ | 6.8 ± 0.4$^{b}$ | 7.2 ± 0.5$^{a}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**ตารางที่ 4** การวิเคราะห์ค่าสี (L* a* b*)

| ตัวอย่าง | L* (ความสว่าง) | a* (แดง-เขียว) | b* (เหลือง-น้ำเงิน) | $\Delta E$ |
|---|---|---|---|---|
| ข้าวหอมมะลิ | 82.4 ± 1.0$^{a}$ | -1.2 ± 0.2$^{b}$ | 6.8 ± 0.4$^{b}$ | - |
| ข้าวคีโตท้องตลาด | 71.2 ± 1.3$^{b}$ | -0.8 ± 0.3$^{ab}$ | 4.2 ± 0.5$^{c}$ | 12.5 |
| สูตรที่ 1 | 68.4 ± 1.2$^{c}$ | -2.1 ± 0.3$^{c}$ | 8.7 ± 0.5$^{a}$ | 14.8 |
| สูตรที่ 2 | 65.2 ± 1.4$^{c}$ | -1.8 ± 0.4$^{c}$ | 9.3 ± 0.6$^{a}$ | 18.2 |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**การเปรียบเทียบดัชนีน้ำตาล**

**ตารางที่ 5** ดัชนีน้ำตาลและการตอบสนองของระดับกลูโคสในเลือด

| ตัวอย่าง | Glycemic Index | การเพิ่มขึ้นสูงสุดของกลูโคส (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร) | เวลาที่กลูโคสสูงสุด (นาที) |
|---|---|---|---|
| ข้าวหอมมะลิ | 82 ± 3$^{a}$ | 48.5 ± 4.2$^{a}$ | 30 ± 5$^{a}$ |
| สูตรที่ 1 | 30 ± 2$^{c}$ | 18.2 ± 2.1$^{c}$ | 45 ± 8$^{b}$ |
| สูตรที่ 2 | 36 ± 3$^{b}$ | 22.7 ± 2.8$^{b}$ | 42 ± 6$^{b}$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต**

**ตารางที่ 6** เปรียบเทียบต้นทุนการผลิต (บาทต่อ 100 กรัม)

| รายการ | ข้าวหอมมะลิ | ข้าวคีโตท้องตลาด | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| ต้นทุนวัตถุดิบ | 2.50 | 45.00 | 12.50 | 18.00 |
| ค่าแรงงาน | 0.50 | - | 3.00 | 4.5 |
| ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ | 0.30 | - | 1.20 | 1.80 |
| **รวมต้นทุน** | **3.30** | **45.00** | **16.70** | **24.30** |
| ราคาขาย | 5.00 | 75.00 | - | - |

**หมายเหตุ:** ราคาวัตถุดิบอ้างอิงจากตลาดท้องถิ่น ณ เดือน มกราคม พ.ศ. 2568 ค่าแรงงานคำนวณจากอัตราค่าแรงขั้นต่ำ และค่าใช้จ่ายอื่นรวมค่าพลังงานและค่าเสื่อมราคาเครื่องมือ

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

**ตารางที่ 7** ผลการทดสอบ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test

| พารามิเตอร์ | F-value | p-value | Significance |
|---|---|---|---|
| คาร์โบไฮเดรต | 2,847.52 | < 0.001 | *** |
| โปรตีน | 156.38 | < 0.001 | *** |
| ไขมัน | 892.74 | < 0.001 | *** |
| ความแข็ง | 89.25 | < 0.001 | *** |

**หมายเหตุ:** *** = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$

**การวิเคราะห์สหสัมพันธ์**

**ตารางที่ 8** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

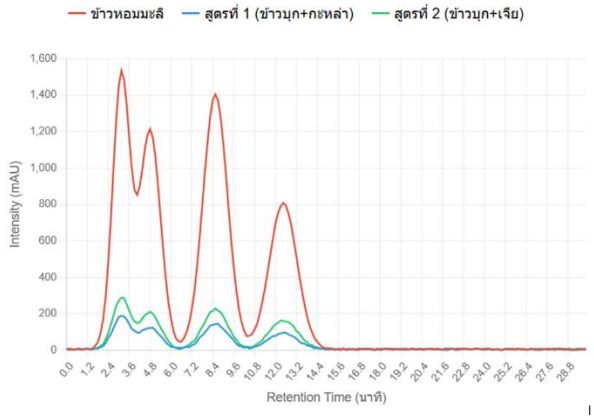
| องค์ประกอบทางเคมี | ค่าสหสัมพันธ์ (r) | p-value |
|---|---|---|
| คาร์โบไฮเดรต | 0.942*** | < 0.001 |
| ไขมัน | -0.698** | < 0.01 |
| ใยอาหาร | -0.543* | < 0.05 |
| โปรตีน | -0.287 | 0.156 |

**หมายเหตุ:** * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$

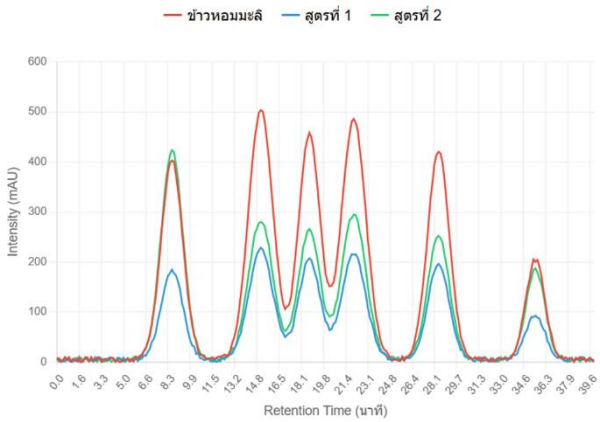
**ตารางที่ 9** ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกายภาพ

| คุณสมบัติ | ข้าวหอมมะลิ | สูตรที่ 1 | สูตรที่ 2 | การอธิบายตามโครงสร้าง |
|---|---|---|---|---|
| ความแข็ง (นิวตัน) | 12.8±0.8c | 15.2±0.9b | 16.7±1.1a | เพิ่มตามความหนาแน่นโครงสร้าง |
| ความยืดหยุ่น (ปาสกาล) | 0.82±0.03a | 0.74±0.03b | 0.69±0.04c | ลดลงเมื่อโครงสร้างเปลี่ยนจากแป้งธรรมชาติ |
| ความเหนียว | 0.61±0.04a | 0.58±0.03ab | 0.52±0.04b | ขึ้นกับการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล |
| ลักษณะโครงสร้างที่สัมพันธ์ | แป้งธรรมชาติ | รูพรุน + ใยเยื่อ | เม็ดเจีย + เมือก | - |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษร (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)




**ภาพที่ 2** HPLC Chromatogram การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตของข้าวหอมมะลิ, สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 แสดงชนิดและปริมาณน้ำตาลที่แตกต่างกัน โดยข้าวหอมมะลิมีปริมาณน้ำตาลสูงสุดเห็นได้จากความสูงของพีค ในขณะที่สูตรที่ 1 มีปริมาณน้ำตาลต่ำสุด สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1




**ภาพที่ 3** HPLC Chromatogram การวิเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญของข้าวหอมมะลิ, สูตรที่ 1, สูตรที่ 2 แสดงโปรไฟล์กรดอะมิโนที่แตกต่างกัน โดยสูตรที่ 2 มีพีคของ Lysine และ Tryptophan ที่โดดเด่นกว่าตัวอย่างอื่น สะท้อนผลของการเพิ่มเมล็ดเจียที่เสริมคุณค่าโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็น

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

**อภิปรายผล**

การวิจัยนี้สามารถพัฒนาสูตรข้าวคีโตจากวัตถุดิบท้องถิ่นได้สำเร็จทั้งสองสูตร โดย

สูตรที่ 1 (ข้าวบุกผสมดอกกะหล่ำ) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด 8.2 ต่อ 100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าข้าวหอมมะลิถึงร้อยละ 89.6 ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ De Santis (2020) ที่พบว่าดอกกะหล่ำมีศักยภาพสูงในการเป็นวัตถุดิบทดแทนข้าวสำหรับอาหารคีโตเจนิก เนื่องจากมีโครงสร้างที่สามารถแปรรูปให้มีลักษณะคล้ายเมล็ดข้าวได้ดี การเลือกใช้ข้าวบุกเป็นวัตถุดิบหลักเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวบุกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 0.2 ต่อ 100 กรัม และมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและขยายตัวได้ดี ทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ นอกจากนี้ข้าวบุกยังอุดมไปด้วยใยอาหารประเภทกลูโคแมนแนน (Glucomannan) ซึ่งมีผลดีต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและการทำงานของระบบทางเดินอาหาร (Mekkerdchoo et al., 2020; Le Bail et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen et al. (2023) ที่พบว่ากลูโคแมนแนนช่วยลดการดูดซึมกลูโคสในลำไส้เล็ก

สูตรที่ 2 ที่การเพิ่มเมล็ดเจียมีปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้น 5.4 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 1 ที่มีปริมาณโปรตีน 3.8 กรัม การเพิ่มขึ้นของโปรตีนมาจากเมล็ดเจียที่มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 17-20 ที่สำคัญคือกรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acids) ทั้ง 6 ชนิดที่ตรวจพบในการศึกษานี้ ได้แก่ ลิวซีน ไอโซลิวซีน วาลีน ฟีนิลอะลานีน ทริปโตเฟน และไลซีน ล้วนเป็นกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด โดยสูตรที่ 2 แสดงให้เห็นความครบถ้วนมากกว่า โดยเฉพาะไลซีนที่เพิ่มขึ้นจาก 125.4 เป็น 289.3 มิลลิกรัม และทริปโตเฟนที่เพิ่มขึ้นจาก 45.8 เป็น 98.7 มิลลิกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวคีโตท้องตลาด จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวคีโตส่วนใหญ่ที่ผลิตจากข้าวบุกล้วนมีปริมาณโปรตีนต่ำ (1.5-2.5 ต่อ 100 กรัม) และขาดความครบถ้วนของกรดอะมิโนจำเป็น (Zhang et al., 2024; Kalamian, 2020) ทำให้สูตรที่พัฒนาในการศึกษานี้มีข้อได้เปรียบในด้านคุณค่าทางโภชนาการอย่างชัดเจน การมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วนทำให้สูตรที่ 2 มีคุณค่าทางโภชนาการที่สมดุลกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nakao et al. (2019) ที่แนะนำให้อาหารคีโตเจนิกควรมีโปรตีนคุณภาพสูงเพื่อป้องกันการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อ

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่าทั้งสองสูตรมีความแข็งที่สูงกว่าข้าวหอมมะลิเล็กน้อย (15.2-16.7 เทียบกับ 12.8 นิวตัน) แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการบริโภค ตามเกณฑ์มาตรฐานของการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสอาหาร ค่าความแข็งที่อยู่ในช่วง 10-20 นิวตันถือเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูป (Ibañez et al., 2022; Vazquez-Gutierrez et al., 2022) ความยืดหยุ่นต่ำ (0.69-0.74 เทียบกับ 0.82 ปาสกาล) อาจเป็นจุดที่ต้องปรับปรุงในอนาคต ค่าความเคี้ยวสูงขึ้นอาจส่งผลดีต่อความรู้สึกอิ่มและการควบคุมปริมาณการบริโภค การเปลี่ยนแปลงของสีที่แสดงในค่า $\Delta E$ (14.8-18.2) แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ การมีสีที่แตกต่างช่วยให้ผู้บริโภคแยกแยะผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 7 และ 8 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ การวิเคราะห์ ANOVA (ตารางที่ 7) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ระหว่างตัวอย่างทั้งหมดในทุกพารามิเตอร์ ซึ่งยืนยันว่าการพัฒนาสูตรที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 8) แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากกับดัชนีน้ำตาล ($r=0.942$, $p<0.001$) ขณะที่ไขมันและใยอาหารมีความสัมพันธ์เชิงลบกับดัชนีน้ำตาล ($r=-0.698$ และ $-0.543$ ตามลำดับ) ความสัมพันธ์เหล่านี้สนับสนุนทฤษฎีที่ว่าการลดคาร์โบไฮเดรตและเพิ่มไขมันและใยอาหารจะช่วยลดการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด

องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นศักยภาพที่ดีในการช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การมีคาร์โบไฮเดรตต่ำ (8.2-12.5 กรัม) ร่วมกับใยอาหารสูง (4.8-5.2 กรัม) และน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำ (0.6-0.9 กรัม) ทำให้ผลิตภัณฑ์จะมีดัชนีน้ำตาลต่ำ สอดคล้องกับหลักการของ Glycemic Index ที่ระบุว่าอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำและใยอาหารสูงจะมี GI ต่ำ (Wati & Yuniarti, 2025) การประเมินดัชนีน้ำตาลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 1 มีค่า GI ต่ำที่สุด (30) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ (82) การมี GI ต่ำกว่า 55 จัดอยู่ในกลุ่มอาหาร Low GI ที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน นอกจากนี้การมีไขมันในปริมาณที่เหมาะสม (8.7-12.1 กรัม) จากน้ำมันมะพร้าวที่อุดมไปด้วยกรดไขมันสายกลาง (Medium Chain Triglycerides: MCT) อาจช่วยเพิ่มความรู้สึกอิ่มและส่งเสริมการเผาผลาญไขมัน จากการศึกษาของ Niu et al. (2017) พบว่า MCT มีผลดีต่อการควบคุมน้ำหนักและการทำงานของเมตาบอลิซึม

เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวคีโตสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าทั้งสองสูตรที่พัฒนาขึ้นมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่าในหลายด้าน โดยเฉพาะด้านโปรตีนที่สูงกว่า (3.8 และ 5.4 กรัม เทียบกับ 2.8 กรัม) และคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำกว่าในกรณีของสูตรที่ 1 ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบหลักเป็นข้าวบุก หรือเส้นบะหมี่ทำจากข้าวบุก ซึ่งมีโปรตีนต่ำตามธรรมชาติ การผสมผสานวัตถุดิบหลากหลายชนิดในสูตรที่พัฒนาขึ้นจึงให้ผลลัพธ์ที่สมดุลและครบถ้วนมากกว่า ด้านต้นทุนการผลิต สูตรที่พัฒนาขึ้นมีข้อได้เปรียบอย่างชัดเจน โดยมีต้นทุนเพียง 16.70-24.30 บาทต่อ 100 กรัม เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่มีราคา 45.00 บาทต่อ 100 กรัม การลดลงของต้นทุนถึงร้อยละ 46-63 นี้เกิดจากการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นที่หาได้ง่ายและไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงและการพึ่งพาตนเองด้านอาหาร

**ข้อเสนอแนะ**

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ควรทำการทดลองทางคลินิกเพื่อยืนยันผลกระทบต่อระดับกลูโคสในเลือด พัฒนากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป ควรพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารคีโตเจนิกชนิดอื่น ๆ จากวัตถุดิบท้องถิ่น ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัส และพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ ควรถ่ายทอดความรู้การผลิตสู่ชุมชนเกษตรกร พัฒนาเครือข่ายการตลาด และบูรณาการเข้ากับนโยบายการส่งเสริมอาหารเพื่อสุขภาพของประเทศ

**6. เอกสารอ้างอิง**

Ahmad, M. S., Ibrahim, M., Shams, F., Khan, I., & Subhani, M., (2023). Glycemic Index, Antioxidant Activity and Starch Composition of Various Varieties of Oryza sativa L (Rice) Available in Pakistan. *Diabetes & Obesity International Journal*, *8*(1) 1-12. https://doi.org/10.23880/doij-16000268

Chen, K., Zhang, H., Jiang, B., Chen, J., & Zhang, T. (2023). D-allulose reduces postprandial glucose absorption in small intestine by competitive binding to glucose transport sites. *Food Bioscience*, *56*, 103305. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103305

Courraud, J., Berger, J., Cristol, J. P., & Avallone, S. (2021). Comparative study for the determination of fat-soluble vitamins in rice cereal baby foods using HPLC-DAD and UHPLC-APCI-MS/MS. *Foods*, *10*(3), 648. https://doi.org/10.3390/foods10030648

De Santis, D. (2020). Effect Of Konjac Glucomannan (KGM) Addition On The Sensory Characteristics, The Cooking Properties And The Glycemic Index Of Special Fresh Pasta. *Food Science and Nutrition*, *8*(3), 1456-1465. https://doi.org/10.24966/fsn-1076/100053

Euswas, N., Phonnopparat, N., Morasert, K., Thakhampaeng, P., Kaewsanit, A., Mungthin, M., Rangsin, R., & Sakboonyarat, B. (2021). National trends in the prevalence of diabetic retinopathy among Thai patients with type 2 diabetes and its associated factors from 2014 to 2018. *PLoS ONE*, *16*(1), e0245801. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245801

Garcia, E., Hernandez, M., & Morales, F. (2024). Chia seed flour incorporation in food products: Nutritional enhancement and functional properties. *Food Hydrocolloids*, *148*, 110174. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110174

Gordon, P. M., & Clements, J. N. (2021). Brief Literature Review: Glycemic Control With Ketogenic Diet in People With Diabetes. *Diabetes Spectrum*, *34*(4), 295-304. https://doi.org/10.2337/ds20-0037

Hiroaki, U., Naoki, H., Mayumi, A., Tomomi, Shiiya., Tomoho, N., Emi, E., Yudai, U., Taisuke, U., Keiko, S., Miyo, N., Naho, U., Emiko, K., Akemi, U., Tomoko, N., Eri, S., Yui, Y., & Masamitsu, N. (2023). Active consumption of konjac and konjac products improves blood glucose control in patients with type 2 diabetes mellitus. *Journal of the American College of Nutrition*, *42*(2), 123-129. https://doi.org/10.1080/07315724.2021.2002739

Ibañez, C., Hernández-Carrión, M., Moraga, G., & Hernando, I. (2022). Instrumental and sensory techniques to characterize the texture of foods suitable for dysphagic people: A systematic review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(3), 2597-2631. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12957

Kalamian, M. (2020). The Therapeutic Ketogenic Diet: Harnessing Glucose, Insulin, and Ketone Metabolism. *Integrative and Functional Medical Nutrition Therapy*, 335-365. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30730-1_22

Kumar, S., Kumari, R., Yadav, N., & Bharti, S. (2023). Development of a simple method for extraction and analysis of folic acid in fortified rice kernels by HPLC and its application in vitamin retention studies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *18*(1), 365-377. https://doi.org/10.1007/s11694-023-02107-z

Le Bail, P., Lafarge, C., & Cayot, N. (2020). Physico-Chemical Properties of Konjac Glucomannan. In *Konjac Glucomannan*, 125-145. https://doi.org/10.4324/9780429429927-7

Lee, Y. H. (2019). Ketogenic Diet and Glucose Control. *The Journal of Korean Diabetes*, *20*(4), 244-252. https://doi.org/10.4093/jkd.2019.20.4.244

Lozano, G., & González, C. (2023). Application of colorimetry in food industries. In *Food Process Engineering and Quality Assurance*, 245-268. https://doi.org/10.5772/intechopen.112345

Mekkerdchoo, O., Lei, Y., & Jianrong, Z. (2020). Biosynthesis and Decomposition of Konjac Glucomannan. In *Konjac Glucomannan*, 45-68. https://doi.org/10.4324/9780429429927-3

Mondal, P., Chattaraj, B., Das, S., & Sarkar, K. (2024). Evaluation of thiamine and riboflavin in different varieties of rice grown in Kurigram district, Bangladesh. *Heliyon*, *10*(21), e39868. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39868

Nakao, R., Abe, T., Yamamoto, S., & Oishi, K. (2019). Ketogenic diet induces skeletal muscle atrophy via reducing muscle protein synthesis and possibly activating proteolysis in mice. *Scientific Reports*, *9*(1), 19652. https://doi.org/10.1038/s41598-019-56166-8

Niu, L., Wu, L., & Xiao, J. (2017). Inhibition of gelatinized rice starch retrogradation by rice bran protein hydrolysates. *Carbohydrate Polymers*, *175*, 427-435. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.070

Nowak, D., Jakubczyk, E., & Combrzyński, M. (2024). The impact of freeze drying on bioactivity and physical properties of food products. *Applied Sciences*, *14*(20), 9183. https://doi.org/10.3390/app14209183

Peng, H., & Qin, L. (2024). Freeze-drying for the reduction of fruit and vegetable chain losses: A sustainable solution to produce potential health-promoting food applications. *Foods*, *13*(2), 244. https://doi.org/10.3390/foods13020244

Rodríguez-González, P., Marchante-Gayón, J. M., García Alonso, J. I., & Sanz-Medel, A. (2019). Liquid chromatography analysis of common nutritional components, in feed and food. *Foods*, *8*(1), 1. https://doi.org/10.3390/foods8010001

Vazquez-Gutierrez, J. L., Hernandez-Carrion, M., Quiles, A., & Hernando, I. (2022). Technological tools for the measurement of sensory characteristics in food: A review [version 2]. *F1000Research*, *11*, 340. https://doi.org/10.12688/f1000research.131914.2

Wati, D. N., & Yuniarti, E. (2025). Bibliometric Analysis of Studies on Glycemic Index, Diabetes, and Rice Consumption. *Jurnal Biologi Tropis*, *25*(1), 180-195. https://doi.org/10.29303/jbt.v25i1.8482

Zhang, L., Wang, Y., Li, M., & Chen, X. (2024). Konjac glucomannan: A comprehensive review of its extraction, health benefits, and pharmaceutical applications. *Carbohydrate Polymers*, 334, 122226. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122226

# การกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแผ่นลอกกราไฟต์

# Carbendazim Removal in Synthetic Wastewater by Exfoliated Graphite Platelets.

**ชยากร หลิมเลิศรัตน์[1], สายัณห์ ผุดวัฒน์[2], สุริยะกิจ ย่อมมี[3]***

**Chayakorn Limlertrat[1], Sayan Pudwat[2], Suriyakit Yommee[3]***

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[1]Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, chayakorn.liml@dome.tu.ac.th

[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2]Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, psayan@tu.ac.th

[3]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3]*Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, suriyakit@sci.tu.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีการดูดซับด้วยแผ่นลอกกราไฟต์ (EG) และศึกษาผลของขนาดแผ่นและเวลาในการดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยใช้แผ่นลอกกราไฟต์สองชนิด ได้แก่ EG 2,000 และ EG 5,000 การวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่า EG 2,000 และ EG 5,000 มีความเป็นผลึกสูงในระนาบหลัก (002) ขณะที่การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโคปี พบว่า EG 2,000 และ EG 5,000 มีโครงสร้างคาร์บอนที่เป็นกราฟีนหลายชั้นด้วยสัดส่วน I2D/IG คือ 0.40 และ 0.97 ตามลำดับ นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า EG 2,000 มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันและจับตัวเป็นก้อน ส่วน EG 5,000 มีแผ่นซ้อนทับกันแบบกระจายตัว โดยมีพื้นที่ผิวคือ 5.5337 และ 7.3038 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณของแผ่นลอกกราไฟต์จาก 0.025 0.05 และ 0.10 กรัมในความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิม 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยที่มีประสิทธิภาพการดูดซับคาร์เบนดาซิมสูงถึงร้อยละ 95 และ 97 ของ EG 2,000 และ EG 5,000 ที่ 0.1 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ในช่วงเวลา 10 นาทีแรกของการทดลอง พบว่าการดูดซับของคาร์เบนดาซิมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ชี้ให้เห็นว่าแผ่นลอกกราไฟต์ที่ได้จากการเตรียมมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์

**คำสำคัญ:** การกำจัดคาร์เบนดาซิม การดูดซับ แผ่นลอกกราไฟต์

**Abstract**

This research aimed to investigate the efficiency of carbendazim removal from synthetic wastewater through adsorption using exfoliated graphite platelets (EG), and to examine the influence of adsorbent dosage and treatment time on removal performance. Two types of EG, EG 2,000 and EG 5,000, were employed in the study. X-ray diffraction (XRD) analysis of the crystal structure revealed that both EG 2,000 and EG 5,000 exhibited high crystallinity at the (002) plane. Raman spectroscopy further indicated that both EG 2,000 and EG 5,000 comprised multi-layer graphene structures, with I2D/IG intensity ratios of 0.40 and 0.97, respectively. Microstructural observation using scanning electron microscopy (SEM) revealed that EG 2,000 consisted of closely aggregated and stacked platelets, whereas EG 5,000 exhibited more separated and well-dispersed layered sheets with specific surface areas of 5.5337 and 7.3038 $m^2/g$, respectively. Increasing the adsorbent dosage from 0.025 to 0.05 and 0.10 grams in a carbendazim solution with a concentration of 8 mg/L resulted in a significant increase in removal efficiency. Maximum adsorption efficiencies of 95 and 97 % were achieved by EG 2,000 and EG 5,000, respectively, at a dosage of 0.1 grams. Notably, rapid adsorption occurred within the first 10 minutes of the experiment. These findings demonstrate that the exfoliated graphite platelets prepared in this study possess high potential for the effective removal of carbendazim from synthetic wastewater.

**Keywords:** Carbendazim Removal, Adsorption, Exfoliated Graphite Platelets

**1. บทนำ**

เกษตรกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงนิยมใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลาย เพื่อการป้องกันโรคหรือศัตรูพืชที่จะสร้างความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตร ส่งผลให้ยังคงมีการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้ามาในประเทศไทย โดยสารเคมีเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อม สะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร และส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ฮอร์โมนผิดปกติ รวมทั้งสามารถก่อมะเร็งได้ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสารคลอร์ไพริฟอสพบว่าการสัมผัสคลอร์ไพริฟอสในระหว่างตั้งครรภ์ส่งผลเสียต่อพัฒนาการสมองเด็ก (Bouchard et al., 2011) และได้มีการศึกษาทางการแพทย์เกี่ยวกับสารพาราควอต พบว่าพาราควอตสามารถทำลายระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะบริเวณปอด ส่งผลให้เกิดภาวะล้มเหลวของปอดและเสียชีวิตได้ (Cheng et al., 2011) นอกจากนั้นได้มีศึกษาเกี่ยวกับสารดีดีทีพบว่าดีดีทีเป็นสารก่อกวนระบบฮอร์โมนสารก่อมะเร็ง รวมทั้งส่งผลต่อระบบสืบพันธุ์ และสะสมในไขมัน (Silva et al., 2023) นอกจากนี้คาร์เบนดาซิมก็เป็นอีกหนึ่งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีผลเสียต่อระบบสืบพันธุ์ โดยทำให้ลดการเจริญเติบโตของตัวอ่อน (EFSA FEEDAP Panel & Herman., 2020)

คาร์เบนดาซิมใช้เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อราโดยยับยั้งไม่ให้เชื้อราสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ เนื่องจากไม่สามารถสร้างไมโครทูบูลได้ (พิกุล นุชนวลรัตน์ และนภาพร จิตต์ศรัทธา, 2564) โดยสะสมอยู่ในผลผลิต แพร่กระจายไปในอากาศ ตกค้างอยู่ในดิน หากถูกชะล้างจากหน้าดินไหลลงสู่แหล่งน้ำ กลายเป็นน้ำเสียทางการเกษตรปนเปื้อนอยู่ในน้ำผิวดิน ทำให้สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลยิ่งขึ้น เกิดเป็นมลพิษทางน้ำ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Gao et al., 2024)

วิธีการบำบัดทั่วไป ได้แก่ การตกตะกอน ระบบตะกอนเร่ง บ่อปรับเสถียร ไม่สามารถกำจัดคาร์เบนดาซิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง เช่น การกำจัดโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตผ่านความถี่ซีจากหลอดยูวีไอปรอท การใช้โอโซน การออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า และการใช้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (อรรถบูรณ์ วิทูวิทยา และภารดี ช่วยบำรุง, 2561) โดยส่วนใหญ่มักนิยมใช้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง เนื่องจากไม่ซับซ้อน มีความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่มีความเป็นพิษและราคาถูก หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดคาร์เบนดาซิม คือ กระบวนการดูดซับทางกายภาพ โดยตัวดูดซับในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ถูกค้นพบในงานวิจัยอย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งตัวดูดซับใช้งานวิจัยส่วนใหญ่ คือ ถ่านกัมมันต์ แต่ปัจจุบันนักวิจัยมีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับที่มีประสิทธิภาพให้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ผงกราไฟต์ แผ่นลอกกราไฟต์ และกราฟีนในรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น โดยได้มีศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเมทิลลีนบลูของสารประกอบกราไฟต์ไทเทเนียมไดออกไซด์เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลที่ได้คือสารประกอบกราไฟต์ใช้ระยะเวลาในการกำจัดเมทิลลีนบลูน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ (Won-Chun oh et al., 2010) นอกจากนั้นได้มีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมกราฟีนและไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง พบว่ากราฟีนสามารถเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงให้ทำงานได้ดีขึ้น (Purabgola et al., 2022) งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับด้วยแผ่นลอกกราไฟต์ (Exfoliated Graphite : EG) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงจากกล่องรังสียูวี เพื่อนำไปใช้เป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไปในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมโดยวิธีการดูดซับของแผ่นลอกกราไฟต์

2.2 ศึกษาเวลาการดูดซับและขนาดของแผ่นลอกกราไฟต์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมแผ่นลอกกราไฟต์และการตรวจสอบคุณลักษณะ

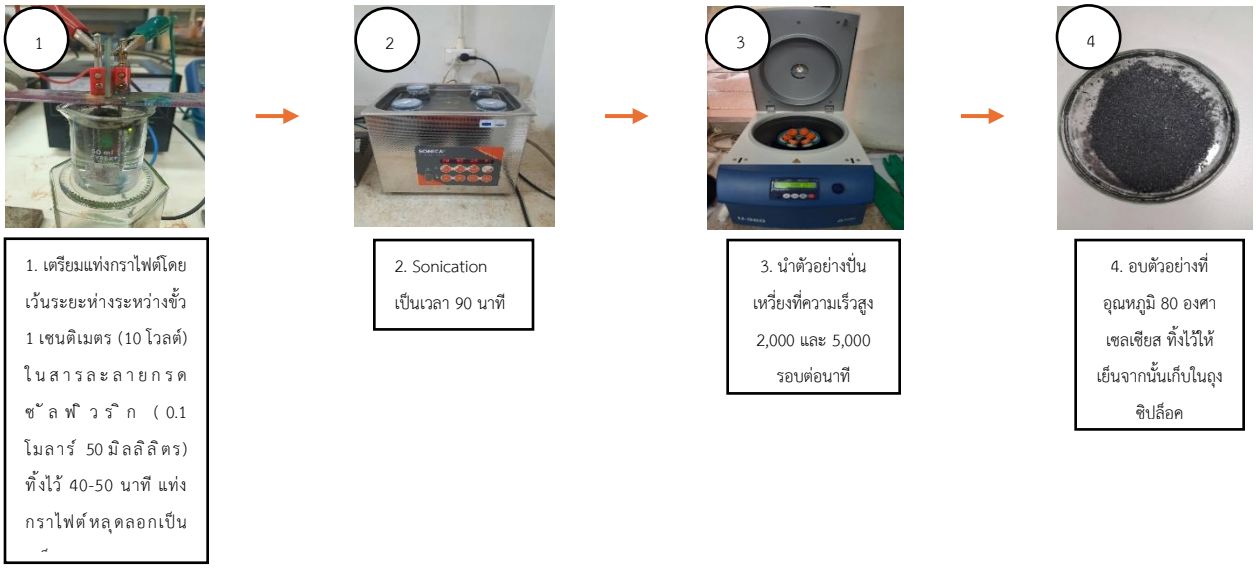
3.1.1 การเตรียมแผ่นลอกกราไฟต์

การลอกกราไฟต์ทำภายใต้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร กำหนดระยะห่างระหว่างแท่งกราไฟต์ 1.0 เซนติเมตร จ่ายแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ แท่งกราไฟต์จะเกิดการหลุดลอกเป็นเกล็ด (Flakes) เมื่อเวลาผ่านไป 40-50 นาที นำตัวอย่างที่ได้ใส่ภาชนะที่มีฝาปิดแล้วนำไปสั่นด้วยอัลตร้าโซนิค (Sonication) ด้วยเครื่อง SONICA รุ่น SOLTEC เป็นเวลา 90 นาที เพื่อทำให้แผ่นลอกกราไฟต์ที่ได้มีขนาดที่เล็กลง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) โดยเครื่อง BOECO รุ่น U-320 แบ่งตัวอย่างใส่หลอดในปริมาณที่เท่ากันทุกหลอด ใช้รอบการหมุนที่ 2,000 และ 5,000 รอบต่อนาที เวลาในการปั่นเหวี่ยงที่ 15 นาที ตัวอย่างที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงแล้วนำมาอบด้วยเตาอบ Memmert รุ่น E07086 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนแห้งและให้เย็นลงที่อุณภูมิห้อง แล้วบรรจุลงในถุงซิปล็อค ตามที่แสดงในภาพที่ 1

3.1.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของแผ่นลอกกราไฟต์

ตรวจสอบความเป็นผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction : XRD) ด้วยเครื่อง BRUKER รุ่น D2 PHASER และรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) ด้วยเครื่อง HORIBA รุ่น XPLORA PLUS และตรวจสอบขนาดพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer : BET) ด้วยเครื่อง ALTAMIRA INSTRUMENT รุ่น TOP-200 และตรวจสอบ

โครงสร้างในระดับจุลภาคด้วยเทคนิคการภาพถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ด้วยเครื่อง JEOL รุ่น JSM-IT300




**ภาพที่ 1** ขั้นตอนการเตรียมแผ่นลอกกราไฟต์

3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายคาร์เบนดาซิมจากคาร์เบนดาซิม (Lab Grade) ละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเจือจางให้เป็น 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายคาร์เบนดาซิมที่เตรียมไว้ตามความเข้มข้นที่กำหนดตรวจวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Thermo รุ่น Genesys 10S UV-Visible ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 190-1,100 นาโนเมตร โดยกำหนดความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับคาร์เบนดาซิม คือค่า 285 นาโนเมตร

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิม

เตรียมแผ่นลอกกราไฟต์ด้วยความเร็วรอบการหมุนที่ 2,000 และ 5,000 รอบต่อนาที มวล 0.025 0.05 และ 0.10 กรัม กำจัดสารละลายคาร์เบนดาซิมเริ่มต้นความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ระหว่างการทดลองกวนแผ่นลอกกราไฟต์ให้สัมผัสกับสารละลายคาร์เบนดาซิมโดยเครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่สัมผัสกับตัวดูดซับอย่างต่อเนื่องที่เวลา 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 และ 120 นาที เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิมตามวิธีการวิเคราะห์ (Mungsuk et al., 2023)

## 4. ผลการวิจัย

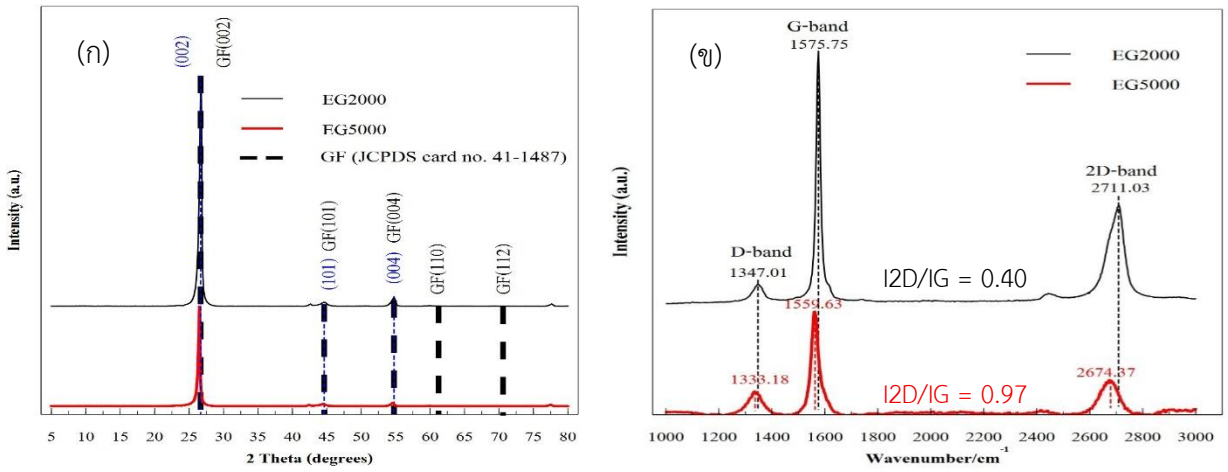
4.1 ผลการตรวจสอบคุณลักษณะของแผ่นลอกกราไฟต์

4.1.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าแผ่นลอกกราไฟต์ทั้ง EG 2,000 และ EG 5,000 มีตำแหน่งที่การเลี้ยวเบน 2Theta 26.5 องศา ซึ่งสอดคล้องกับระนาบผลึก (002) เป็นระนาบหลัก นอกจากนั้นยังเจอระนาบการเลี้ยวเบน (100) (101) (004) และ (110) ของกราไฟต์ตามข้อมูลจาก JCPDS card no. 41-1487 (Wang et al., 2021) โดย EG 2,000 แสดงพีคที่มีความเข้มสูงกว่า EG 5,000 อย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนถึงระดับความเป็นผลึก (Crystallinity) ที่สูงกว่า บ่งบอกว่า EG 2,000 มีโครงสร้างกราไฟต์ที่เป็นระเบียบและมีการจัดเรียงตัวของชั้นคาร์บอนที่ดี (Zhang et al., 2020) ขณะที่ EG 5,000 มีพีคที่กว้างกว่าและความเข้มต่ำกว่า บ่งชี้ถึงความเป็นผลึกที่ลดลง และอาจมีการแยกชั้น (Exfoliation) หรือความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างมากกว่าและบางกว่า ดังภาพที่ 2 (ก)

4.1.2 เทคนิครามานสเปกโทรสโคปี

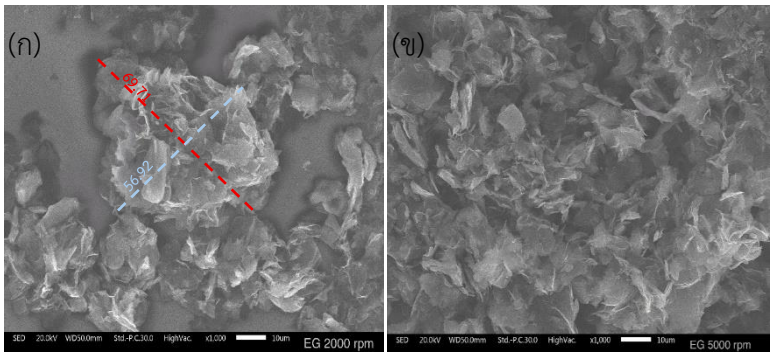
การวิเคราะห์สเปกตรัมรามานของแผ่นลอกกราไฟต์พบพีคหลัก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ D-band (~1,340 $cm^{-1}$), G-band (~1,580 $cm^{-1}$) และ 2D-band (~2,700 $cm^{-1}$) ซึ่งใช้ในการบ่งชี้ลักษณะโครงสร้างการจัดเรียงพันธะของอะตอมคาร์บอนชนิด $sp^2$ (Ferrari & Robertson, 2000) ตามที่แสดงในภาพที่ 2 (ข) ค่า G-band ของ EG 2,000 มีความเข้มสูง บ่งบอกถึงโครงสร้าง $sp^2$ ที่จัดเรียงอย่างมีระเบียบ ในขณะที่ค่า G-band ของ EG 5,000 ต่ำกว่าแสดงถึงความเป็นระเบียบของโครงสร้างคาร์บอนลดลง ส่วนจุดพีค 2D ของ EG 2,000 ที่คมชัดกว่าและอยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่า EG 5,000 ยังสะท้อนว่า EG 2,000 มีโครงสร้างใกล้เคียงกับกราไฟต์มากกว่า ในขณะที่ EG 5,000 มีแนวโน้มของการลอกแยกชั้น (Exfoliated Structure) สูงกว่า อาจเกิดจากแรงเค้นหรือการเปลี่ยนแปลงในจำนวนชั้นของกราฟีน โดยที่ค่า I2D/IG ของ EG 2,000 และ 5,000 คือ 0.40 และ 0.97 ตามลำดับ EG 5,000 มีสมบัติทางโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์




**ภาพที่ 2** (ก) รูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 และ 5,000 รอบต่อนาที (ข) รูปแบบสเปกตรัมรามานของแผ่นลอกกราไฟต์ที่ตำแหน่ง D-band G-band และ 2D-band ของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 และ 5,000 รอบต่อนาที

4.1.3 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องอิเล็กซ์ตรอนแบบส่องกราด

ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่าพบว่า EG 2,000 มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ที่ซ้อนตัวกัน และจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ตรงกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 63.31 ไมโครเมตร โดยช่องว่างระหว่างชั้นเอื้อต่อการแพร่กระจายของไอออนหรือสารมลพิษเข้าสู่ผิววัสดุได้ดี (Park et al., 2019) ในขณะที่ EG 5,000 ลักษณะแผ่นมีขนาดเล็กกว่า โครงสร้างมีลักษณะบางและกระจายตัวสูง ซึ่งอาจช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว (Specific Surface Area) ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) และ 3 (ข)



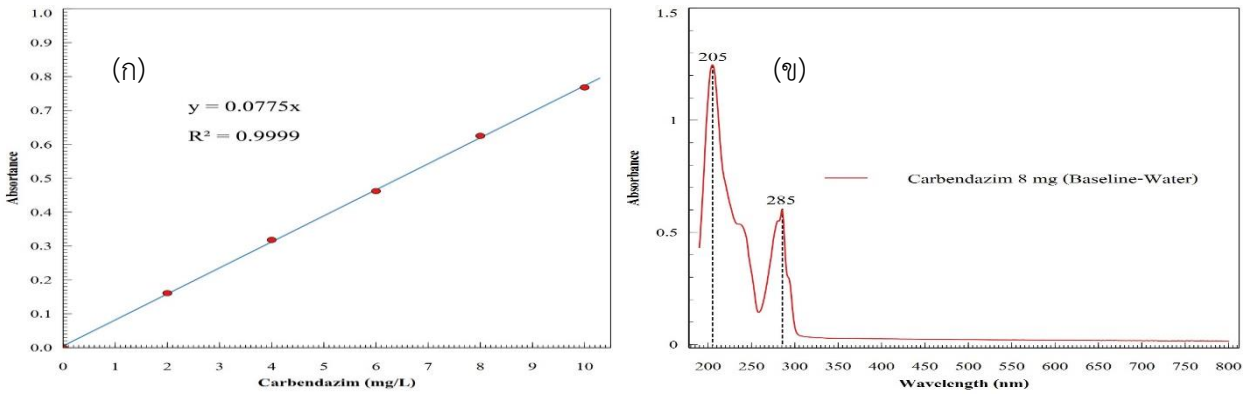

**ภาพที่ 3** ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า ของแผ่นลอกกราไฟต์ (ก) ขนาด 2,000 รอบต่อนาที (ข) ขนาด 5,000 รอบต่อนาที

4.1.4 เทคนิคการตรวจสอบขนาดพื้นที่ผิว (Surface Area Analysis)

การจากวัดด้วยเทคนิค BET พบว่าขนาดพื้นที่ผิวของ EG 2,000 และ 5,000 รอบต่อนาที คือ 5.5337 และ 7.3038 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

4.2 ผลการสร้างกราฟมาตรฐานคาร์เบนดาซิม

กราฟมาตรฐานของคาร์เบนดาซิม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิม (แกน X) และค่าดูดกลืนแสง (แกน Y) ซึ่งมีสมการคือ $y = 0.0775x$ และมีค่า $R^2 = 0.9999$ ตามที่แสดงในภาพที่ 4 (ก) และกราฟการดูดกลืนแสงของคาร์เบนดาซิม ดังในภาพที่ 4 (ข)



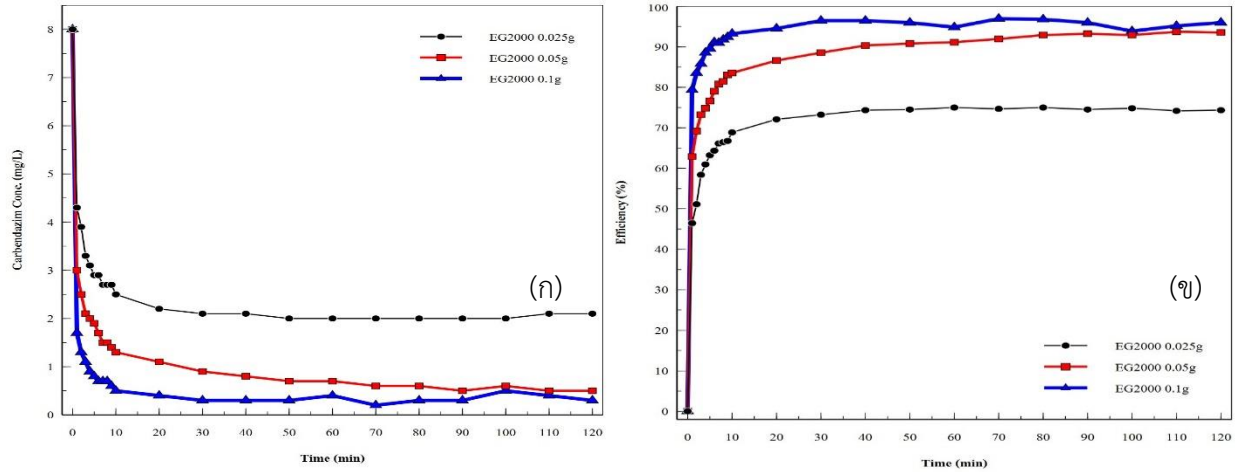

**ภาพที่ 4** (ก) กราฟมาตรฐานของคาร์เบนดาซิม (ข) กราฟการดูดกลืนแสงของคาร์เบนดาซิม

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิม

4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 รอบต่อนาที (EG 2,000)

จากผลการทดลองพบว่า EG 2,000 สามารถกำจัดคาร์เบนดาซิมจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการดูดซับสารคาร์เบนดาซิมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 10 นาทีแรก (ภาพที่ 5 (ก)) จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นพบว่าการเพิ่มปริมาณของ EG 2,000 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดอย่างชัดเจน สังเกตจากกรณีที่ใช้ EG 2,000 ปริมาณ 0.1 กรัม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดถึงร้อยละ 95 พบความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิมเหลือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบ 0.05 และ 0.025 กรัม ที่ให้ประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 80 และ 70 พบคาร์เบนดาซิมเหลือ 1.3 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 5 (ข))

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแผ่นลอกกราไฟต์มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดด้านการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและจำนวนตำแหน่งดูดซับที่เพิ่มขึ้น (Zhang et al., 2020)



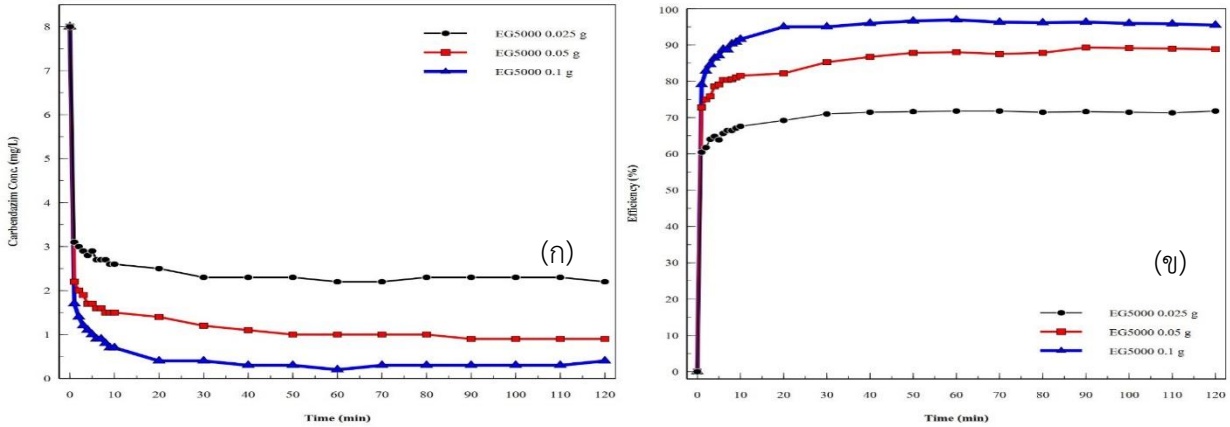

**ภาพที่ 5** (ก) ปริมาณความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิมต่อเวลาในการกำจัด (ข) ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 รอบต่อนาทีต่อเวลาในการกำจัด

4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 5,000 รอบต่อนาที (EG 5,000)

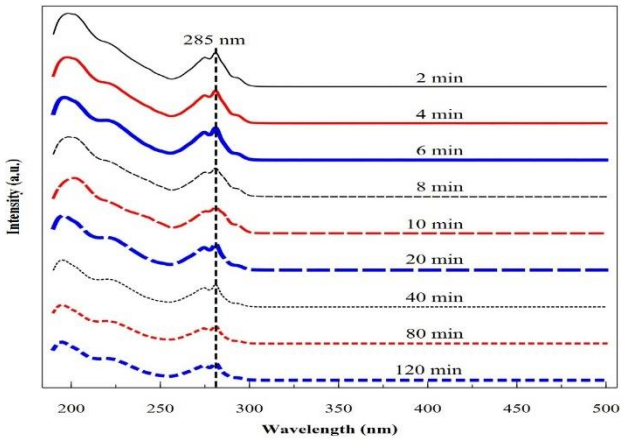
จากผลการทดลองพบว่าแผ่นลอกกราไฟต์ชนิด EG 5,000 มีประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการเพิ่มมวลของแผ่น EG 5,000 จาก 0.025 กรัม เป็น 0.1 กรัม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 6 (ก)) โดยที่ EG 5,000 ขนาด 0.1 กรัม สามารถกำจัดคาร์เบนดาซิมได้สูงถึงประมาณ ร้อยละ 97 พบความเข้มข้นคาร์เบนดาซิมเหลือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 40 นาที และคงที่ตลอดช่วงเวลา 120 นาที ขณะที่ขนาด 0.05 และ 0.025 กรัม มีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 90 และ 71 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นคาร์เบนดาซิมที่พบ คือ 0.9 และ 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 10 นาทีแรก (ภาพที่ 6 (ข)) และเข้าสู่ภาวะสมดุลในเวลาประมาณ 30-40 นาที แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการดูดซับที่เป็นแบบ physisorption (Ho & McKay, 1999) ชี้ให้เห็นว่าแผ่นกราไฟต์หรือวัสดุคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวสูงมีศักยภาพในการดูดซับสารคาร์เบนดาซิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม UV-Visible ของสารละลายคาร์เบนดาซิมที่ผ่านการดูดซับของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 รอบต่อนาที (EG 2,000)

ในช่วงเวลา 2–120 นาที พบว่าจุดพีคของการดูดกลืนแสงที่เด่นชัดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 285 นาโนเมตร (ภาพที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับหมู่เบนซิมิดาโซลในโครงสร้างของคาร์เบนดาซิม โดยในช่วง 10 นาทีแรก ความเข้มของพีคลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแผ่นลอกกราไฟต์ EG 2,000 ในการดูดซับสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกระบวนการดูดซับมีลักษณะเป็นแบบฟิสิสซอร์ปชัน (Physisorption) ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นรวดเร็วผ่านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยไม่เกิดพันธะถาวร และไม่เปลี่ยนแปลงเป็นสารใหม่หรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมี




**ภาพที่ 6** (ก) ปริมาณความเข้มข้นของคาร์เบนดาซิมต่อเวลาในการกำจัด (ข) ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมของแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 5,000 รอบต่อนาทีต่อเวลาในการกำจัด




**ภาพที่ 7** สเปกตรัม UV-Visible ของสารละลายคาร์เบนดาซิมที่ผ่านการดูดซับด้วยแผ่นลอกกราไฟต์ขนาด 2,000 รอบต่อนาที (EG 2,000)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการศึกษาการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแผ่นลอกกราไฟต์ โดยวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดคาร์เบนดาซิมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้แผ่นลอกกราไฟต์ และศึกษาอิทธิพลของขนาดและระยะเวลาการดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัด โดยใช้แผ่นลอกกราไฟต์สองชนิด ได้แก่ EG 2,000 และ EG 5,000 ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองและการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ และรามานสเปกโทรสโคปี และตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคด้วยเทคนิคการภาพถ่ายด้วยกล้องอิเล็กซ์ตรอนแบบส่องกราด พบว่า EG 2,000 มีโครงสร้างผลึกกราไฟต์ที่ชัดเจนและเป็นระเบียบมากกว่า EG 5,000 โดยแสดงพีค XRD ที่คมและเข้มที่ตำแหน่ง 2 Theta 26.5 องศา ซึ่งสอดคล้องกับระนาบ (002) ของกราไฟต์ นอกจากนั้นการตรวจวัดด้วยเทคนิค Raman spectroscopy พบว่า EG 2,000 มีค่า G-band สูงและ 2D-band ที่คมชัด แสดงถึงโครงสร้างการจัดเรียงพันธะของอะตอมคาร์บอนชนิด $sp^2$ ที่จัดเรียงตัวดี ในขณะที่ EG 5,000 มีแนวโน้มลอกแยกเป็นชั้น และการถ่ายภาพด้วยเทคนิค SEM แสดงให้เห็นว่า EG 2,000 มีแผ่นขนาดใหญ่ที่ซ้อนกัน ส่วน EG 5,000 มีลักษณะแผ่นบาง กระจายตัวสูง ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ

การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์เบนดาซิมทั้ง EG 2,000 และ EG 5,000 สามารถดูดซับคาร์เบนดาซิมได้อย่างรวดเร็วภายใน 10 นาทีแรก และเข้าสู่สมดุลภายใน 30-40 นาที แสดงลักษณะการดูดซับแบบ Physisorption นอกจากนั้นการเพิ่มมวลของวัสดุดูดซับจาก 0.025 กรัม เป็น 0.1 กรัม ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดย EG 2,000 มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 95 และ EG 5,000 สูงถึงร้อยละ 97 ที่ 0.1 กรัม ซึ่งค่าร้อยละการกำจัดที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับขนาดของวัสดุดูดซับและพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้น ดังนั้น EG 2,000 เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในระบบที่ต้องการ และการจัดเรียงโครงสร้างที่เสถียร ส่วน EG 5,000 มีโครงสร้างที่บาง กระจายตัวดี และพื้นที่ผิวสูงกว่าจึงเหมาะกับการใช้กำจัดคาร์เบนดาซิมที่มุ่งเน้นการดูดซับอย่างมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ปริมาณของวัสดุดูดซับเท่ากัน

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัย

**7. เอกสารอ้างอิง**

พิกุล นุชนวลรัตน์ และ นภาพร จิตต์ศรัทธา. (2564). การประเมินความต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา Colletotrichum gloeosporioides สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงอกร่องในจังหวัดจันทบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ, 10 (2), 54–61.

อรรถบูรณ์ วิทูวิทยา. (2561). การสลายสารปนเปื้อนคาร์เบนดาซิมในน้ำโดยใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลสิสบนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงจากดวงอาทิตย์ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

Anushka Purabgola, et al. (2022). Graphene-based $TiO_2$ composites for photocatalysis & environmental remediation: Synthesis and progress. Environmental Science and Pollution Research, 29, 58432–58456.

Bouchard, M. F., Chevrier, J., Harley, K. G., Kogut, K., Vedar, M., Calderon, N & Eskenazi, B. (2011). Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7 - year-old children. Environmental Health Perspectives, 119 (8), 1189–1195.

Chen, X., Li, Y., & Wang, Z. (2018). Morphology-dependent electrochemical behavior of graphite materials. Electrochimica Acta, 270, 273–281.

Cheng, C., Chen, M., & Chen, C. (2011). Mechanisms of paraquat-induced lung injury: An update. Toxicology and Applied Pharmacology, 252 (2), 123–130.

EFSA FEEDAP Panel & Herman, L. (2020). Safety and efficacy of L-lysine monohydrochloride and L-lysine sulfate produced using Corynebacterium glutamicum CGMCC 7.266 for all animal species (EFSA Journal, 18 (2), e06019). European Food Safety Authority.

Ferrari, A. C., & Robertson, J. (2000). Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. Physical Review B, 61 (20), 14095.

Ferrari, A. C., Meyer, J. C., Scardaci, V., Casiraghi, C., Lazzeri, M., Mauri, F., ... & Robertson, J. (2006). Raman spectrum of graphene and graphene layers. Physical Review Letters, 97(18), 187401.

Gao, Z., Wang, Z., & Yan, H. (2011). Toxicity of carbendazim in animals: Effects on reproduction and development. Environmental Toxicology and Pharmacology, 32 (1), 123–130.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochemistry, 34(5), 451–465.

Mungsuk, C. , Yommee, S. , Supothina, S., & Chuaybamroong, P. (2023). Solar photocatalytic degradation of carbendazim in water using $TiO_2$ particle- and sol-gel dip-coating filters., Results in Engineering 19, 101438.

Park, J., Lee, J., & Choi, H. (2019). Surface characteristics of graphite for electrochemical applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 70, 90–97.

Silva, D., Martins, A., Silva, A. M., & Azevedo, F. (2023). The effects of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) on the female reproductive tract: A systematic review. Toxics, 11 (9), 725.

Wang, L., Zhang, Q., & Liu, J. (2021). Structure analysis of graphite and graphene materials using XRD and Raman. Carbon Reports, 2 (1), 45–52.

Won-Chun Oh, et al. (2553). Synthesis of expanded graphite-titanium oxide composite and its photocatalytic performance. https://www.researchgate.net/publication/273707779_Synthesis_of_Expanded_Graphite Titanium_Oxide_Composite_and_its_Photocatalytic_Performance

Zhang, Y., Zhao, J., & Xu, Y. (2020). Effect of crystallinity on electrochemical performance of graphite electrodes. Journal of Electroanalytical Chemistry, 860, 113882.

Zhang, Y., et al. (2020). Adsorption of pesticides from aqueous solutions using graphene-based materials: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8 (5), 104315.

# การประยุกต์สเปกตรัมไดอิเล็กโตรโฟเรซิสในการจำแนกและแยกเซลล์ยีสต์ที่ยังมีชีวิต

# Using dielectrophoretic spectra to identify and separate viable yeast cells

**ปภาวรินทร์ ศรีจันทร์[1*], ศักย์ชิน บุญถวิล[2], คทา จารุวงศ์รังสี[3]**

**Paphawarin Srichan[1*], Sakshin Bunthawin [2], Kata Jaruwongrungsee [3]**

[1] หน่วยวิจัยชีวเทคโนโลยีของกลศาสตร์ไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

[1] Biotechnology of Electromechanics Research Unit, Faculty of Technology and Environment, Prince of Songkla University, Phuket Campus, Paphawarinsrichan@gmail.com

[2]ห้องปฏิบัติการนาโนอิเล็กทรอนิกส์ และไมโครอิเล็กโทรแมคคานิคัลซิสเต็ม์ (MEMS), ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

[2] Nanoelectronics and MEMS Laboratory, National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) ของเซลล์ยีสต์ โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse Electric Fields) ที่ออกแบบให้ทำงานแบบบูรณาการ โดยเซลล์ยีสต์ที่อยู่ในสารแขวนลอยถูกกระตุ้นเบื้องต้นด้วยสนามไฟฟ้าสลับ สองเฟส (Alternating Current Field, ACF) จะเน้นที่ความถี่วิกฤตต่ำ (Lower Critical Frequency,LCF) โดยใช้หลักการของการแบ่งขั้วของเซลล์ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่สม่ำเสมอ โดยมีการคำนวณเชิงทฤษฎีที่แม่นยำของความถี่วิกฤตที่ต่ำกว่า (LCF) โดยงานวิจัยนี้ใช้เซลล์ยีสต์สายพันธ์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการศึกษา โดยเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตในช่วงเฟส exponential ถึง stationary จะมีความหนาแน่นของเซลล์ที่ 1.15× $10^5$cell/$ml^{-1}$ ถูกแขวนลอยอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลซูโครส โดยค่าการนำไฟฟ้า (**σ**s) ถูกปรับให้เป็น 0.01 S/$m^{-1}$ ด้วยการเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ ซึ่งเซลล์ที่สัมผัสกับสนามไฟฟ้าที่มีความแรงตั้งแต่ 32.89 ถึง 40.98 kV $m^{-1}$ จะแสดงพฤติกรรมไดอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบบวก (positive dielectrophoresis, pDEP) โดยมีค่า LCF ที่ 85.72 ± 3.59 kHz ซึ่งค่าที่เหมาะสมของ LCF จะเพิ่มขึ้นเป็น 780.00 ± 83.67 kHz เมื่อปรับ **σ**s เพิ่มเป็น 0.10 S/$m^{-1}$ สเปกตรัมไดอิเล็กโทรฟอรีซิสและ LCF ของสารแขวนลอยยีสต์จะการเกิด pDEP โดยจะถูกวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเยื่อหุ้มเซลล์และไซโตพลาสซึม ซึ่งสะท้อนถึงความอยู่รอดและสุขภาพการเผาผลาญของเซลล์ยีสต์ ผลการเก็บรวบรวมเซลล์ด้วย pDEP ถูกรายงานผ่านจอแสดงผลของซอฟต์แวร์ SSG เพื่อประเมินจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตและตายผ่านระบบวิเคราะห์ภาพแบบเรียลไทม์ สเปกตรัมของ pDEP ของเซลล์มีชีวิตและเซลล์ที่ตายมีคุณสมบัติไดอิเล็กทริกที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึมในเซลล์ที่ตาย (**σ**c) ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับเซลล์ที่มีชีวิต ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึมประมาณ 0.2 S/$m^{-1}$ ความแตกต่างนี้เพียงพอสำหรับขั้นตอนการแยกเซลล์

**คำสำคัญ:** เซลล์ยีสต์ ไดอิเล็กโตรฟอเรซิส ความมีชีวิตของเซลล์ สมบัติไดอิเล็กทริกของเซลล์ การแยกเซลล์ที่มีชีวิต

**Abstract**

This research focuses on the electrolysis of yeast cells using pulse electric fields (PEFs), designed to operate in an integrated manner. Yeast cells suspended in a medium were initially stimulated with a two-phase alternating current field (ACF), targeting the lower critical frequency (LCF). The principle used involves cell polarization in a non-uniform alternating electric field, with precise theoretical calculations for determining the LCF. The study employed Saccharomyces cerevisiae yeast cells. Living cells in the exponential to stationary growth phases, with a density of $1.15 \times 10^5$ cells/mL, were suspended in a sucrose-based growth medium. The conductivity of the suspension medium ($\sigma$s) was adjusted to 0.01 S/m by adding potassium chloride (KCl). When exposed to electric field strengths ranging from 32.89 to 40.98 kV/m, the cells exhibited positive dielectrophoresis (pDEP), with an LCF of 85.72 ± 3.59 kHz. This optimal LCF increased to 780.00 ± 83.67 kHz when the conductivity was increased to 0.10 $S/m^{-1}$. The dielectrophoretic and LCF spectra of the yeast suspensions during pDEP were analyzed to determine the dielectric properties of the cell membrane and cytoplasm, which reflect the viability and metabolic health of the yeast cells. The cell collection results from pDEP were displayed on the screen of the sequential signal generator (SSG) software, which assessed the number of living and dead cells through a real-time image processing analyzer. The pDEP spectra of viable and non-viable yeast cells showed clearly distinguishable dielectric properties. The cytoplasmic conductivity ($\sigma$c) of dead cells was significantly lower - typically ≤ 0.05 S/m compared to that of viable cells, which had an average cytoplasmic conductivity of approximately 0.2 $S/m^{-1}$. This difference is sufficient to enable effective cell separation.

**Keywords:** Yeast cells, Dielectrophoresis, Viability, Cell dielectric properties, Viable cell separation, Cytoplasmic conductivity

## 1. บทนำ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ยีสต์ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (exponential phase) และระยะคงตัว (stationary phase) ของกระบวนการหมัก จำนวนเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตและสมบูรณ์ (healthy viable cell) ในสัดส่วนที่เหมาะสม ถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เซลล์ยีสต์ที่มีชีวิต โดยเฉพาะเซลล์ที่ยังทำงานได้ดีในช่วงเริ่มต้นของวัฏจักรเซลล์ ในระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ เป็นที่ต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักในอุตสาหกรรมเบียร์ ซึ่งช่วงต่างๆของวัฏจักรการเจริญเติบโตของเซลล์ เช่น ระยะปรับตัว (lag phase), ระยะเติบโตอย่างรวดเร็ว , ระยะคงตัว, และระยะเสื่อมสภาพ จะสามารถติดตามได้ค่อนข้างง่าย แต่การติดตามความสามารถในการดำรงชีวิตของเซลล์ถือเป็นพารามิเตอร์ที่ยากกว่า โดยเซลล์ที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องจะช่วยลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนในระหว่างการหมัก ส่งผลให้ได้กลิ่น รสชาติการผลิตแอลกอฮอล์ และสารประกอบรองที่ต้องการ ซึ่งเซลล์ระยะตาย เป็นปลายทางสุดท้ายของวัฏจักรเซลล์ เป็นช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนจากเซลล์ที่ตายแล้วมักเกิดขึ้นในช่วงระยะคงตัวจนถึงระยะเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเพาะเลี้ยง ในช่วงที่เซลล์เริ่มตายนี้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์เบียร์มีคุณภาพสูง เนื่องจากในระยะเสื่อมสภาพมักจะเกิดสารประกอบรองที่ไม่พึงประสงค์ ในกรณีของเซลล์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น เซลล์แฟลเจล

เลต (flagellates) หรือเซลล์สเปิร์ม การแยกแยะเซลล์ที่ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ต่อไป (non-viable cells) มักทำได้ค่อนข้างง่าย แต่กรณีของเซลล์ยีสต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตกับเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้วในทุกสภาวะต่างก็มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกัน ซึ่งไม่สามารถแยกแยะได้ง่ายๆด้วยการสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์เพียงอย่างเดียว สายพันธุ์ยีสต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ใช้สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* มีรูปร่างเป็นทรงรี (prolate speroid) ขนาดประมาณ 3-5 ไมครอน (Bunthawin etal.2010) โดยในอดีตการจำแนกเซลล์ยีสต์โดยใช้วิธีทางจุลพยาธิวิทยา จะใช้การย้อมเซลล์ด้วยสีย้อมไตรอริลมีเทน (triarylmethane dye) เช่น คริสตัลไวโอเลต (Crystal violet) เพื่อแยกแยะเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ตายผ่านการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เครื่องนับเซลล์ เฮโมไซโตมิเตอร์ (haemocytometer) ในการนับจำนวนเซลล์ที่ติดสีย้อม และอัตราส่วนของเซลล์ที่มีการแตกหน่อ (budding cells) ก็เป็นดัชนีที่เป็นประโยชน์ในการประเมินความสามารถในการมีชีวิตของเซลล์ทั้งหมดในวัฏจักร อย่างไรก็ตามการดำเนินกระบวนการเหล่านี้อย่างแม่นยำ ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในห้องปฏิบัติการ และใช้เวลานานในการระบุความมีชีวิตของเซลล์ยีสต์ และบางครั้งจำเป็นต้องเพาะเลี้ยงเซลล์บนจานเพาะเชื้อ เพื่อยืนยันว่าเซลล์ยังมีชีวิต สำหรับการประเมินเซลล์ในปริมาณมากจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ ที่สะดวกและกึ่งอัตโนมัติมากขึ้น เช่น เซลล์ไซโตเมทรี (cell cytometry หรือเครื่องวิเคราะห์เซลล์ ) ,อุปกรณ์ทดสอบอิเล็กทริก (dielectric test fixture หรือ dielectric spectroscopy) อิเล็กโทรเมคานิกส์ของเซลล์ (cell electromechanics) เทคนิคเหล่านี้เป็นเทคนิคแบบไม่ทำลาย (non-invasive) ที่มีความเฉพาะทาง และแม้ว่าจะมีข้อจำกัดต่างกัน แต่ตัวอย่างเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการใช้สนามไฟฟ้าเพื่อระบุลักษณะของเซลล์ชีวภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของเทคโนโลยีชีวภาพ โดยการตรวจสอบแบบเรียลไทม์จะเป็นประโยชน์ในการประเมินความมีชีวิตของเซลล์ในระบบขนาดใหญ่ที่เหมาะสำหรับการใช้ในสถานที่จริง ในทางชีวกลศาสตร์ไฟฟ้า (bio-electromechanics) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสามารถขยายไปสู่การใช้งานในรูปแบบต่างๆได้ เช่น ไดอิเล็กโทรโฟเรซิส (DEP), ไดอิเล็กโทรโฟเรซิสแบบคลื่นเดินทาง (twDEP), การยืดเซลล์ด้วยไฟฟ้า, การเปลี่ยนรูปด้วยไฟฟ้า, การหลอมรวมเซลล์ด้วยไฟฟ้า โดยเทคนิคที่กล่าวมาสองประเภทแรก (DEP และ twDEP) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแยกเซลล์ยีสต์ในช่วงปลายของกระบวนการหมักได้อีกด้วย การปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคชีวภาพกับสนามไฟฟ้ากระแสสลับ (AC electric fields) ได้รับการศึกษาและทบทวนโดยนักวิจัยหลายท่าน โดยพารามิเตอร์ทางไดอิเล็กทริกของเซลล์ มักถูกประเมินผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่อแยกแยะเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตออกจากเซลล์ที่ตายแล้ว ตัวอย่างเช่น ค่านำไฟฟ้า ($S \cdot m^{-1}$) ของไซโตพลาสซึม$(\sigma c)$, เยื่อหุ้มเซลล์ $(\sigma m)$, ตัวกลางที่ใช้แขวนเซลล์ $(\sigma s)$, ค่าคงที่ของไดอิเล็กทริกของเยื่อหุ้มเซลล์ $(\varepsilon m)$, ของไซโตพลาสซึม$(\varepsilon c)$, และของตัวกลางแขวนเซลล์ $(\varepsilon s)$ ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองส่วนใหญ่ใช้กับเซลล์ทรงกลมอย่างง่ายแต่เซลล์ยีสต์ไม่สามารถประเมินให้เป็นทรงกลมได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองรูปร่างของเซลล์ที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ทางชีวฟิสิกส์ของปรากฏการณ์ไฟฟ้าในเซลล์ โดยใช้แบบจำลองเซลล์ทรงรี (prolate spheroidal modal) ซึ่งมีแกนหลักสองแกน (semi-major axes) จึงสามารถนำมาใช้เพื่อประเมินคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่าง เซลล์ที่ตายแล้วจะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า AC แตกต่างกัน เนื่องจากมีคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริกที่ต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเซลล์ยีสต์ที่ได้จากการศึกษานี้ใกล้เคียงกับที่รายงานไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า โดยใช้เทคนิคไดอิเล็กโทรโฟเรซิสแบบอื่น

ในการศึกษานี้ใช้หลักการของการเกิดโพลาไรซ์ของเซลล์ภายใต้สนามไฟฟ้า AC แบบไม่สม่ำเสมอ ร่วมกับการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ความถี่วิกฤตต่ำสุด เพื่อกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการแยกเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้วและเซลล์ยีสต์ที่ยังมีชีวิต ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงรีแบบยาว และแขวนลอยอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ $(\sigma s)$ $(S \cdot m^{-1})$ โดยได้มีการพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบลำดับใหม่ ที่ติดตั้งไมโครอิเล็กโทรด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เซลล์ยีสต์ ภายใต้สนามไฟฟ้าซายน์

โซยดัลแบบไม่สม่ำเสมอและเป็นช่วงสั้น ๆ (tramsiently non-uniform sinusoidal electric fields) นวัตกรรมนี้ถูกนำไปใช้ในรูปแบบต้นแบบโดยร่วมมือกับอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ของ บริษัท สิงห์ เบเวอเรช จำกัด จังหวัดนครปฐม 73130 ประเทศไทย

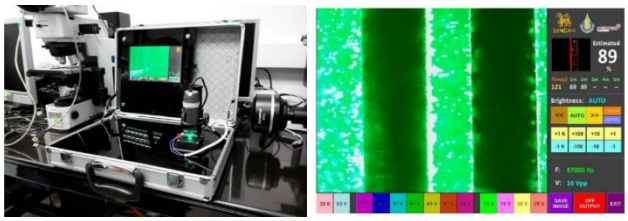
**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้เซลล์ยีสต์แยกตัวออกจากกันระหว่างเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ที่ไม่มีชีวิตในระดับห้องปฏิบัติการ

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การเตรียมเซลล์ในงานวิจัยนี้ ใช้เซลล์ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5088 ถูกเพาะเลี้ยงในหน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพด้านอิเล็กโทรเมคานิกส์ (Biotechnology of Electromechanics Research Unit) คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต เซลล์ถูกเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Wickerham's medium (อ้างอิง MacDiarmid และ Gardner, 1996) โดยเซลล์ถูกจำลองให้มีรูปร่างเป็น ทรงรียาว (prolate spheroids) ซึ่งมีขนาด a = 4.06±0.38 ,b = 3.03 ± 0.22 (ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน; โดย N = 10 เซลล์) จำนวนประชากรของเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเฟสเร่งการเจริญเติบโต (acceleration stage) และคงที่ในช่วงเฟสสูงสุด (plateau stage) ก่อนจะลดลงในช่วงเฟสลดลง (decline stage) เซลล์ถูกเก็บเกี่ยวในช่วง stationary phase หลังจากการเพาะเลี้ยง 24 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (deionized water) 2 ครั้ง จากนั้นนำไปปั่นแยก (centrifuge) ที่แรง 1000 × g เป็นเวลา 2 นาที และนำมาผสมรวมกันใหม่ (resuspend) 2 ครั้งในสารละลายซูโครส 0.5 โมลาร์ ค่าการนำไฟฟ้าของตัวกลาง ($\sigma_s$) ถูกวัดโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter; รุ่น Cyberscan CON 11, Eutech Instruments, มิวนิก ประเทศเยอรมนี) และปรับให้อยู่ในช่วง 3 ถึง 300 mS/m โดยเติมสารละลาย KCl ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้ไมโครไพเปต (รุ่น 5000DG, Nichipet, Nichiryo Instruments, ไซตามะ ประเทศญี่ปุ่น) สำหรับการทดลองกับเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้ว (dead yeast cells) สารแขวนลอยของเซลล์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง (อ้างอิง Talary et al. 1996) จากนั้นนำสารแขวนลอยไปปั่นแยกด้วยวิธีเดียวกับเซลล์ที่ยังมีชีวิต โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่สามารถระบุเซลล์ที่ตายแล้วและเซลล์ที่มีชีวิตด้วยการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์อย่างรวดเร็วสำหรับการปฏิบัติงานในสถานที่ และที่สำคัญที่สุดคือ สามารถแยกเซลล์ที่ตายแล้วและเซลล์ที่มีชีวิตออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ใช้หลักการของการแบ่งขั้วของเซลล์ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับแบบไม่สม่ำเสมอโดยมีการคำนวณเชิงทฤษฎีที่แม่นยำของความถี่วิกฤตที่ต่ำกว่า (LCF) เครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถสร้างเฟสกำลังสองไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่สำหรับอิเล็กโทรดที่สอดประสานกับไมโครชิปหรือเฟสตั้งฉากสำหรับ DEP ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางแรง DEP สองชุดและการเปลี่ยนแปลงของลำดับเฟสไฟฟ้า ($\phi$) กล่าวคือ $\phi$ = 0, $\pi$/2, $\pi$, 3$\pi$/2 ในซีรีส์ได้รับการตรวจสอบแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางแรง DEP สองชุดและการเปลี่ยนแปลงของเฟสไฟฟ้า ($\phi$) ส่วนนั้นคือ $\phi$ = 0, $\pi$/2, $\pi$, 3$\pi$/2 ในซีรีส์ที่ได้รับการตรวจสอบแล้ว ลำดับเฟสสามารถเปลี่ยนแปลงและหมุนเวียนได้โดยอัตโนมัติภายในช่วงเวลา 30 วินาที (เปลี่ยนทีละ 0.01–30 วินาที) ความถี่การทำงานจริงสามารถสร้างขึ้นได้จากขีดจำกัดล่าง 5 Hz ถึง 4 MHz

บนสุด โดยมีช่วงแรงดันเอาต์พุต 1.5–14 Vpp โดยที่ Vpp คือค่าแรงดันจากจุดสูงสุดถึงจุดสูงสุดของรูปคลื่นแรงดัน ซึ่งวัดจากแรงดันบวกสูงสุด ไปจนถึงค่าแรงดันลบสูงสุด (Bunthawin et al. 2010) เซลล์ยีสต์ที่ตายและมีชีวิตจะถูกแยกออกโดยปรับความถี่สนามไฟฟ้าเฉพาะและเปอร์เซ็นต์ของพวกมันจะถูกวิเคราะห์ผ่านการประมวลผลภาพด้วยรายงานเชิงตัวเลข ความแตกต่างของเฟสการกำหนดที่อยู่ของอิเล็กโทรดตรงข้ามจะคงที่เป็น Pi-radian ซึ่งลำดับเฟสของอิเล็กโทรดเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยอัตโนมัติ และหมุนเวียนได้ ต้นแบบของอิเล็กโทรดทองคู่ขนานทรงกระบอกของเราถูกสร้างขึ้นบนสไลด์แก้วกล้องจุลทรรศน์ขนาด 75 × 25 × 1 มม. (Marien feld Superior, Paul Marienfeld GmbH, Lauda- Königsh ofen ประเทศเยอรมนี) เส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดคือ 125 μm และระยะห่างระหว่างพื้นผิวของอิเล็กโทรดคือ 100 μm โดยติดตั้งสไลด์แก้วของไมโครอิเล็กโทรดบนฐานซ็อกเก็ต




**ภาพที่ 1** การกำหนดค่าไมโครอิเล็กโทรดที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบต่อเนื่อง (SSG) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการมีชีวิตของเซลล์ โดยเซลล์จะปรากฏเป็นสีขาวบนหน้าจอ

## 4. ผลการวิจัย

การเหนี่ยวนำเซลล์ (Cell Inductions) จากการสังเกตพบว่า เมื่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวกลาง ($\sigma$s) เพิ่มขึ้น ค่าความถี่วิกฤตต่ำ (LCF) จะ เลื่อนไปยังค่าความถี่ที่สูงขึ้น สเปกตรัมไดอิเล็กโทรโฟเรซิสของยีสต์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่า $\sigma$s เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อค่า $\sigma_S$ เพิ่มถึงค่าที่สำคัญคือ 0.01 S/m แรงดึงดูด (แรงไดอิเล็กโทรโฟเรซิส) จะลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งแสดงถึงการที่ค่าการนำไฟฟ้าของตัวกลางใกล้เคียงกับ ค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึมในเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้ว โดยเซลล์ยีสต์ที่ตายและยังมีชีวิตสามารถแยกออกจากกันได้ โดยใช้ สนามไฟฟ้าไซน์แบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform sinusoidal electric fields) ร่วมกับอิเล็กโทรดขนานขนาดเล็ก (micro-parallel electrodes) ที่ควบคุมด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณแบบลำดับ (SSG) โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า (Joule heating) ภายใต้สภาพแวดล้อมในสารละลายซูโครส 0.5 โมลาร์ ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 50 ถึง 80 kHz ค่าความต่างเฟสระหว่างอิเล็กโทรดฝั่งตรงข้ามถูกตั้งไว้ที่ $\pi$ เรเดียน และลำดับเฟสสามารถหมุนเวียนโดยอัตโนมัติภายในช่วงเวลา 30 วินาที (สามารถปรับค่าขั้นละ 0.01–30 วินาที) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซลล์ยีสต์มีชีวิตของ S. cerevisiae ที่อยู่ในช่วง เฟสเพิ่มจำนวนจนถึง stationary phase ที่ความหนาแน่น $1.15 \times 10^5$ เซลล์/มิลลิลิตร ซึ่งถูกแขวนอยู่ในสารละลายซูโครส 0.5 โมลาร์ และได้รับสนามไฟฟ้าที่มีความแรงระหว่าง 32.89 ถึง 40.98 กิโลโวลต์/เมตร แสดงพฤติกรรม ไดอิเล็กโทรโฟเรซิสเชิงบวก (pDEP) โดยมีค่าความถี่วิกฤตต่ำ (LCF) เท่ากับ 85.72 ± 3.59 kHz (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, N = 5) ที่ค่า $\sigma_S$ = 0.01 S/m (จากการเติม KCl) เมื่อค่า $\sigma_S$ เพิ่มขึ้นเป็น 0.10 S/m ค่า LCF ที่เหมาะสมก็ขยับสูงขึ้น เป็น 780.00 ± 83.67 kHz (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, N = 5) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เซลล์ยีสต์ที่แสดง pDEP และเคลื่อนที่ไปยังผิวของอิเล็กโทรด ล้วนเป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิต ในขณะที่เซลล์ที่ตายแล้วจะไม่เคลื่อนที่ไปยังผิวอิเล็กโทรด สเปกตรัมของแรงไดอิเล็กโทรโฟเรซิส สามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อประเมินจำนวนเซลล์ที่ยังมีชีวิตหรือตายได้ นอกจากนี้

ยังพบว่า ค่า LCF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sigma S$ เพิ่มขึ้น สเปกตรัมของ pDEP ระหว่างเซลล์ที่มีชีวิตและตายมีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริกที่ต่างกันของเซลล์ กล่าวคือ: เซลล์ที่ตายแล้ว มีค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึมต่ำ ประมาณ 0.01–0.02 S/m เซลล์ที่ยังมีชีวิต มีค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึม สูงกว่า อย่างชัดเจน คือประมาณ 0.20–0.25 S/m (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ค่าการนำไฟฟ้าและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของไซโตพลาสซึม เยื่อหุ้มเซลล์ และตัวกลางแขวนลอยของเซลล์ยีสต์

| พารามิเตอร์ | เซลล์ที่มีชีวิต | เซลล์ที่ตายแล้ว | เซลล์มีชีวิต (*Bunthawin et al. 2010) |
|---|---|---|---|
| $\sigma_c Sm^{-1}$ | 0.25 | 0.01-0.02 | 0.20 |
| $\boldsymbol{\sigma_m Sm^{-1}}$ | $1.0 \times 10^{-7}$ | $4.0 \times 10^{-4}$ | $2.5 \times 10^{-7}$ |
| $\varepsilon_c$ | 50 | 65 | 50 |
| $\varepsilon_m$ | 15 | 25 | 6 |
| $\varepsilon_s$ | 78 - 80 | 78 - 80 | 78 - 80 |
| $a\ (\mu m)$ | $4.60 \pm 0.38$ | $\sim 4$ | 5 |
| $b = c\ (\mu m)$ | $3.03 \pm 0.22$ | $\sim 3$ | 4.2 |
| $\delta\ (\boldsymbol{nm})$ | 8 - 12 | 8 -12 | 8 |

พารามิเตอร์: $\sigma$c ค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาสซึม (S $m^{-1}$), $\sigma$m ค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ (S $m^{-1}$), ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก $\varepsilon$c ของไซโตพลาสซึม, ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก $\varepsilon$m ของเยื่อหุ้มเซลล์, ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก $\varepsilon$s ของตัวกลางที่แขวนลอย, ความยาวเซลล์, ความกว้างเซลล์ b = c และความหนาของเยื่อหุ้มเซลล์ $\delta$ แถบข้อผิดพลาดคือค่าความหนาของค่าผิดพลาดมาตรฐาน

การกำหนดความสามารถในการมีชีวิตของเซลล์ยีสต์ สุขภาพของเซลล์นั้นพิจารณาจากสถานะของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเซลล์ที่กำลังจะตายหรือเซลล์ที่ตายแล้วพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ใช้ในการกำหนดได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาซึมเยื่อหุ้มเซลล์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเยื่อหุ้มเซลล์และไซโตพลาซึม ตามลำดับ พารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลต่อความถี่วิกฤตที่ต่ำกว่า (LCF) และความเร็วการเคลื่อนที่ของเซลล์ของไดอิเล็กโตรโฟรีซิสเชิงบวก นอกจากนี้ เรายังประเมินความเร็วของยีสต์ระหว่างการเคลื่อนที่ไปยังปลายอิเล็กโทรดผ่านการประมวลผลภาพภายใต้ความถี่ของสนามไฟฟ้ากระแสสลับต่าง ๆ ค่าของ LCF ที่เซลล์ยีสต์ถูกผลักออกในตอนแรก จากพื้นผิวอิเล็กโทรดหลังจากถูกดึงดูด จะถูกบันทึกเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าของตัวกลางและแรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำ จากการสังเกตพบว่าเมื่อค่าการนำไฟฟ้าของไซโตพลาซึมเพิ่มขึ้น LCF ก็จะเปลี่ยนไปเป็นค่าความถี่ที่สูงขึ้น สเปกตรัมความเร็วของยีสต์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้นของไซโตพลาซึม เมื่อค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของไซโตพลาสซึมถึงค่าวิกฤต แรงดึงดูดก็จะกลายเป็นสิ่งที่ไม่สำคัญ ซึ่งหมายความว่าค่าเท่ากับค่าการนำไฟฟ้าขอ งไซโตพลาสซึม การทดลองของเราแสดงให้เห็นว่าเซลล์ยีสต์ขนาด $1.15 \times 10^5$ cell/$mL^{-1}$ แสดงไดอิเล็กโตรโฟรีซิสเชิงบวกเริ่มต้นที่ LCF ที่ 85.72 ± 3.59 kHz เมื่อใช้ตัวกลางที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0.01 S $m^{-1}$ สเปกตรัมความเร็วของสารแขวนลอยยีสต์ได้รับผลกระทบจากค่าการนำไฟฟ้าของตัวกลางที่เซลล์แขวนลอยระหว่างการทดลอง การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในรูปแบบความเร็วได้รับการอธิบายในแง่ของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์และไซโทพลาซึมของเซลล์ยีสต์ซึ่งสะท้อนถึงสถานะสุขภาพของการเผาผลาญของเซลล์เหล่านั้น โดยใช้วิธีการปรับเส้นโค้งซ้ำ ๆ ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เราได้กำหนดสุขภาพของสารแขวนลอยยีสต์ที่แสดงในรูปของค่าการนำไฟฟ้าของไซโทพลาซึมและเยื่อหุ้มเซลล์ตามตารางที่ 1

**5. อภิปรายผลการวิจัย**

เซลล์ยีสต์ถูกเหนี่ยวนำชั่วคราวให้เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าไซน์ที่ไม่สม่ำเสมอโดยการปรับความถี่สนามไฟฟ้า โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณแบบต่อเนื่อง (SSG) เพื่อวิเคราะห์ความมีชีวิตของเซลล์ในระดับคลินิก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถระบุและแยกเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* ที่มีชีวิตจากเซลล์ยีสต์ที่ตายแล้วได้ในช่วงที่เซลล์อยู่นิ่งแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยความหนาแน่นของเซลล์คงที่ $1.15 \times 10^5$ เซลล์ $mL^{-1}$ ที่แขวนลอยอยู่ในอาหารซูโครส โดยปรับสภาพนำไฟฟ้าของอาหารให้เป็น 0.01 S $m^{-1}$ โดยเติม KCl เข้าไป เซลล์ที่สัมผัสกับ ความแรงของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 32.89 ถึง 40.98 kV $m^{-1}$ จะแสดงไดอิเล็กโตรโฟรีซิสเชิงบวก (pDEP) ด้วยความถี่วิกฤตที่ต่ำกว่า (LCF) ที่ 85.72 ± 3.59 kHz ค่า LCF จะเปลี่ยนไปทางค่าที่มากขึ้นเมื่อ $\sigma_s$ เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงทฤษฎี อย่างไรก็ตาม สเปกตรัม LCF ของการแขวนลอยของยีสต์ในระหว่าง pDEP ได้รับการวิเคราะห์ในแง่ของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เดี่ยวซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการดำรงชีวิตและสถานะสุขภาพการเผาผลาญของเซลล์ ในสถานการณ์จริง การเคลื่อนที่ของเซลล์ยีสต์ในช่วง pDEP สามารถมองเห็นได้บนจอภาพของเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตหรือเซลล์ที่ตายแล้วได้ในเชิงปริมาณผ่านเครื่องวิเคราะห์การประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ สเปกตรัมของทั้ง pDEP ของเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ที่ตายแล้วสามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าการนำไฟฟ้าของไซโทพลาซึมของยีสต์ $\sigma_c$ ของเซลล์ที่ตายแล้ว (0.01–0.02 S $m^{-1}$) น้อยกว่าค่าการนำไฟฟ้าของเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิต (0.20–0.25 S $m^{-1}$)

ในกรณีของคลัสเตอร์เซลล์ยีสต์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน ที่แขวนลอยอยู่ในสารแขวนลอยเจือจางที่มีความหนาแน่นของเซลล์ $10^4$–$10^6$ cell/$mL^{-1}$ ค่าพลังงานปฏิสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ (W) มีแนวโน้มเป็นศูนย์ในกรณีที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเซลล์เกิดขึ้น ความจุจำเพาะ (Cm) และค่าการนำไฟฟ้า (Gm) ของเยื่อหุ้มเซลล์ยีสต์ถูกเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 1 ผลการทดลองพบว่า Cm และ Gm ของ *S. cerevisiae* ที่เป็นและตายแล้วมีค่าเท่ากับ 11.06 mF $m^{-2}$, 8.33 S $m^{-2}$ และ 18.44 mF $m^{-2}$, 33.33 × 103S $m^{-2}$ ตามลำดับ สิ่งเหล่านี้มีความแตกต่างกันมาก การตรวจสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนั้นทำได้โดยใช้เซลล์ยีสต์สายพันธุ์หนึ่ง *(S. cerevisiae TISTR 5088)* ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าตามที่คนงานหลายคนรายงานไว้ก่อนหน้านี้ภายใต้ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 40.98 กิโลโวลต์ $m^{-1}$ เราพบว่าเซลล์ที่มีชีวิตแสดงไดอิเล็กโตรโฟรีซิสเชิงบวกโดยมีความถี่วิกฤต (LCF) ที่ต่ำกว่า ที่ 85.72 kHz และ 0.01 S $m^{-1}$ แรงไดอิเล็กโตรโฟรีซิสสูงสุดที่กระทำต่อเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตคือ 2.58 × 10−12 N แรงไดอิเล็กโตรโฟรีซิสของเซลล์ที่มีชีวิตไม่เป็นศูนย์ ในขณะที่แรงกระทำต่อยีสต์ที่ตายแล้วเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้เซลล์อยู่นิ่ง ไม่เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า

โดยงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการใช้หลักการของการแยกขั้วของเซลล์ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่สม่ำเสมอโดยใช้ เครื่องกำเนิดสัญญาณแบบต่อเนื่อง (SSG) ร่วมกับ การคำนวณเชิงทฤษฎีของความถี่วิกฤตที่ต่ำกว่าเพื่อ ระบุเซลล์ยีสต์ที่ตายและมีชีวิต การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในรูปแบบความเร็วได้รับการอธิบายในแง่ของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์และไซโทพลาซึมของเซลล์ยีสต์ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการดำรงชีวิตและสถานะสุขภาพการเผาผลาญ เราใช้การวิเคราะห์การประมวลผลภาพผ่าน SSG เพื่อระบุยีสต์ที่ตายและมีชีวิตแบบเรียลไทม์ นวัตกรรมนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยการรวมเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบต่อเนื่อง (SSG) ที่ติดตั้งแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ (หน้าจอสัมผัส) สำหรับการดำเนินงานในสถานที่ในอุตสาหกรรมโรงเบียร์ ซึ่งสามารถใช้แยกเซลล์ด้วยการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์และรายงานอัตโนมัติ แยกเซลล์ยีสต์ที่ตายและมีชีวิตออกจากกันด้วยการปรับสนามไฟฟ้าไซน์เฉพาะ เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่มีชีวิตได้รับการวิเคราะห์ผ่านการประมวลผลภาพด้วยรายงานการแสดงผลแบบตัวเลข ความแตกต่างของเฟสที่กำหนดตำแหน่งบนอิเล็กโทรดตรงข้ามนั้นได้รับการแก้ไขเป็น Pi-radian ซึ่งทำให้ลำดับเฟสของอิเล็กโทรดสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยอัตโนมัติและหมุนเวียนสำหรับงานปรับแต่งเพิ่มเติม เช่น การวิเคราะห์ด้วย

ไดอิเล็กโตรโฟรีซิสของคลื่นเดินทาง การประมวลผลในสถานที่สำหรับเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตและตายด้วยการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วในเวลาน้อยกว่า 8 นาทีต่อตัวอย่างสำหรับการดำเนินการในสถานที่สามารถทำได้ ในงานประจำที่ Singha Beverage Company สิ่งประดิษฐ์นี้ทำให้สามารถระบุเซลล์ที่มีชีวิตและตายได้ด้วยการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์และการสร้างรายงานอัตโนมัติที่จำเป็นสำหรับเทคโนโลยีชีวภาพ สิ่งประดิษฐ์นี้สามารถนำไปใช้กับเซลล์ชีวภาพที่มีประโยชน์ทางเทคโนโลยีชีวภาพประเภทอื่นที่มีโครงสร้างเซลล์ที่คล้ายกันซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (เยื่อหุ้มเซลล์) ที่ทำจากไบเลเยอร์ฟอสโฟลิปิดลิปิดบนเซลล์ที่มีหรือไม่มีผนังเซลล์ เช่น โปรโตพลาสต์

**6. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศักย์ชิน บุญถวิล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ช่วยถ่ายทอดองค์ความรู้ คอยชี้แนะแนวทาง และให้กำลังใจตลอดการทำวิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่มอบโอกาสในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณ บริษัทสิงห์ เบเวอเรช จำกัด ที่ให้ความร่วมมือในการทำการวิจัยครั้งนี้ รวมถึง ดร.**คทา จารุวงศ์รังสี** ที่ช่วยแนะนำ และให้ความช่วยเหลือผลิตชุดอุปกรณ์ในการเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

**Bunthawin S, Wanichapichart P, Tuantranont A, Coster HGL (2010) Dielectrophoretic spectra of translational velocity and critical frequency for a spheroid in travelling electric Field. Biomicrouidics 4:014102**

**Maicas S (2020) The role of yeasts in fermentation processes. Microorganisms 8:1142–1149**

**Vembadi A, Menachery A, Qasaimeh MA (2019) Cell cytometry: review and perspective on biotechnological advances. Front Bio eng Biotech 7:1–2**

# การใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาเป็นวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับการบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้าย

# Utilization of Clay Bricks and Lightweight Concrete Bricks as Low-Cost Adsorbents for Dye Removal from Cotton Dyeing Wastewater

**ธิดารัตน์ อนันตรกิตติ[1], สิรินารี เงินเจริญ[2]***

**Tidarat Anantarakitti[1], Sirinaree Ngencharoen[2]***

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

[1]Bachelor of Science Program in Natural Resources and Environment, Faculty of Science and Social Sciences Burapha University Sakaeo Campus

[2]หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

[2]Bachelor of Science Program in Natural Resources and Environment, Faculty of Science and Social Sciences Burapha University Sakaeo Campus, Sirinaree.th@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายด้วยวัสดุเหลือใช้ ได้แก่ อิฐมอญและอิฐมวลเบาซึ่งเตรียมเป็นวัสดุดูดซับสีด้วยการบด ร่อนอิฐผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.42 มิลลิเมตร (มม.) กระตุ้นคุณสมบัติการดูดซับด้วยการเผาอิฐที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส (°C) หรือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (NaOH 50% w/w) เป็นผลให้ได้ตัวอย่างวัสดุดูดซับ 6 กลุ่ม ได้แก่ อิฐมอญ (C) อิฐมอญเผา (FC) อิฐมอญกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AC) อิฐมวลเบา (L) อิฐมวลเบาเผา (FL) และอิฐมวลเบากระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AL) จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีของน้ำเสียโดยบรรจุวัสดุดูดซับในชุดดูดซับอย่างง่าย เทน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch process) ผ่านชุดดูดซับ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับด้วยแถบวัดสีที่สร้างจากโปรแกรมสำเร็จรูป RBC Color Gradient Maker ซึ่งกำหนดระดับสี 11 ระดับ และเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร (nm) พบว่า วัสดุดูดซับกลุ่ม L, FC และ FL สามารถลดระดับสีได้ 10 ระดับหรือ 81.81% เท่ากัน ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบจากผลการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วัสดุดูดซับกลุ่ม L มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้มากที่สุด คือ 91.71% รองลงมา ได้แก่ วัสดุดูดซับกลุ่ม FL และ FC ลดสีได้ 85.31% และ 53.32% ตามลำดับ นอกจากนี้ L, FC และ FL สามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเค็มได้ โดย FC สามารถลด pH และความเค็มได้มากที่สุด คือ 17.68% และ 21.62% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ L, FC และ FL ต้องให้ความสำคัญกับปริมาณของแข็งแขวนลอยและปริมาณของแข็งละลายที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ:** อิฐมอญ อิฐมวลเบา น้ำเสีย การบำบัดสี ผ้าฝ้าย

**Abstract**

This research aimed to evaluate the efficiency of color removal from cotton dyeing wastewater using waste materials, specifically clay bricks and lightweight concrete bricks, as adsorbents. The materials were prepared

by crushing and sieving through a 0.42 mm mesh, followed by activation either by firing at 1,200 °C or using a sodium hydroxide solution with a concentration of 50% w/w (NaOH 50% w/w). Six groups of adsorbent samples were obtained: clay brick (C), fired clay brick (FC), clay brick activated with 50% w/w NaOH solution (AC), lightweight concrete brick (L), fired lightweight concrete brick (FL), and lightweight concrete brick activated with 50% w/w NaOH solution (AL). The color removal efficiency was tested in a batch system using a simple adsorption unit. Performance was analyzed with a color scale generated by the RGB Color Gradient Maker software (11 levels) and by UV spectrophotometry at a wavelength of 550 nm. The results revealed that L, FC, and FL reduced the wastewater color by 10 levels or 81.81% each. According to spectrophotometric absorbance, group L achieved the highest color removal efficiency (91.71%), followed by FL (85.31%) and FC (53.32%). Moreover, L, FC, and FL reduced pH and salinity, with FC showing the greatest reductions of 17.68% and 21.62%, respectively. However, these adsorbents also contributed to increases in total suspended solids (TSS) and total dissolved solids (TDS), indicating the need for careful management and possible integration with secondary treatment to minimize environmental impacts.

**Keywords:** Clay brick, Lightweight Concrete Brick, Wastewater, Dye removal, Cotton

**1. บทนำ**

สิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำและสารเคมีในปริมาณสูงโดยเฉพาะในขั้นตอนการย้อมผ้า ซึ่งมักใช้น้ำในปริมาณมาก และก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีสูง ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ไม่สมดุล และปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก (Srinivasan & Viraraghavan, 2010) การปล่อยน้ำเสียที่มีสีและสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศทางน้ำ (Yaseen & Scholz, 2019) สิ่งทอทั้งที่เป็นการผลิตระดับอุตสาหกรรมและการทอผ้าในชุมชนต่างก่อให้เกิดน้ำเสีย (Kopperi et al., 2023; Suwanprasert et al., 2024) จำเป็นต้องบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อนการระบายน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมนั้น กำหนดให้บำบัดน้ำเสียตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559) สำหรับการผลิตสิ่งทอในชุมชนนั้น เป็นสถานประกอบการขนาดเล็ก ไม่อยู่ในการควบคุมมาตรฐานดังกล่าว อย่างไรก็ตามเพื่อการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ชุมชนที่ผลิตสิ่งทอซึ่งมีการย้อมผ้าสามารถมีส่วนร่วมเพื่อการรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งมุ่งเน้นที่การบำบัดสีเป็นสำคัญ แม้ปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้ามีหลายเทคนิค อาทิ การตกตะกอน (Coagulation–Flocculation) การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane filtration) และการใช้สารออกซิไดซ์ขั้นสูง (Advanced oxidation processes: AOPs) อย่างไรก็ตามสำหรับการผลิตสิ่งทอในชุมชน วิธีเหล่านี้มักมีข้อจำกัด เช่น ต้นทุนสูง การใช้สารเคมีในปริมาณมากและการเกิดกากตะกอนที่ต้องกำจัดต่อ (Forgacs et al., 2004) ดังนั้นการใช้เทคนิคการดูดซับ (Adsorption) จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากใช้ได้กับสีย้อมหลายชนิดและสามารถใช้วัสดุเหลือใช้ราคาถูกมาประยุกต์เป็นตัวดูดซับได้ (Gupta & Suhas, 2009) จากการศึกษาข้อมูลพบว่าวัสดุดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ (Waste-derived adsorbents) เช่น วัสดุก่อสร้างได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเพราะมีต้นทุนต่ำและช่วยลดปัญหาการกำจัดของเสีย (Demirbas, 2009) อิฐมอญ (Clay brick) และอิฐมวลเบา (Lightweight concrete brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีโครงสร้างพรุนและมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมต่อการยึดจับโมเลกุลของสีย้อม จึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย (Abdel-Ghani et al., 2007) การนำวัสดุเหล่านี้

มาปรับสภาพ เช่น การเผาที่อุณหภูมิสูงหรือการกระตุ้นด้วยสารเคมี สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะและปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซับได้ (Khalid et al., 2018) ผู้วิจัยจึงใช้วัสดุเหลือใช้ ได้แก่ อิฐมอญและอิฐมวลเบาในรูปแบบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการเผาและกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (NaOH 50% w/w) เป็นวัสดุดูดซับสำหรับการบำบัดสีของน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าในชุมชน ให้ได้แนวทางการบำบัดน้ำเสียอย่างง่าย ต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพเพื่อการบำบัดสีของน้ำเสียสำหรับการยกระดับสู่กระบวนการผลิตสิ่งทอสีเขียวในชุมชนต่อไป

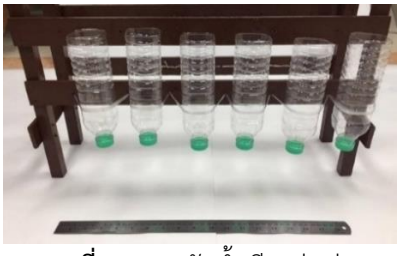
## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทอิฐมอญและอิฐมวลเบาที่กระตุ้นด้วยการเผาและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุดูดซับสำหรับการบำบัดสีน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าฝ้าย

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

ผงสีย้อมสีน้ำเงิน ตราเทพนม อิฐมอญ อิฐมวลเบา กระบอกตวง บีกเกอร์ เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ครก เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ Nabertherm ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert ตะแกรง (Sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.42 มม. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) เครื่องวัดความเค็ม (Salinity meter) โถดูดความชื้น เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum suction machine) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometers) รุ่น U-2900 ยี่ห้อ Hitachi และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (NaOH 50% w/w) ชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายจากวัสดุเหลือใช้ประเภทขวดพลาสติกใส (PET) ดังภาพที่ 1



**ภาพที่ 1** ชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย

3.2 วิธีการวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมน้ำเสียจากการย้อมผ้า ใช้น้ำกลั่นปริมาณ 1,000 มล. ผสมสีย้อมผ้าสีน้ำเงิน ตราเทพนม ปริมาณ 5.00 กรัม คนจนละลาย เติมเกลือ 20.00 กรัม เพื่อทำให้สีไม่ด่างและคงทน จากนั้นคนให้เป็นเนื้อเดียวกันในบีกเกอร์

2. การเตรียมผ้าสำหรับย้อมผ้า ตัดผ้าฝ้าย 100% เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15.0 × 15.0 ซม. แช่น้ำสะอาดเพื่อทำความสะอาดผ้า แล้วตากให้แห้ง

3. การย้อมผ้า นำผ้าจากข้อ 2 ลงย้อมในสารละลายสีย้อมจากข้อ 1 โดยต้มหรือรักษาอุณหภูมิที่ใกล้จุดเดือดเป็นเวลา 60.0 นาที จากนั้นนำผ้าออก และเทน้ำย้อมที่ใช้แล้วลงบีกเกอร์ ตั้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบ

4. การเตรียมวัสดุดูดซับจากอิฐมอญและอิฐมวลเบา บดอิฐมอญและอิฐมวลเบาด้วยครกหิน ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 0.420 มม. จากนั้นจำแนกเป็น 3 กลุ่ม

1) อิฐมวลเบาและอิฐมอญ บดและร่อน (as-Sieved) (Zhao et al., 2025)

2) อิฐมวลเบาและอิฐมอญ บด ร่อนและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 2 ชม. (Bazin et al., 2019; Belibi et al., 2015)

3) อิฐมวลเบาและอิฐมอญ บด ร่อน และกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w เป็นเวลา 24 ชม. และนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชม. (วิรังรอง แสงอรุณเลิศ, 2558)

5. การบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าโดยใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาเป็นวัสดุดูดซับ นำอิฐมวลเบาและอิฐมอญที่เตรียมไว้ในข้อ 4. บรรจุลงในแต่ละคอลัมน์ในชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย โดยบรรจอิฐ 25.0% ของความสูงภายในคอลัมน์ หรือให้แต่ละคอลัมภ์นั้นมีปริมาณอิฐเท่ากันโดยปริมาตร ดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นเติมน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าลงในแต่ละคอลัมน์ 200.0 มล.ต่อคอลัมน์ โดยดำเนินการแบบแบตช์ (Batch process) และคงลำดับการเติมและเงื่อนไขการทดลองเหมือนเดิมในทุกชุดทดสอบ

**ภาพที่ 2** ชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย

6. การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีของน้ำเสียจากย้อมผ้าโดยใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาเป็นวัสดุดูดซับ

6.1 การทดสอบโดยใช้แถบกระดาษสี จัดทำแถบกระดาษสีด้วยโปรแกรม RGB Color Gradient Maker โดยกำหนดสีตั้งต้นเป็น สีน้ำเงินเข้ม (Dark blue) ค่า RGB = 13, 15, 84 (Hex #0D0F54) และสีสิ้นสุดเป็นสีขาว (White) ค่า RGB = 255, 255, 255 (Hex #FFFFFF) ตั้งค่าจำนวนขั้นของเฉดสี (Steps) เท่ากับ 11 เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงของสีสังเกตได้ชัดเจนและพิมพ์เป็นแถบอ้างอิงดังแสดงในภาพที่ 3 จากนั้นนำน้ำเสียก่อนและหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายมาเปรียบเทียบสีของตัวอย่างกับช่องสีบนแถบภายใต้สภาพแสงคงที่ แล้วบันทึกระดับสีที่ใกล้เคียงที่สุดในสเกล 0–10 (0 = ขาว, 10 = น้ำเงินเข้ม) ค่าการลดลงของสีคำนวณเป็น **Δ**ระดับสี = ระดับก่อน − ระดับหลัง และร้อยละการลดลงของระดับความเข้มสี

**ภาพที่ 3** แถบสีสำหรับตรวจวัดระดับสีของน้ำเสีย

6.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometers) เพื่อกำหนดความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สีของน้ำเสียจากการย้อมผ้า ได้เลือกสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วง 350-550 นาโนเมตร จากนั้นกำหนดความยาวคลื่นมาตรฐานจากความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ($\lambda_{max}$) สำหรับการวิจัยนี้พบว่า $\lambda_{max}$ เท่ากับ 550 นาโนเมตร จึงเลือก $\lambda_{max}$ ที่ 550 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นมาตรฐานในการวัดค่าการดูดกลืนแสง (A) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดสี

7. การทดสอบคุณสมบัติของน้ำเสียหลังการดูดซับด้วยอิฐมวลเบาและอิฐมอญ

7.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดค่าของน้ำเสียจากการย้อมผ้าก่อนและหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

7.2 ความเค็ม วัดค่าความเค็มของน้ำเสียจากการย้อมผ้าก่อนและหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียด้วยเครื่องวัดค่าความเค็ม

7.3 การดูดกลืนแสง วิเคราะห์เพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเลือกค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดในการนำไปทดสอบในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ได้เลือกวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจากการย้อมผ้าก่อนและหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 550 nm

7.4 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (B) วางกระดาษกรองลงในกรวยบุชเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ ฉีดน้ำกลั่นบนกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องเครื่องดูดสุญญากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวยบุชเนอร์ ตวงปริมาตรน้ำเสียจากการย้อมผ้า 10.00 มล. เทน้ำตัวอย่างลงในกรวยบุชเนอร์แล้วเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง นำกระดาษกรองที่แห้งแล้วออกมาวางในภาชนะ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก (A)

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{C}$$

A = น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและกระดาษกรอง, กรัม B = น้ำหนักของกระดาษกรอง, กรัม C = ปริมาณน้ำตัวอย่าง, มิลลิลิตร

7.5 ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) อบถ้วยระเหยที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก (B) จากนั้นนำน้ำเสียที่ได้จากการกรองที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณ 5.00 มล. ใส่ในถ้วยระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้งสนิท นำถ้วยระเหยมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและชั่งน้ำหนัก (A)

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{C}$$

A = น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและกระดาษกรอง, กรัม B = น้ำหนักของกระดาษกรอง, กรัม C = ปริมาณน้ำตัวอย่าง, มิลลิลิตร

## 4. ผลการวิจัย

ผลศึกษาการบำบัดสีน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยอิฐมอญและอิฐมวลเบา ซึ่งเตรียมน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายโดยใช้ผงสีย้อมผ้าสีน้ำเงิน เมื่อนำผ้าที่ได้จากการย้อมไปตากจนแห้ง สังเกตลักษณะสีของผ้าจากการย้อมขั้นต้น พบว่าผ้ามีสีใกล้เคียงกับสีผ้าที่จำหน่ายตามท้องตลาด ดังภาพที่ 4 จึงใช้น้ำเสียตัวอย่างดังกล่าว ดังภาพที่ 5 เพื่อศึกษาวิจัยในขั้นตอนต่อไป

**ภาพที่ 4** สีของผ้าฝ้ายที่ได้จากการย้อมสีผ้า

**ภาพที่ 5** น้ำเสียจากการย้อมผ้า

สำหรับชุดดูดซับน้ำเสียในงานวิจัยนี้จัดทำเป็นชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย บรรจุอิฐมอญและอิฐมวลเบาที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังข้อ 1) - 6) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพดังภาพที่ 6

1) อิฐมอญ (Clay brick : C) อิฐมอญบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง อิฐจะมีขนาดเล็กกว่า 0.42 มม.

2) อิฐมวลเบา (Lightweight concrete : L) อิฐมวลเบาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง อิฐมีขนาดเล็กกว่า 0.42 มม.

3) อิฐมอญที่ผ่านการเผา (Fired clay brick : FC) อิฐมอญที่บดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 2 ชม. หลังจากการเผาอิฐมีสีเข้มขึ้นและเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็น สีของอิฐจะอ่อนลงเป็นสีเดิมก่อนการเผา

4) อิฐมวลเบาที่ผ่านการเผา (Fired lightweight concrete : FL) อิฐมอญที่บดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 2 ชม. สีของอิฐไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5) อิฐมอญกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Activated clay brick with sodium hydroxide : AC) อิฐมอญบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง นำไปผ่านสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชม. อิฐจะมีการจับตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม สีเข้มขึ้นเล็กน้อย

6) อิฐมวลเบากระตุ้นด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Activated lightweight concrete with sodium hydroxide : AL) อิฐมวลเบาบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง หลังจากนั้นนำไปแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชม. อิฐจะมีการจับตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม สีเข้มขึ้นเล็กน้อย

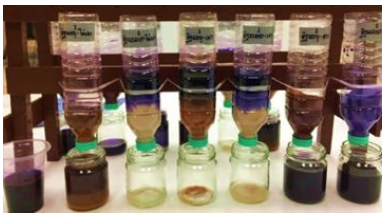
(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 6** ลักษณะอิฐที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

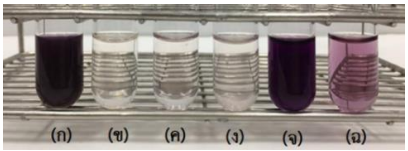
(ก) ลักษณะของอิฐมอญและอิฐมวลเบาบดละเอียด (ข) ลักษณะอิฐมอญและอิฐมวลเบาบดละเอียดและเผา

(ค) ลักษณะอิฐมอญและอิฐมวลเบาบดละเอียดและกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w

บรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ให้มีความสูงชั้นบรรจุเท่ากับ 1 ใน 4 หรือ 25% ของความสูงภายในคอลัมน์ เติมน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้าย 200.0 มล. ลงในคอลัมน์แต่ละชุด ดังภาพที่ 7 จากนั้นปล่อยให้น้ำเสียไหลด้วยแรงโน้มถ่วง บันทึกเวลาที่น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์จนหมด หลังการไหลผ่านตรวจสอบการสูญเสียวัสดุจากชั้นบรรจุโดยการสังเกต กรองเก็บอนุภาคที่ไหลออกมากับน้ำทิ้ง จากนั้นเก็บน้ำทิ้งหลังบำบัดใส่หลอดทดลองเพื่อตรวจวัดสี แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 7 และ 8



**ภาพที่ 7** การไหลของน้ำเสียผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย




**ภาพที่ 8** สีของน้ำเสียหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย

(ก) อิฐมอญ (C) (ข) อิฐมวลเบา (L) (ค) อิฐมอญเผา (FC) (ง) อิฐมวลเบาเผา (FL)
(จ) อิฐมอญกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AC) (ฉ) อิฐมวลเบากระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AL)

เมื่อนำน้ำเสียหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายไปทดสอบคุณสมบัติทางกายของน้ำเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีประเมินจากแถบเทียบระดับสี ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม การดูดกลืนแสง ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด จากนั้นนำผลเปรียบเทียบกับน้ำเสียก่อนผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย ผลการวิจัยแสดงได้ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่าย

| **คุณสมบัติ** / **ประเภท** | **ลักษณะทางกายภาพ** | **ระดับสีที่ลดลง** | **การดูดกลืนแสง** | **pH** | **ความเค็ม (ppt)** | **TSS (มก./ล)** | **TDS (มก./ล)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำเสียจากการย้อมผ้า | | - | 4.22±0.04 | 7.75±0.46 | 12.12±2.22 | 105.00±7.82 | 10,322.00±36.10 |
| อิฐมอญ : C | | 1 ระดับ [9.09%] | 2.43±0.37 [-42.42%] | 6.40±0.99 [-17.42%] | 9.54±0.54 [-21.29%] | 152.50±43.49 [+45.24%] | 9,715.00±184.30 [-5.88%] |
| อิฐมอญเผา : FC | | 10 ระดับ [81.81%] | 1.97±0.46 [-53.32%] | 6.38±0.13 [-17.68%] | 9.50±0.64 [-21.62%] | 227.50±69.46 [+116.67%] | 10,295.00±378.90 [-0.26%] |
| อิฐมอญกระตุ้นด้วย $NaOH_{(aq)}$: AC | | 2 ระดับ [18.18%] | 2.45±1.47 [-41.94%] | 9.16±0.04 [+18.19%] | 74.25±11.66 [+512.62%] | 1,842.50±632.37 [+1,654.76%] | 251,575.00±114,228.16 [+2,337.27%] |
| อิฐมวลเบา : L | | 10 ระดับ [81.81%] | 0.35±0.37 [-91.71%] | 7.51±0.08 [-3.10%] | 10.74±2.28 [-11.39%] | 167.50±53.15 [+59.52%] | 12,490.00±919.78 [+21%] |
| อิฐมวลเบาเผา : FL | | 10 ระดับ [81.81%] | 0.62±0.40 [-85.31%] | 7.48±0.09 [-3.48%] | 11.32±1.90 [-6.60%] | 262.50±34.03 [+150%] | 12,980.00±2,112.63 [+25.75%] |
| อิฐมอญกระตุ้นด้วย $NaOH_{(aq)}$: AL | | 7 ระดับ [63.63%] | 1.86±1.66 [-55.92%] | 9.75±0.05 [+25.81%] | 87.83±5.01 [-624.67%] | 2,517.50±336.19 [+2,297.62%] | 308,305.00±53,557.15 [+2,886.87%] |

**หมายเหตุ** [-] หมายถึง ค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าตั้งต้นจากการวิเคราะห์น้ำเสีย [+] หมายถึง ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าตั้งต้นจากการวิเคราะห์น้ำเสีย

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยอิฐมอญและอิฐมวลเบา วิเคราะห์จากการประยุกต์ใช้แถบระดับสี สร้างจากโปรแกรม RGB Color Gradient Maker ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่าย (Freeware) และใช้ง่าย วัดสีของน้ำเสียเสมือนการใช้การเทียบสีกับแถบกระดาษสี (Colorimetric paper strips) ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้ผลการตรวจวัดที่รวดเร็ว สามารถอ่านค่าได้ด้วยสายตา เพิ่มความสะดวกแม้ในพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง (El-Hassanein et al., 2024) งานวิจัยนี้วิเคราะห์และรายงานผลการบำบัดสีของน้ำเสียจากแถบวัดระดับสีเป็นจำนวนระดับสีที่ลดลง จำนวนระดับสีที่ลดลงมากแสดงว่าบำบัดสีได้ดี เมื่อพิจารณาอิฐแต่ละชนิด ผลการวิจัยพบว่าอิฐมอญบำบัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายได้ โดยอิฐมอญเผา (FC) สามารถลดระดับความเข้มสีได้มากที่สุด คือ 10 ระดับ หรือเทียบจากแถบกระดาษสีระดับ 2 เป็นระดับ 11 หรือ 81.81% สอดคล้องกับงานวิจัยซึ่งระบุว่าอิฐมอญเผาสามารถกำจัดสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทสีน้ำเงินได้ 87% (Kulasooriya et al., 2020) อิฐมอญ (C) และอิฐมอญกระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AC) ลดระดับสีได้ 9.09% และ 18.18% ตามลำดับ สีปรากฏยังคงเป็นสีน้ำเงินใกล้เคียงกับสีตั้งต้นของน้ำเสียจากการย้อมผ้า สำหรับอิฐมวลเบานั้น พบว่า อิฐมวลเบาทุกประเภททั้งไม่ผ่านการเผา (L) อิฐมวลเบาเผา (FL) และอิฐมวลเบากระตุ้นด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w (AL) ดูดซับสีของน้ำเสียได้เช่นกัน สอดคล้องกับผลการวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือใช้ต้นทุนต่ำ ได้แก่ อิฐมวลเบาผ่านการเผาเป็นวัสดุดูดซับกำจัดสีย้อมประจุบวก (Cation) ได้ดีมาก (Gheibi et al., 2022) โดย L ลดระดับสีได้เท่ากับ FL คือ 81.81% และ AL ลดระดับสีได้ 63.63% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการวิจัยของอิฐทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวจากค่าการดูดกลืนแสงซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เฉพาะในกลุ่มตัวอย่างวัสดุดูดซับสีที่ลดสีได้ 81.81% คือ FC, L และ FL ทั้งนี้ L ให้ผลดีที่สุดเมื่อตรวจวัดด้วยค่าการดูดกลืนแสง

อย่างไรก็ตามการบำบัดสีในน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยกระบวนการดูดซับด้วยอิฐมอญและอิฐมวลเบานี้ได้วิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นประกอบด้วย ดังตารางที่ 1 พบว่า การวิจัยเปรียบเทียบวัสดุดูดซับระหว่าง FC, L และ FL นั้น วัสดุดูดซับประเภทอิฐมอญสามารถลดค่า pH ได้มากกว่าอิฐมวลเบา แตกต่างจากผลวิเคราะห์ค่าความเค็มที่ FC, L และ FL ต่างลดความเค็มได้อย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด อนึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิจัย พบว่าการกระตุ้นอิฐด้วยสารละลาย NaOH 50% w/w ส่งผลให้ค่าความเค็มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เป็นผลจากสารละลาย NaOH ทำให้มีโซเดียมไอออน ($Na^+$) และไฮดรอกไซด์ ($OH^-$) ส่วนเกินค้างอยู่ที่ผิวและภายในรูพรุนของวัสดุ เมื่อวัสดุสัมผัสน้ำ ไอออนเหล่านี้ละลายออก (Free alkali leaching) จึงเพิ่มความเข้มข้นของของแข็งละลายรวมและความนำไฟฟ้าทำให้ค่าความเค็มของน้ำเสียเพิ่มตามปริมาณไอออนละลายได้ (McCleskey, 2023) ประเด็นสำคัญอันเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ TSS และ TDS เนื่องจากผลการวิจัยพบว่า น้ำเสียที่ผ่านวัสดุดูดซับต่างมีค่า TSS และ TDS เพิ่มสูงขึ้น โดยอิฐที่ผ่านการเผาจะส่งผลให้ TSS และ TDS สูงกว่า เป็นผลเกี่ยวข้องกับเกลือที่ละลายได้ที่ตกค้างจากวัตถุดิบและกระบวนการเผา เมื่อสัมผัสน้ำเกลือเหล่านี้ชะออก (Efflorescence) ทำให้ TDS สูงขึ้น (Brick Industry Association, 2019) เมื่อวิเคราะห์ผลการศึกษาทั้งหมดดังกล่าวแล้ว กรณีที่ชุมชนต้องการนำชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดสีน้ำเสียจากการย้อมผ้า กรณีต้องการบำบัดสี ควรเลือกใช้อิฐมวลเบาที่ไม่ผ่านการเผา เนื่องจากกำจัดสีได้ดี เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และมีขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ไม่ยุ่งยาก ทั้งนี้ควรวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นประกอบด้วย เนื่องจากการวัสดุดูดซับอาจเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งละลายทั้งหมด พบว่าทั้งอิฐมอญและอิฐมวลเบาที่บรรจุในชุดดูดซับน้ำเสียอย่างง่ายทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากชุดดูดซับที่จัดเตรียมขึ้น ไม่ได้มีชั้นกรองน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อน้ำเสียไหลผ่านอิฐมอญหรืออิฐมวลเบา อิฐดังกล่าวจึงไหลรวมออกมาพร้อมกับน้ำเสียที่ผ่านการกรองด้วย เป็นผลให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น ดังนั้นควรพัฒนาชุดดูดซับอย่างง่ายในประเด็นชั้นกรอง TDS และ TSS เพิ่มเติมร่วมด้วย

**6. เอกสารอ้างอิง**

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). *ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม. ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 133 ตอนพิเศษ 129 ง* (ประกาศ 6 มิถุนายน 2559). https://www.pcd.go.th/laws/4378/

วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 7*(7), 97-110.

Abdel-Ghani, N. T., Hefny, M., & El-Chaghaby, G. A. (2007). Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. *International Journal of Environmental Science & Technology, 4*(1), 67–73.

Bazin, M. M., Ahmad, N., & Nakamura, Y. (2019). Preparation of porous ceramic membranes from Sayong ball clay. *Journal of Asian Ceramic Societies, 7*(4), 417–425. https://doi.org/10.1080/21870764.2019.1658339

Belibi Belibi, P., Nguemtchouin, M. M. G., Rivallin, M., Ndi Nsami, J., Sieliechi, J., Cerneaux, S., Ngassoum, M. B., & Cretin, M. (2015). Microfiltration ceramic membranes from local Cameroonian clay applicable to water treatment. *Ceramics International, 41*(2), 2752–2759. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.090

Brick Industry Association. (2019, June). *Efflorescence – Causes and prevention (Technical Note 23A).* https://www.gobrick.com/media/file/23a-tn23a.pdf

Demirbas, A. (2009). Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials, 167*(1–3), 1–9.

El-Hassanein, A. M., Mansour, F. R., Hammad, S. F., & Abdella, A. A. (2024). Simple colorimetric paper-based test strip for point-of-use quality testing of ethanol-based hand sanitizers. *RSC Advances*, 14, 8188–8194.

Forgacs, E., Cserháti, T., & Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International, 30*(7), 953–971.

Gheibi, M., Eftekhari, M., Tabrizi, M. G., Fathollahi-Fard, A. M., & Tian, G. (2022). Mechanistic evaluation of cationic dyes adsorption onto low-cost calcinated aerated autoclaved concrete wastes. *International Journal of Environmental Science and Technology, 19*, 6429–6444.

Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management, 90*(8), 2313–2342.

Hossain, D., Islam, M. S., & Rahman, M. A. (2024). Brick sand particles as an adsorbent in column chromatography to remove heavy metals from solution. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 59*(1), 47–54.

Khalid, A., Joly, G., Renaud, A., & Magnoux, P. (2018). Removal of dyes from water using activated carbons prepared from agricultural by-products. *Bioresource Technology, 97*(4), 695–702.

Kopperi, H., Hemalatha, M., Kiran, B. R., Santhosh, J., & Venkata Mohan, S. (2023). Sustainable consideration for traditional textile handloom cluster/village in pollution abatement—A case study. *Environmental Pollution, 324*, 121320. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121320

Kulasooriya, T. P. K., Priyantha, N., & Navaratne, A. N. (2020). Removal of textile dyes from industrial effluents using burnt brick pieces: Adsorption isotherms, kinetics and desorption. *SN Applied Sciences*, 2(1789). https://doi.org/10.1007/s42452-020-03747-4

Liou, T.-H., Wang, P.-Y., & Liou, Y.-H. (2016). An effective method to enhance adsorption capacity and mesoporosity of activated carbon by pre-pyrolysis and chemical activation procedures. *BioResources, 11*(3), 6110–6124.

McCleskey, R. B., Cravotta, C. A., III, Miller, M. P., Tillman, F. D., Stackelberg, P. E., Knierim, K. J., & Wise, D. R. (2023). Salinity and total dissolved solids measurements for natural waters: An overview and a new salinity method based on specific conductance and water type. *Applied Geochemistry, 151*, 105684.

Srinivasan, A., & Viraraghavan, T. (2010). Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: A review. *Journal of Environmental Management, 91*(10), 1915–1929.

Suwanprasert, T., Yaisomboon, W., Phommakaysone, K., Thongtow, P., Phanthukang, T., & Ketoukham, L. (2024). The study of environmental impact from fabric dyeing process in Lahanam area, Songkhone district, Lao PDR. *Creative Science, 16*(2), Article 254997. https://doi.org/10.55674/cs.v16i2.254997

Yaseen, D. A., & Scholz, M. (2019). Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: A critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology, 16*(2), 1193–1226.

Zhao, Y., Luo, H., Han, R., Tao, S., Liu, M, Tang, M., Xing, J., Chen, L., & He, B.-J. (2025). La/Fe-bimetallic-modified red brick powder for phosphate removal from wastewater: Characterization, adsorption, and mechanism. *Materials, 18*(6), 1326. https://doi.org/10.3390/ma1806132

# กลุ่มบทความที่ 2
# คณิตศาสตร์ สถิติ วิทยาการข้อมูล และการสอนคณิตศาสตร์

# การออกแบบคลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

# Designing Online Video Clips to Encourage Learning Mathematics for Lower Secondary School Students

**วรัชยา ย่องใย[1], เขมพัทธ์ พัชรวิชญ์[2]**

**Waratchaya Yongyai[1], Khemmapat Patcharawit[2]**

[1]หลักสูตรปริญญาศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการออกแบบสื่อดิจิทัลและการภาพยนตร์ คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

[1]Master of Fine and Applied Arts Program (Digital Media Design and Motion Pictures) Faculty of Architecture, Arts and Design King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 66026059@kmitl.ac.th*

[2]ภาควิชานิเทศศิลป์ คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2]Digital Media Design and Motion Pictures Faculty of Architecture, Arts and Design King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang khemmapat.pa@kmitl.ac.th

**บทคัดย่อ**

วิชาคณิตศาสตร์เป็นวิชาที่ค่อนข้างยากและมีความซับซ้อน จากผลคะแนนทดสอบระดับชาติพบว่าวิชาคณิตศาสตร์มีระดับคะแนนค่อนข้างต่ำ สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบเดิมอาจไม่เพียงพอหรือสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนเล็งเห็นถึงความสำคัญของการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังขาดสื่อในการจัดการเรียนรู้ในวิชาคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจึงต้องการหาแนวทางการสร้างสื่อการเรียนรู้ประเภทคลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ เนื่องจากในปัจจุบัน ผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สามารถเข้าถึงสื่อออนไลน์ได้ง่าย และสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่และทุกเวลา โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาข้อมูลนำไปสู่การเขียนบทคลิปวิดีโอเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น 2) เพื่อสร้างสรรค์คลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ ที่มีเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์สำหรับผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น 3) เพื่อประเมินผลการเรียนรู้ ก่อนและหลังการใช้คลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ วิชาคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และสร้างเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ให้แก่ผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น การศึกษาคลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์นี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ซึ่งเริ่มต้นจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วนำไปออกแบบเนื้อหาและสร้างสตอรี่บอร์ด เพื่อนำไปสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเชิงลึกจำนวน 3 ด้าน หลังจากนั้นได้นำข้อมูลไปปรับปรุงสู่กระบวนการทางภาพยนตร์ และประเมินผลด้วยแบบทดสอบก่อนดูคลิปวิดีโอและหลังดูคลิปวิดีโอจากผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาจำนวน 30 คน โดยวิธีการเก็บข้อมูลแบบ E1/E2 ใช้เกณฑ์ 80/80 และแบบสอบถามความพึงพอใจจากการดูคลิปวิดีโอในสื่อออนไลน์ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ สรุป และอภิปรายผล ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

**คำสำคัญ:** สื่อออนไลน์ คลิปวิดีโอ คณิตศาสตร์ในชีวิตประจำวัน ผู้เรียน

**Abstract**

Mathematics is often considered a challenging and complex subject. National test results have consistently shown relatively low scores in mathematics, reflecting that traditional instructional methods may be insufficient to engage students or foster an appreciation of its importance. Furthermore, there is a lack of effective learning media for mathematics instruction. This study aims to explore and develop online video clips as instructional media for lower secondary school mathematics, given that students in this level can easily access online platforms and learn anytime, anywhere. The objectives are: (1) to gather information for scriptwriting of lower secondary mathematics video content, (2) to create mathematics video clips for online platforms targeting lower secondary students, and (3) to evaluate students' learning outcomes before and after using the video clips, as well as to foster positive attitudes toward mathematics. This research adopts an action research approach, starting with a review and analysis of related studies, followed by designing content and creating storyboards, which were then validated through in-depth interviews with three experts in relevant fields. The refined content was produced following filmmaking processes and subsequently evaluated through pre-test and post-test assessments with 30 lower secondary students, using the E1/E2 method with a criterion of 80/80. Additionally, a satisfaction questionnaire regarding the online video clips was administered. The collected data were analyzed, summarized, and discussed in alignment with the research objectives.

**Keywords:** Online media, Video clip, Mathematics in daily life, Learner

# ลักษณะเฉพาะของความปกติในกึ่งกรุปของการแปลงบางส่วนที่รักษาอันดับและการหดตัวซึ่งตรึงค่าบนเซตย่อย

# Characterizations of Regularities in Semigroups of Order and Contracting Preserving Partial Transformation Fixing a Subset

**เนติภูมิ กสิวัฒนาวุฒิ[1]***

**Netiphum Kasiwattanawut[1]***

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[1]Division of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University,

natiphumkasiwat@gmail.com

**บทคัดย่อ**

ให้ $X_n = \{1, 2, 3, \ldots, n\}$ กำหนดให้

$PT_n = \{\alpha : A \to X_n : A \subseteq X_n\}$
$PO_n = \{\alpha \in PT_n : (\forall x, y \in dom\,\alpha),\ x \leq y \Rightarrow x\alpha \leq y\alpha\}$
$CPO_n = \{\alpha \in PO_n : (\forall x, y \in dom\,\alpha),\ |x\alpha - y\alpha| \leq |x - y|\}$ และ
$Fix_D(CPO_n) = \{\alpha \in CPO_n : d\alpha = d,\ \forall d \in D\}$

ในงานวิจัยฉบับนี้จะเรียก $Fix_D(CPO_n)$ ว่ากึ่งกรุปของการแปลงบางส่วนที่รักษาอันดับและการหดตัวซึ่งตรึงค่าบนเซตย่อย คณะผู้วิจัยศึกษาแนวคิดของความปกติสมาชิกใน $Fix_D(CPO_n)$ ทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ ความปกติ ปกติซ้าย ปกติขวา และปกติบริบูรณ์ เพื่อหาเงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอในการตรวจสอบสมาชิกของ $Fix_D(CPO_n)$ ที่เป็นปกติ ปกติซ้าย ปกติขวา และปกติบริบูรณ์

**คำสำคัญ :** ปกติ ปกติซ้าย ปกติขวา ปกติบริบูรณ์

**Abstract**

Let $X_n = \{1, 2, 3, \ldots, n\}$ and let

$PT_n = \{\alpha : A \to X_n : A \subseteq X_n\}$,
$PO_n = \{\alpha \in PT_n : (\forall x, y \in dom\,\alpha),\ x \leq y \Rightarrow x\alpha \leq y\alpha\}$,
$CPO_n = \{\alpha \in PO_n : (\forall x, y \in dom\,\alpha),\ |x\alpha - y\alpha| \leq |x - y|\}$, and
$Fix_D(CPO_n) = \{\alpha \in CPO_n : d\alpha = d,\ \forall d \in D\}$.

In this research, $Fix_D(CPO_n)$ is referred to as the semigroup of partial order-preserving and contraction mappings that fix a subset. The researchers study four types of regularity of elements in $Fix_D(CPO_n)$: regular, left regular, right regular, and completely regularity. The objective is to determine the necessary and sufficient

conditions for identifying elements of $Fix_D(CPO_n)$ that are regular, left regular, right regular, and completely regular.

**Keywords:** regular, left regular, right regular, completely regular.

# การทำนายการเข้าพักหอพักมหาวิทยาลัยของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ด้วยเทคนิค Ensemble learning

# Forecasting the Dormitory Occupancy of Nakhon Sawan Rajabhat University Students Using Ensemble Learning Techniques

**กนกวรรณ เรืองโพล้ง[1], ภัทราพร ทวีบุญ[2]***

**Kanokwan Ruengphong[1], Pattaraporn Taweeboon[2]***

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[1]Division of mathematics and statistics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, kanokwan.rue@nsru.ac.th

[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[2]Division of mathematics and statistics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, pattaraporn.ta@nsru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบทำนายการเข้าพักหอพักมหาวิทยาลัยของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน 4 วิธี ได้แก่ ตัวแบบ Decision Tree (DT) ตัวแบบ Random Forest(RF) ตัวแบบ Gradient Boosting (GB) และตัวแบบ XGBoost (XG) โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 366 คน ซึ่งได้จากการเลือกตัวอย่างแบบชั้นภูมิ แบบสอบถามประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1. ข้อมูลส่วนตัวของนักศึกษา (จำนวน 10 ข้อ) ประกอบด้วย เพศ ชั้นปี คณะ จังหวัด อำเภอ อาชีพของผู้ปกครอง รายได้ของผู้ปกครอง รายรับของนักศึกษา การตัดสินใจเลือกหอพัก การพักหอพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 2. ปัจจัยในการเลือกพักหอพัก มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ด้านหอพัก (จำนวน 6 ข้อ) ด้านราคา (จำนวน 5 ข้อ) และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (จำนวน 5 ข้อ) ก่อนการสร้างตัวแบบจะทำความสะอาดข้อมูล แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปสร้างตัวแบบได้ และกำหนดคุณลักษณะ (Attribute) ที่จะใช้สร้างตัวแบบ ในงานวิจัยนี้มีคุณลักษณะทั้งหมด 26 ตัว และผลลัพธ์ของตัวแบบ คือ การเข้าพักหอพักของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จำแนกเป็น 2 คลาส ได้แก่ เข้าพักหอพัก และไม่เข้าพักหอพัก หลังจากสร้างตัวแบบแล้วจะทำการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายผลลัพธ์ของตัวแบบ ด้วยค่าความแม่นยำ 4 ค่า ได้แก่ ค่า Accuracy ค่า Precision ค่า Recall และค่า F1-Score ผลการวิจัยพบว่าความแม่นยำในการทำนายผลลัพธ์ของตัวแบบทั้ง 4 วิธี มีค่าความแม่นยำไม่น้อยกว่า 85% โดยตัวแบบ Random Forest (RF) เป็นตัวแบบการทำนายที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่า Accuracy 96.49% ค่า Precision 97% ค่า Recall 96% และค่า F1-Score 96% นอกจากนี้ยังพบว่าการสร้างตัวแบบการทำนายด้วยเทคนิค Ensemble learning แบบ Bagging ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายสูงกว่าแบบ Boosting

**คำสำคัญ:** การทำนาย การเข้าพักหอพัก เทคนิค Ensemble learning

**Abstract**

This research aims to develop a predictive model for university dormitory occupancy among students of Nakhon Sawan Rajabhat University. Four supervised machine learning techniques were applied, Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Gradient Boosting (GB), and XGBoost (XG). A questionnaire was employed as the data collection instrument, administered to a sample of 366 students selected through stratified sampling. The questionnaire consisted of two parts: (1) students' personal information (10 questions) including sex, year, faculty of study, province, district, parental, Parental income Student income, Deciding on a dormitory Staying at the dormitory of Nakhon Sawan Rajabhat University (2) Factors in choosing a dormitory to stay in 3 factors: dormitory (6 questions) Price (5 questions) and facilities (5 questions) Before modeling, the data is cleaned, transformed into a format that can be used to create models, and the attributes to be used to build the model are defined. In this research, there are 26 attributes and the model's output is dormitory occupancy at Nakhon Sawan Rajabhat University which is divided into two classes: dormitory occupancy and non-dormitory occupancy. After creating the model, its predictive performance is evaluated using four accuracy values: Accuracy, Precision, Recall, and F1-Score values. The research results showed that the predictive accuracy of all four models was at least 85%. The Random Forest (RF) model was the best predictive model, with an accuracy of 96.49%, a precision of 97%, a recall of 96%, and an F1-score of 96%. It was also found that creating prediction models using the ensemble learning technique (Bagging) yielded higher prediction accuracy than the Boosting method.

**Keywords:** Prediction, Dormitory stay, Ensemble learning techniques

# การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการพิสูจน์ เรื่อง เส้นขนาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI

# The Development of Learning Achievement and Proof Abilities in Parallel Lines Topics of Mathayomsuksa II Students by Using Team Assisted Individualization (TAI)

**ดุษฎี สมใจหวัง[1]***

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[1]Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University, dsd_sjw@kru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีทักษะการพิสูจน์และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI ตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 25 คน ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี โดยสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เส้นขนาน จำนวน 4 แผนการเรียนรู้ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องเส้นขนาน โดยเป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก (10 ข้อ) ระดับความยากง่ายของข้อสอบ 0.20-0.65 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ที่ 0.25-0.88 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบ t – test ผลการศึกษาพบว่าการสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI มีประสิทธิภาพ 90.25/80.40 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 70/70 และหลังจากจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI ผลพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เส้นขนาน สูงกว่าก่อนใช้การสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**คำสำคัญ:** ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เส้นขนาน กิจกรรมการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI

**Abstract**

The purposes of this study were to develop of learning achievement and proof abilities in parallel lines topics of Mathayomsuksa 2 students by using team assisted Individualization (TAI) at the standard criteria of 70/70. Samples were 25 Mathayomsuka 2 students studying in the second semester of academic year 2023 at Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University. Samples were obtained by simple sampling. The instruments used in this study were Learning management plan topics parallel lines, 4 plans and test of learning achievement on parallel lines by 4-multiple choice examinations (10 questions) with 0.20-0.65 difficulty degree and 0.25-0.88 discrimination. The data were analyzed by percentage, average, standard deviation and paired

sample t-test. The results indicated that the efficiency of skill exercises on multiplication was 90.25/80.40, which was in the standard criteria at 70/70. The students' mathematics learning achievement after using skill exercises was significantly higher than that before using skill exercises at significant level 0.05.

**Keywords:** Learning Achievement, Parallel Lines, Team Assisted Individualization (TAI)

# การพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณรายเดือนด้วยตัวแบบอารีมา

# Forecasting the Monthly Jewelry Gold Prices with ARIMA Model

**มนิต พลหลา[1]*, วิวิภัชกร กาญจนาภรณ์[2], พรพิมล สมหมาย[3], ณิชกุล ผิวเหมาะ[4]**

**Manit Pollar[1]*, Wipatchakorn Kanjanaporn[2], Phornphimon Sommai[3], Nitchakhul Phiomao[4]**

[1]สาขาวิชาวิทยาการการวิเคราะห์ข้อมูลและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[1]Program in Data Analysis Science and Digital Technology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, manit_pol@nstru.ac.th

[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[2]Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 6511427009@nstru.ac.th

[3]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[3]Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 6511427007@nstru.ac.th

[4]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[4]Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 6511427002@nstru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตัวแบบอารีมาที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณรายเดือน เก็บรวบรวมข้อมูลราคาทองคำรูปพรรณรายเดือนจากสมาคมทองคำแห่งประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-มิถุนายน 2567 แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2556-ธันวาคม 2566 จำนวน 132 เดือน ใช้สำหรับสร้างตัวแบบ ชุดที่ 2 ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน 2567 จำนวน 6 เดือน เป็นข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบ พบว่าตัวแบบ ARIMA(0,1,1) และ ARIMA(1,1,1) เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ โดยมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เท่ากับ 8.84 และ 8.95 ตามลำดับ โดยตัวแบบ ARIMA(0,1,1) มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณมากกว่าตัวแบบ ARIMA(1,1,1) ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ ARIMA(0,1,1) และตัวแบบ ARIMA(1,1,1) เหมาะสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้นและความแม่นยำจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** การพยากรณ์ ราคาทองคำรูปพรรณ ตัวแบบอารีมา

**Abstract**

The aim of this study was to find a suitable model for forecast monthly jewelry gold prices using ARIMA model. The data gathered from the Gold Traders Association of Thailand, collected from January 2013 to June 2024.

The data was divided into two sets: the first set (January 2013 - December 2023, 132 months) for model building, and the second set (January 2024 - June 2024, 6 months) for comparing model accuracy. The results showed that ARIMA(0,1,1) and ARIMA(1,1,1) were suitable for forecasting. Comparing the forecasting performance of these two models using Root Mean Square Error (RMSE), the ARIMA(0,1,1) model was found to be more appropriate for forecasting monthly jewelry gold prices, with a MAPE of 8.84 compared to 8.95 for ARIMA(1,1,1). The study suggests that both ARIMA(0,1,1) and ARIMA(1,1,1) models are suitable for short-term forecasting, with accuracy decreasing as the forecasting period extends.

**Keywords:** Forecasting, Monthly Jewelry Gold Prices, ARIMA Model

# กลุ่มบทความที่ 3
# วิทยาศาสตร์สุขภาพ อาหาร และสิ่งแวดล้อม

# ผลของการออกกำลังกายแบบสภาพแวดล้อมเสมือนจริงต่อสมรรถภาพหายใจในผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย

# Effect of Virtual Reality Exercise on Respiratory Performance in Older Adults with Sarcopenia

**กรอนงค์ ยืนยงชัยวัฒน์[1]*, ชนากานต์ จิตจำนงชัย[2], ณัฐสินี เสริมสินสายทอง[3]**

**Kornanong Yuenyongchaiwat[1]*, Chanakan Chitjamnongchai[2], Natsinee Sermsinsaithong[3]**

[1]ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[1]Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University, kornanong.y@allied.tu.ac.th

[2]ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2]Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

[3]ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3]Department of Physical Therapy, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

**บทคัดย่อ**

วัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริง ด้วยการออกกำลังกายแอโรบิกร่วมกับการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านต่อสมรรถภาพการหายใจในผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อยในชุมชน จังหวัดปทุมธานี ผู้สูงอายุจำนวน 53 คน ที่ได้รับการวินิจฉัยว่ามีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อยโดยใช้เกณฑ์การวินิจฉัยของ Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) เวอร์ชัน 2019 ผู้สูงอายุถูกแบ่งออกเป็น กลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริง (n=22) และกลุ่มควบคุม (n=23) อาสาสมัครถูกทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย ด้วยการจับฉลาก ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกันยายน 2567-เมษายน 2568 อาสาสมัครในกลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริง ทำการออกกำลังกาย 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ อาสาสมัครทุกรายจะได้รับการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจ (โดยใช้อุปกรณ์ respiratory pressure meter) ก่อน และหลังการโปรแกรมเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่มด้วยสถิติ two-way mixed repeated ANOVA ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS รุ่น 24.0 กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.05$ การศึกษาพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพหายใจ โดยมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการออกกำลังกายในกลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริง โดยพบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้าเพิ่มขึ้นก่อนการฝึกจาก 45.27±21.06 เซนติเมตรน้ำ เป็น 58.23±20.21 เซนติเมตรน้ำ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก เพิ่มขึ้นจาก 44.31±15.93 เซนติเมตรน้ำ เป็น 58.04±19.81 เซนติเมตรน้ำ ในขณะที่กลุ่มควบคุมพบการลดลงของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (-3.93 ± 1.69 เซนติเมตรน้ำ, $p =0.024$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่ากลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริงมีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจออก ($F(1,51)=10.446$, $p=.002$) ดังนั้นการออกกำลังกายด้วยโปรแกรมเสมือนจริงด้วยการออกกำลังกายแอโรบิกร่วมกับการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สามารถเพิ่มสมรรถภาพหายใจในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อยได้

**คำสำคัญ:** ออกกำลังกายเสมือนจริง สมรรถภาพหายใจ ผู้สูงอายุ ภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย

**Abstract**

This study aimed to investigate the effects of combining virtual reality aerobic exercise with resistance exercise on respiratory performance in community-dwelling older adults with sarcopenia in Pathum Thani province. Fifty-three older adults community who had a diagnosis of sarcopenia according to the Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) 2019 were divided into home-based virtual reality (n=22) and control groups (n=23). All participants were allocated using simple random sampling through a lottery method. The data was collected from September 2024 to April 2025. Participants in the virtual reality group were required to perform three times per week for 12 weeks. All participants were required to undergo a respiratory muscle strength test (measured by a respiratory pressure meter) before and after the 12-week intervention. To compare between and within groups, a two-way mixed repeated ANOVA was performed with SPSS program version 24.0, p-value was set at less than 0.05. The results found that the virtual reality exercise group showed a significant pre-post intervention program. The virtual reality exercise group showed significant improvement in maximal inspiratory pressure from 45.27±21.06 cmH2O to 58.23±20.21 cmH2O and maximal expiratory pressure from 44.31±15.93 cmH2O to 58.04±19.81 cmH2O. In contrast, the control group showed a statistically significant reduction in maximal expiratory pressure (-3.93 ± 1.69 cmH2O, p =0.024). Compared to the control group, the virtual reality group displayed an increase in maximal expiratory pressure ($F(1,51) = 10.446$, $p=0.002$). Therefore, the virtual reality program is an alternative exercise modality for older adults with sarcopenia that improves their respiratory performance.

**Keywords:** Virtual reality exercise, Respiratory performance, Older adults, Sarcopenia

# ผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะความแห้งแล้งพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

# Land Use Changes impacts on Drought Characteristics in Upper Pasak Sub-basin

**อรัญญา บุนนาค[1]*, ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ[2], ปิยพงษ์ ทองดีนอก[3]**

**Aranya Boonnak[1]*, Yutthaphong Kheereemangkla [2], Piyapong Tongdeenok [3]**

[1]บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[1]Graduate School in Forest Resource and Environmental Administration, Kasetsart University, aranyaboonnak@gmail.com

[2]ภาคอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, fforypk@ku.ac.th, yutthaphong.k@ku.th

[3]ภาคอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3]Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, fforppt@ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน วิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง ได้แก่ ดัชนีปริมาณน้ำท่า (Streamflow Drought Index; SDI) ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index: SPI) และดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; SPEI) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอิทธิพลต่อสภาพความแห้งแล้งบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด จากปี พ.ศ. 2543–2562 ถึง 143,696.42 ไร่ และพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ลดลงจากปี พ.ศ. 2543–2562 ถึง 164,744 ไร่ และผลการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง พบว่า ดัชนีปริมาณน้ำท่า (SDI) สถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33) และสถานีบ้านโนนทอง (S.36) มีค่า (SDI-12) ต่ำที่สุดเท่ากับ -1.71 และ-1.79 ซึ่งอยู่ในระดับความแห้งแล้งมากเช่นกัน ส่วนดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) พบว่า ค่า (SPI -6) ต่ำที่สุดเท่ากับ -1.54 ซึ่งพื้นที่มีความแห้งแล้งรุนแรง และดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) พบว่า ค่า (SPEI-1) มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ -2.25 อยู่ในระดับความแห้งแล้งรุนแรงมาก และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทกับดัชนีความแห้งแล้งพบว่า พื้นที่เกษตรกรรมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าดัชนีความแห้งแล้ง (r ≈ -0.96 ถึง -1.00) ในขณะที่พื้นที่ป่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกสูง (r ≈ +0.95 ถึง +1.00) การจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนจึงควรเน้นการเพิ่มพื้นที่ป่าและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างสมดุลเพื่อบรรเทาความรุนแรงของภัยแล้งในอนาคต

**คำสำคัญ:** ความแห้งแล้ง ดัชนีปริมาณน้ำท่า ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน ดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

**Abstract**

This study aimed to investigate land use changes and analyze drought indices, including the Streamflow Drought Index (SDI), Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI),

using specialized software. Additionally, it examined the impact of land use changes on drought conditions in Upper Pasak Sub-basin. The results revealed a significant trend of land use change in the region, particularly the increase in agricultural land, which grew by 143,696.42 rai from 2000 to 2019. In contrast, forested areas decreased by 164,744 rai during the same period. The drought index analysis showed that the SDI (12-month scale) for the Ban Tha Huai Yang station (S.33) reached its lowest value at -1.71, indicating severe drought conditions, while the Ban Non Thong station (S.36) had an SDI value of -1.79, also reflecting severe drought. The SPI (6-month scale) recorded its lowest value of -1.54, signifying a severe drought condition in the area. Moreover, the SPEI (1-month scale) had a minimum value of -2.25, indicating extreme drought conditions. The correlation analysis between land use types and drought indices revealed a strong negative correlation between agricultural land and drought indices ($r \approx -0.96$ to $-1.00$), while forested areas showed a strong positive correlation ($r \approx +0.95$ to $+1.00$). Therefore, it is crucial to prioritize increasing forest areas and promote balanced land use management in Upper Pasak Sub-basin to mitigate future drought severity.

**Keywords:** Drought Streamflow Drought Index (SDI) Standardized Precipitation Index (SPI) Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Land Use Change

**1. บทนำ**

ภัยแล้งเป็นภัยธรรมชาติที่ส่งผลกระทบอย่างมากในประเทศไทย ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความเสียหายหลายด้าน ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม อุทกวิทยา ทางด้านเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก ซึ่งลักษณะการเกิดภัยแล้งสามารถเกิดได้หลายรูปแบบ (Wilhite and Glantz, 1985) ได้แก่ (1) ภัยแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา (Meteorological drought) เกิดจากฝนทิ้งช่วงหรือมีปริมาณฝนตกน้อยกว่าระดับที่กำหนด เป็นจุดกำเนิดของปัญหาภัยแล้งประเภทอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมาเป็นลำดับ (2) ภัยแล้งเชิงเกษตรกรรม (Agricultural drought) เป็นภัยแล้งที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากภัยแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเกิดจากภาวะฝนทิ้งช่วง ส่งผลให้ดินขาดความชุ่มชื้น จึงส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความต้องการน้ำของพืชที่แตกต่างกัน (3) ภัยแล้งเชิงอุทกวิทยา (Hydrological drought) เป็นภัยแล้งที่เกิดจากช่วงฤดูกาลที่ขาดน้ำฝนเป็นเวลานาน ส่งผลให้ระดับน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินลดลง และ (4) ภัยแล้งเชิงสังคมและเศรษฐกิจ (Socio - economic drought) เป็นภัยแล้งที่เกิดจากการสูญเสียผลผลิตอาหาร และทรัพยากรอื่น ๆ ที่เกิดจากสภาวะการขาดแคลนน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจและสังคม โดยเป็นผลกระทบต่อเนื่องมาจากภัยแล้งประเภทอื่น ๆ ส่วนใหญ่เป็นภัยแล้งที่เกิดจากการขาดฝน และภาวะฝนทิ้งช่วงส่งผลกระทบต่อกิจกรรมด้านต่าง ๆ ของประชากร ภัยแล้งจึงเป็นภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ ทรัพยากรป่าไม้ การประมง การเกษตร รวมทั้งผลกระทบทางด้านสังคม ด้านสุขภาพอนามัย และความขัดแย้งในการใช้น้ำที่มีไม่เพียงพอต่อการใช้งานของประชากรที่อยู่ในพื้นที่ โดยความรุนแรงที่เกิดขึ้นของภัยแล้งนั้นมีระดับที่แตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดินของในแต่ละพื้นที่

การศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งลุ่มน้ำหลักที่จะไหลมารวมกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Institute of Water Resources and Agricultural Information (Public Organization), 2012) ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนมีพื้นที่ 1,531.95 ตารางกิโลเมตร หรือ 957,471 ไร่ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของ 2 จังหวัด ได้แก่ อำเภอหล่มเก่า อำเภอน้ำหนาว และ

อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ และอำเภอด่านซ้าย อำเภอภูเรือ และอำเภอภูหลวง จังหวัดเลย พื้นที่ลุ่มน้ำมีความลาดชันสูง ทำให้ในฤดูฝนมีกระแสน้ำจะไหลจากด้านบนลงมาอย่างรวดเร็ว สร้างความเสียหายให้กับทรัพย์สินของประชากร

การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกดัชนีหลักที่ส่งผลต่อการเกิดภัยแล้ง ได้แก่ ดัชนีปริมาณน้ำท่า (Streamflow Drought Index; SDI) ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถบ่งชี้ถึงความแห้งแล้งเทางอุทกวิทยา, ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index: SPI) ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถบ่งชี้ถึงความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา และดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; SPEI) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดสำหรับการแบ่งระดับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณการคายระเหย ซึ่งมีพื้นฐานมาจากดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) และใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะจากพื้นที่ป่าที่อาจเปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์พื้นที่ประเภทอื่น ๆ บริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบน การวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอิทธิพลต่อสภาพความแห้งแล้งบริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ในการประกอบการพิจารณา เพื่อหาแนวทางการจัดการแก้ไข และการวางแผนการปฏิบัติงานปัญหาภัยแล้งบริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และดัชนีความแห้งแล้งบริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอิทธิพลต่อสภาพความแห้งแล้ง บริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูล

3.1.1 รวบรวมข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง โดยรวบรวมปริมาณน้ำฝนรายเดือน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายเดือน ข้อมูลอุณภูมิเฉลี่ยรายเดือน (สถาบันทรัพยากรน้ำและสารสนเทศการเกษตร (องค์การมหาชน), 2555) รวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งประกอบด้วยสถานีตรวจวัดอากาศภาคพื้นดิน คือ สถานีอุตุนิยมวิทยาหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2543–2563 เป็นข้อมูลย้อนหลัง 20 ปี เป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการหาดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) และดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากกรมชลประทาน คือ สถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33) อำเภอหล่มเก่า และสถานีบ้านโนนทอง (S.36) อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นข้อมูลย้อนหลัง 20 ปี สำหรับใช้ในการหาดัชนีปริมาณน้ำท่า (Streamflow Drought Index; SDI)

3.1.2 รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Development Department, 2021) ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินโดยรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562 และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท โดยประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประมวลผลข้อมูล

3.2.2 วิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง

- ดัชนีปริมาณน้ำท่า (Streamflow Drought Index; SDI) เป็นดัชนีความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา โดยพิจารณาค่าปริมาณการไหลของน้ำท่า (Stream Flow) ของแต่ละสถานี เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำท่า ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยนำข้อมูลปริมาณน้ำท่าของทั้ง 2 สถานี เพื่อคำนวณหาดัชนีรอบรายเดือน มีสูตรตามสมการที่ 1 และเกณฑ์การพิจารณาแสดงในตารางที่ 1 (Tulay and Halit, 2020)

$$V_{i,k} = \sum_{j-1}^{k} Q_{i,j} \quad (1)$$

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{S_k}$$

เมื่อ $V_{i,k}$ = ปริมาณน้ำท่าสะสมที่ช่วงเวลา k ปี i

$Q^{i,k}$ = ปริมาณการไหลของน้ำท่า

$SDI^{i,k}$ = ค่าดัชนีปริมาณน้ำท่าที่ช่วงเวลา k ปี i

$V_k$ = ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของช่วงเวลา k

$S_k$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่า สะสมของเวลา k

i = ปี

j = เดือน

k = คาบ

**ตารางที่ 1** การจำแนกระดับความแห้งแล้ง ดัชนีปริมาณน้ำท่า (Streamflow Drought Index; SDI)

| ค่าดัชนี SDI | ความหมาย |
|---|---|
| SDI ≥ 0.00 | ไม่แห้งแล้ง |
| -1.0 ≤ SDI < 0.00 | แห้งแล้งเล็กน้อย |
| -1.5 ≤ SDI < -1.00 | แห้งแล้งปานกลาง |
| -1.5 ≤ SDI < -2.00 | แห้งแล้งมาก |
| SDI < -2.00 | แห้งแล้งรุนแรง |

ที่มา : Tulay and Halit (2020)

- ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index; SPI) เป็นดัชนีที่สะท้อนถึงความแห้งแล้งจากการขาดฝนที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งในแต่ละช่วงเวลาที่ต่างไปจากค่าปกติ (ค่าเฉลี่ย) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ณ สถานีและช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Mckee et al., 1993) โดยค่า SPI คำนวณได้ดังสมการที่ 2 และมีเกณฑ์การพิจารณาแสดงไว้ในตารางที่ 2

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (2)$$

เมื่อ $X_{ij}$ = ผลการตรวจวัดปริมาณฝนเฉลี่ยเดือนที่สถานี i ณ เดือน j (มิลลิเมตร)

$X_{im}$ = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนช่วงปีที่ศึกษาของทุกสถานี (มิลลิเมตร)

$\sigma$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ตารางที่ 2** การแบ่งระดับความแห้งแล้งโดยดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI)

| SPI | ระดับความแห้งแล้ง |
|---|---|
| < -2.0 | พื้นที่มีความแห้งแล้งรุนแรงมาก |
| (-2.0) – (-1.5) | พื้นที่มีความแห้งแล้งรุนแรง |
| (-1.5) – (-1.0) | พื้นที่มีความแห้งแล้งค่อนข้างรุนแรง |
| (-1.0) – 0.0 | พื้นที่มีความแห้งแล้งเบาบาง |
| > 0.0 | พื้นที่มีไม่เกิดความแห้งแล้ง |

ที่มา : Mckee et al. (1993)

- ดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; SPEI) (Thai Meteorological Department, 2018) เป็นตัวชี้วัดสำหรับการแบ่งระดับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนและปริมาณการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) การคำนวนดังสมการที่ 3 และมีเกณฑ์การพิจารณาแสดงไว้ในตารางที่ 3 (Sergio M. Vicente-Serrano et al., 2010)

$$D = P - PET \quad (3)$$

$D_i$ = ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำฝน - การคายระเหย เดือนที่ i

$P_i$ = ปริมาณน้ำฝนเดือนที่ i

$PET_i$ = ศักย์การคายระเหยเดือนที่ i

**ตารางที่ 3** การจำแนกระดับความแห้งแล้ง ดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; SPEI)

| ค่า SPEI | ความหมาย |
|---|---|
| SPEI ≥ 2 | น้ำท่วมรุนแรงมาก |
| 1.5 ≤ SPEI < 2 | น้ำท่วมรุนแรง |
| 1 ≤ SPEI < 1.5 | น้ำท่วมปานกลาง |
| 0.5 < SPEI < 1 | น้ำท่วมเล็กน้อย |
| -0.5 ≤ SPEI ≤ 0.5 | ปกติ |
| -1 < SPEI < -0.5 | แห้งแล้งเล็กน้อย |
| -1.5 < SPEI ≤ -1 | แห้งแล้งปานกลาง |
| -2 < SPEI ≤ -1.5 | แห้งแล้งรุนแรง |
| SPEI ≤-2 | แห้งแล้งรุนแรงมาก |

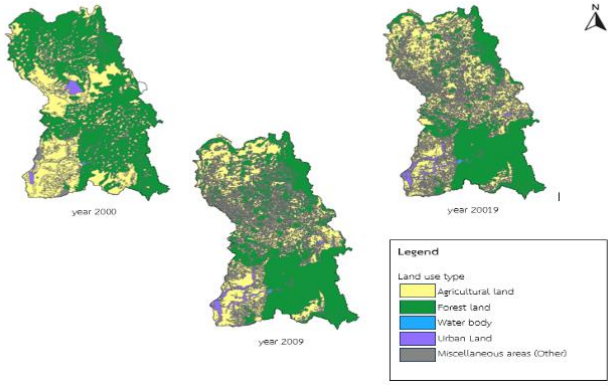
ที่มา : Sergio M. Vicente-Serrano et al. (2010)

## 4. ผลการวิจัย

4.1 ปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกช่วงปี ทำการวิเคราะห์ช่วงปี พ.ศ. 2543–2552, 2552–2562 และ 2543–2562 พบว่า พื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงทุกปี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 81,671.75, 83,072.25 และ164,744.00 ตามลำดับ แต่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังที่แสดงผลใน (ตารางที่ 4) และ (ภาพที่ 1)

**ตารางที่ 4** การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562

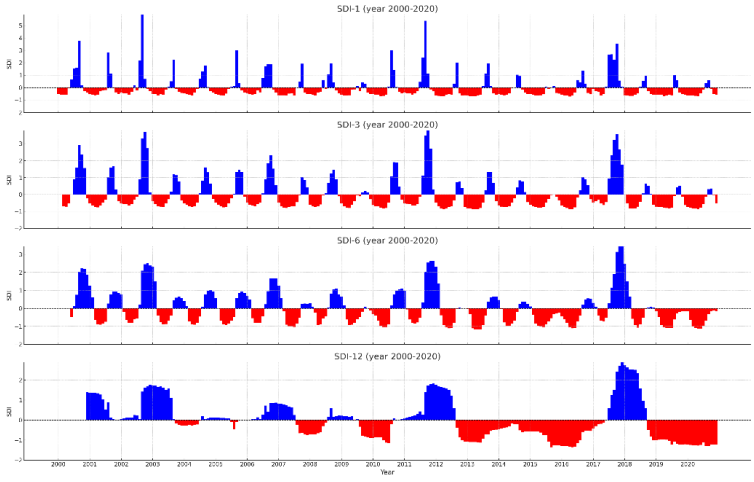
| การใช้ประโยชน์ที่ดิน | พื้นที่ (ไร่) | | | การเปลี่ยนแปลง (ไร่) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2543 | 2552 | 2562 | 2543-2552 | 2552-2562 | 2543-2562 |
| พื้นที่เกษตรกรรม | 329,875.86 | 389,053.15 | 473,572.28 | +59,177.29 | +84,519.13 | +143,696.42 |
| พื้นที่ป่าไม้ | 587,679.64 | 506,007.89 | 422,935.64 | - 81,671.75 | - 83,072.25 | - 164,744.00 |
| พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง | 10,545.94 | 25,954.64 | 28,859.03 | +15,408.70 | +2,904.39 | +18,313.09 |
| แหล่งน้ำ | 1,865.62 | 2,654.94 | 6,139.92 | +789.32 | +3,484.98 | +4,274.3 |
| พื้นที่อื่น ๆ | 12,542.53 | 23,443.01 | 15,608.52 | +10,900.48 | - 7,834.49 | +3,065,99 |



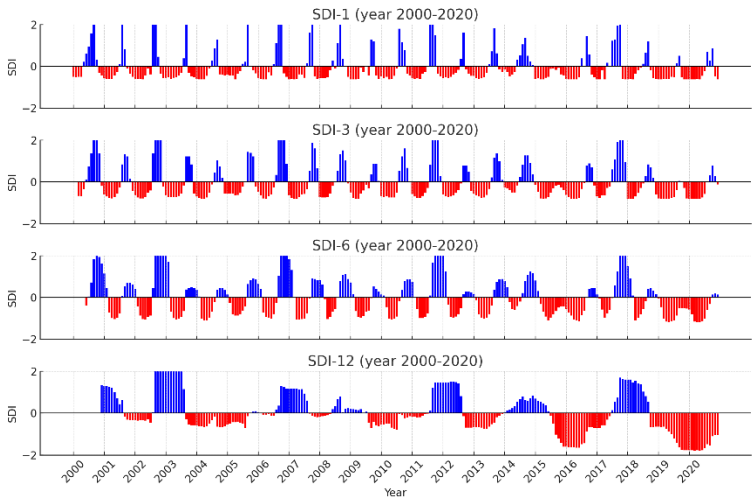

**ภาพที่ 1** การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562

4.2 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง 2 ดัชนี ดังนี้

(1) ดัชนีปริมาณน้ำท่า (SDI) โดยนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดน้ำท่าจากสถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33) และสถานีบ้านโนนทอง (S.36) จังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543–2562 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อหาค่าดัชนีความแห้งแล้งในช่วงเวลา (Time scale) 1 เดือน (SDI-1), 3 เดือน (SDI-3), 6 เดือน (SDI-6), และ 12 เดือน (SDI-12) พบว่า สถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33) มีค่า SDI ตามช่วงเวลาต่ำที่สุดเท่ากับ -0.97, -1.16, -1.53 และ -1.71 ซึ่งมีระดับความแห้งแล้งเล็กน้อย แห้งแล้งปานกลาง และแห้งแล้งมาก ตามลำดับ และพบว่าอยู่ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2558–2559 ดังแสดงใน (ภาพที่ 2) และสถานีบ้านโนนทอง (S.36) มีค่า SDI ตามช่วงเวลาต่ำที่สุดเท่ากับ -0.63, -0.83, -1.18 และ-1.79 ซึ่งมีระดับความแห้งแล้งเล็กน้อย แห้งแล้งปานกลาง และแห้งแล้งมาก ตามลำดับ ดังแสดงใน (ภาพที่ 3)

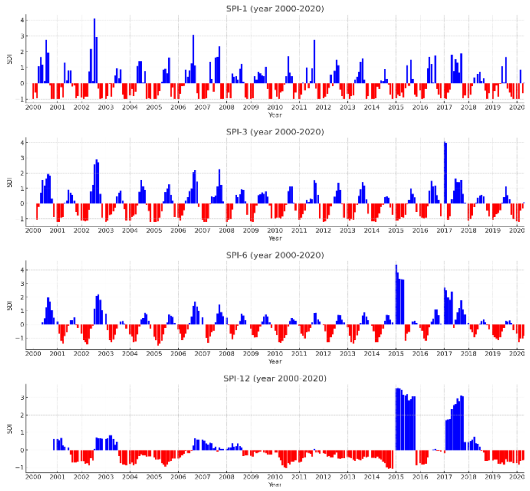



**ภาพที่ 2** กราฟแสดงค่าดัชนีปริมาณน้ำท่า (SDI) ปี พ.ศ. 2543–2562 ช่วงเวลา (Time scale) (SDI-1), (SDI-3), (SDI-6) และ(SDI-12) ของสถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33)



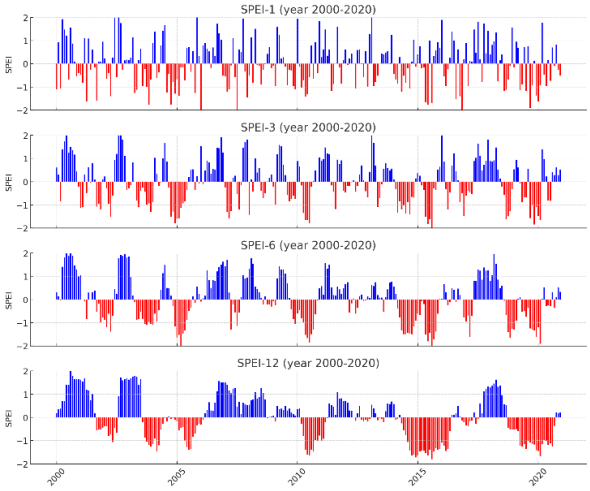

**ภาพที่ 3** กราฟแสดงค่าดัชนีปริมาณน้ำท่า (SDI) ปี พ.ศ. 2543–2562 ช่วงเวลา (Time scale) (SDI-1), (SDI-3), (SDI-6) และ(SDI-12) ของสถานีบ้านโนนทอง (S.36)

(2) ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) ใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือน จากสถานี 379401 หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543–2563 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อหาค่าดัชนีความแห้งแล้งในช่วงเวลา (Time scale) 1 เดือน (SPI-1), 3 เดือน (SPI-3), 6 เดือน (SPI-6), และ12 เดือน (SPI-12) พบว่า ค่า SPI ตามช่วงเวลาต่ำที่สุดเท่ากับ -1.00, -1.24, -1.54 และ -1.07 ซึ่งพื้นที่มีความแห้งแล้งค่อนข้างรุนแรง (moderate drought) ในช่วง 1 เดือน (SPI-1) และ 3 เดือน (SPI-3), พื้นที่มีความแห้งแล้งรุนแรง (severe drought) ในช่วง 6 เดือน (SPI-6) และ พื้นที่มีความแห้งแล้งค่อนข้างรุนแรง (moderate drought) ในช่วง 12 เดือน (SPI-12) นอกจากนั้น ช่วงที่มีความแห้งแล้งรุนแรง (severe drought) ต่อเนื่อง 6 เดือนอยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2548 ดังแสดงใน (ภาพที่ 4)




**ภาพที่ 4** กราฟแสดงค่าปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) ปี พ.ศ. 2543–2562 ช่วงเวลา (Time scale) (SPI-1), (SPI-3), (SPI-6), และ(SPI-12) ของสถานี 379401 หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์

(3) ดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) ใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายเดือน จากสถานี 379401 หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ และศักย์การคายระเหยรายเดือน (Potential Evapotranspiration, PET) คำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจากข้อมูลสามารถหาระดับความแห้งแล้งในชวงเวลา (Time scale) 1 เดือน (SPEI-1), 3 เดือน (SPEI-3), 6 เดือน (SPEI-6) และ12 เดือน (SPEI-12) พบว่า ค่า SPEI เมื่อมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ -2.25, -2.19, -2.13 อยู่ในระดับความแห้งแล้งรุนแรงมาก ในช่วง (SPEI-1), (SPEI-3) , (SPEI-6) ช่วงปี พ.ศ. 2548 และ 2558 และมีความแห้งแร้งรุนแรงช่วง 12 เดือน (SPEI-12) ในรอบปี พ.ศ. 2558 ดังแสดงใน (ภาพที่ 5)




**ภาพที่ 5** กราฟแสดงค่าดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) ช่วงเวลา (SPEI-1), (SPEI-3), (SPEI-6) และ(SPEI-12) ตามลำดับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2562 ของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

(4) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ กับดัชนีความแห้งแล้งทั้ง 3 (SPI, SDI, SPEI) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562 ของลุ่มน้ำป่าสักตอนบน พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าดัชนีความแห้งแล้งโดยเฉพาะดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) ($r \approx -1.00$) แสดงว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีการคายระเหยมากส่งผลให้ค่าดัชนีความแห้งแล้งติดลบมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ป่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกสูง ($r \approx +0.95$ ถึง $+1.00$) ซึ่งหมายความว่าการมีพื้นที่ป่าไม้ส่งผลให้ค่าดัชนีความแห้งแล้งเพิ่มขึ้น พื้นที่มีความชุ่มชื้นมากขึ้น มีการกักเก็บน้ำที่ดี สำหรับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และแหล่งน้ำ พบความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าดัชนีเช่นกัน หมายถึงพื้นที่ทั้ง 2 ประเภทกักเก็บน้ำได้ไม่ดี ดัชนีความแห้งแล้งติดลบมากขึ้นตาม แต่ในระดับที่ต่ำกว่าพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อื่น ๆ มีความสัมพันธ์ต่ำมาก แสดงว่าพื้นที่อื่น ๆ ไม่ได้มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับค่าดัชนีความแห้งแล้งมากนัก ดังแสดงใน (ตารางที่ 5)

**ตารางที่ 5** การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ (Correlation Analysis) ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินแต่ละประเภทกับดัชนีความแห้งแล้ง

| การใช้ประโยชน์ที่ดิน | SDI_S33 (r) | SDI_S36 (r) | SPEI (r) | SPI (r) |
|---|---|---|---|---|
| พื้นที่เกษตรกรรม | -0.96 | -0.98 | -1.00 | -0.97 |
| พื้นที่ป่าไม้ | +1.00 | +0.99 | +0.95 | +1.00 |
| พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง | -0.98 | -0.96 | -0.89 | -0.97 |
| แหล่งน้ำ | -0.87 | -0.90 | -0.97 | -0.88 |
| พื้นที่อื่น ๆ | -0.43 | -0.37 | -0.18 | -0.41 |

## 5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการหาดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน พบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมมีการเพิ่มขึ้นมากที่สุด จากปี พ.ศ. 2543–2562 ถึง 143,696.42 ไร่ ซึ่งในทางตรงกันข้าม พื้นที่ป่าไม้มีขนาดพื้นที่ลดลงถึง 164,744 ไร่ และผลการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง พบว่า ดัชนีปริมาณน้ำท่า (SDI) สถานีบ้านท่าห้วยยาง (S.33) มีค่า (SDI-12) ต่ำที่สุดเท่ากับ -1.71 ซึ่งมีระดับความแห้งแล้งมาก และสถานีบ้านโนนทอง (S.36) มีค่า (SDI-12) ต่ำที่สุดเท่ากับ -1.79 ซึ่งมีระดับความแห้งแล้งมากเช่นกัน ส่วนดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) พบว่า ค่า (SPI -6) ต่ำที่สุดเท่ากับ -1.54 ซึ่งพื้นที่มีความแห้งแล้งรุนแรง (severe drought) และดัชนีการคายระเหย-ฝนมาตรฐาน (SPEI) พบว่า ค่า (SPEI-1) มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ -2.25 อยู่ในระดับความแห้งแล้งรุนแรงมาก และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทกับดัชนีความแห้งแล้งพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่าดัชนีความแห้งแล้ง ($r \approx -0.96$ ถึง $-1.00$) ในขณะที่พื้นที่ป่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกสูง ($r \approx +0.95$ ถึง $+1.00$) โดยสรุปจากผลการศึกษาดัชนี SPI, SPEI มีความผันผวนรายเดือน (SPI-1, SPEI-1) ค่อนข้างสูงในช่วงปีที่ศึกษา โดยมีทั้งช่วงที่ค่าเป็นบวก (ชุ่มชื้น) และค่าลบ (แห้งแล้ง) สลับกัน ส่วนดัชนี SDI ของทั้ง 2 สถานีมีรูปแบบที่คล้ายกัน ช่วงที่มีค่าบวกมักสอดคล้องกับฤดูกาลน้ำมาก (rainy season) และค่าลบในช่วงฤดูแล้งชัดเจน และพบช่วงที่มีค่าดัชนีมีค่าต่ำกว่า -2 เป็นช่วงแห้งแล้งรุนแรง (Severe to Extreme Drought) พบหลายครั้ง เช่น ปี พ.ศ. 2548, 2553, 2558–2559 และ 2562 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang, W. et al. (2020) ที่เน้นบทบาทของพื้นที่ป่า

ในการรักษาสมดุลน้ำและลดความเสี่ยงจากภัยแล้ง ป่าไม้ทำหน้าที่สำคัญในการกักเก็บน้ำและเพิ่มความชุ่มชื้นในระบบนิเวศ ขณะที่การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนมักส่งผลให้การดูดซับและกักเก็บน้ำลดลง นำไปสู่การขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้ การจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนควรเน้นการเพิ่มพื้นที่ป่าและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างสมดุลเพื่อบรรเทาความรุนแรงของภัยแล้งในอนาคต

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณกรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และกรมอุตุนิยมวิทยาผู้ให้ข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

**7. เอกสารอ้างอิง**

กรมชลประทาน, (2564), ข้อมูลปริมาณน้ำท่าบริเวณลุ่มน้ำป่าสัก ปี พ.ศ. 2543–2563

กรมพัฒนาที่ดิน, (2564), ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดเลย และจังหวัดเพชรบูรณ์ ปี พ.ศ. 2543, 2552 และ 2562

กรมอุตุนิยมวิทยา, (2564), ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดเลย และจังหวัดเพชรบูรณ์ ปี พ.ศ. 2543–2563

สถาบันทรัพยากรน้ำและสารสนเทศการเกษตร (องค์การมหาชน). (2555). การดำเนินโครงการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบคลังข้อมูลสำหรับลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมและภัยแล้ง. https://tiwrm.hii.or.th/web/attachments/25basins/12-pasak.pdf

Jiang, W., Fu, B., & Lü, Y. (2020). Assessing Impacts of Land Use/Land Cover Conversion on Changes in Ecosystem Services Value on the Loess Plateau, China. *Sustainability*, *12*(17), 7128. https://doi.org/10.3390/su12177128

Sergio M. Vicente-Serrano., Santiago Beguería, & Juan I. López-Moreno. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of climate*, *23*(7), 1696-1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Thai Meteorological Department. (2018). Analysis of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index over Chiangrai and Phayao. http://www.rnd.tmd.go.th/droughtanalysis/

Tulay, A., & Halit, A. (2020). Estimation of Drought by Streamflow Drought Index (SDI) and Artificial Neural Networks (ANNs) in Ankara-Nallihan Region. https://www.researchgate.net/publication/339543545_Estimation_of_Drought_by_Streamflow_Drought_Index_SDI_and_Artificial_Neural_Networks_ANNs_in_Ankara-Nallihan_Region

Wilhite, Donald A. & Glantz, Michael H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, *10*(3), 111-120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328

# การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในผลิตภัณฑ์บราวนี่

# Substitution of Wheat Flour with Med Fai Rice Flour in Brownie

**จุฑาภรณ์ ลิ่มสุวรรณมณี[1], วริศรา สุขเมือง[2]***

**Jutaporn Limsuwanmanee[1], Waritsara Sukmuang[2]***

[1]สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[1]Culinary Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

[2]สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[2] Culinary Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,

warit081146@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ร้อยละการทดแทน 0, 20 และ 40% โดยน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส จากการวิจัยพบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) สูงกว่าในชุดควบคุมและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่าความสว่าง ($L^*$ value) สูงกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง ($a^*$ value) มีแนวโน้มสูงกว่าในชุดควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$ ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่า มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายมากขึ้น บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่า Hardness, Cohesiveness, Springiness, Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 ได้รับค่าคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองอื่นและได้รับค่าคะแนนการยอมรับในด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด

**คำสำคัญ :** แป้งข้าวเม็ดฝ้าย แป้งสาลี บราวนี่

**Abstract**

This study aimed to replace wheat flour with cottonseed rice flour in brownie products at substitution levels of 0%, 20%, and 40% by weight. The chemical, physical, and sensory properties of the brownies were analyzed. The results showed that brownies with 20% and 40% substitution had significantly higher moisture content and water activity ($a_w$) than the control group ($p \leq 0.05$). For color values, brownies with 20% and 40% substitution had significantly higher lightness ($L^*$ value) than the control ($p \leq 0.05$). The redness ($a^*$ value) tended to be slightly higher than the control but showed no significant difference ($p > 0.05$), while the yellowness ($b^*$ value)

significantly decreased ($p \leq 0.05$) with increased substitution. In terms of texture analysis, brownies with 20% and 40% substitution showed a significant decrease ($p \leq 0.05$) in hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness. Sensory evaluation using a 9-Point Hedonic Scale with 30 panelists indicated that attributes such as appearance, color, taste, and texture showed slight variations across the samples but no significant differences ($p > 0.05$). However, the brownies with 40% cottonseed rice flour substitution received slightly higher scores than the other formulations. Regarding overall acceptance, a significant difference ($p \leq 0.05$) was found, with the 40% substitution receiving the highest overall liking score.

**Keywords:** Med Fai Rice Flour, Wheat Flour, Brownie

## 1. บทนำ

บราวนี่เป็นขนมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย โดยเฉพาะในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นขนมที่ทำได้ง่าย มีรสชาติเข้มข้น หอมหวานจากช็อกโกแลต ซึ่งถูกใจคนไทยที่ชื่นชอบรสชาติหวานและเข้มข้น นอกจากนี้ บราวนี่ยังเป็นขนมที่มีหลายรูปแบบให้เลือก ทั้งบราวนี่เนื้อหนึบ บราวนี่เนื้อฟัดจ์ หรือบราวนี่ที่มีท็อปปิ้งหลากหลาย เช่น ถั่ว แมคคาเดเมีย ช็อกโกแลตชิพ และคาราเมล นอกจากบราวนี่จะเป็นที่นิยมในวงการขนมทั่วไปแล้ว ความนิยมในประเทศไทยยังเพิ่มขึ้นเพราะกระแสการทำขนมโฮมเมดที่แพร่หลาย โดยเฉพาะในช่วงการแพร่ระบาดของโควิด-19 ผู้คนเริ่มใช้เวลาอยู่บ้านมากขึ้นและเริ่มหากิจกรรมทำในครัว ทำให้การทำขนมอย่างบราวนี่กลายเป็นที่นิยมเนื่องจากสูตรที่ทำง่าย วัตถุดิบที่หาได้ไม่ยาก และใช้เวลาไม่นาน อีกทั้งบราวนี่ยังเป็นขนมที่สามารถเก็บไว้ทานได้นานโดยที่ยังคงความอร่อยและนอกจากนี้ยังมีการปรับเปลี่ยนสูตรให้เข้ากับวัฒนธรรมการกินของคนไทย เช่น บราวนี่ชาเขียว บราวนี่รสชาไทย หรือการนำวัตถุดิบท้องถิ่นมาเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ในงานเลี้ยงหรือโอกาสพิเศษ บราวนี่ยังถูกนำมาใช้เป็นของขวัญหรือของฝากอีกด้วย เพราะสามารถจัดทำเป็นชุดสวยงามและน่าทาน ซึ่งถือเป็นทางเลือกที่ดีในการมอบให้คนใกล้ชิด ทั้งนี้ยังรวมถึงการทำบราวนี่เค้ก ซึ่งเหมาะกับการใช้ในงานวันเกิดหรืองานเฉลิมฉลอง กระแสนิยมของบราวนี่ในไทยยังถูกขับเคลื่อนด้วยสื่อโซเชียลมีเดีย ซึ่งคนมักจะแชร์ภาพและสูตรการทำบราวนี่ ทำให้เกิดแรงบันดาลใจและกระตุ้นให้คนสนใจทำหรือซื้อบราวนี่มากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มวัยรุ่นและคนทำงานที่ชอบขนมง่าย ๆ แต่มีรสชาติที่เข้มข้น การทำบราวนี่ขายออนไลน์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ขนมนี้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เพราะมีผู้ขายหลากหลายที่เน้นการปรับสูตรให้เข้ากับความต้องการของลูกค้า เช่น การทำบราวนี่สูตรคีโต (Keto) หรือสูตรเจ (Vegan) สำหรับผู้ที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ หรือการลดน้ำตาลในสูตรเพื่อให้เข้ากับไลฟ์สไตล์ที่ใส่ใจสุขภาพ (พรรัตน์ สินชัยพานิช และคณะ, 2560)

การใช้แป้งทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบเป็นเทรนด์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีความต้องการพิเศษด้านอาหาร เช่น ผู้ที่แพ้กลูเตน หรือผู้ที่ต้องการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ การทดแทนแป้งสาลีแบบดั้งเดิมด้วยแป้งชนิดอื่น ๆ การใช้แป้งทดแทนในผลิตภัณฑ์ขนมอบไม่ได้มีเพียงแค่การตอบสนองต่อความต้องการด้านสุขภาพเท่านั้น แต่ยังช่วยสร้างสรรค์ขนมที่มีเอกลักษณ์ในด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส ซึ่งแป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป การเลือกแป้งทดแทนทำให้เกิดความหลากหลายและน่าสนใจในวงการทำขนมมากขึ้น การเลือกใช้แป้งทดแทนไม่เพียงแค่ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ แต่ยังทำให้ผู้ประกอบการขนมและผู้ทำขนมอบสามารถสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและเข้าถึงกลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการพิเศษทางอาหารได้มากขึ้น การทำขนมอบขึ้นอยู่กับลักษณะและรสชาติที่ต้องการ รวมถึงข้อกำหนดด้านสุขภาพ เช่น

ความต้องการโปรตีนสูง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำ หรือการหลีกเลี่ยงกลูเตน ทั้งนี้ การใช้แป้งทดแทนต้องมีการปรับสูตรเพราะแป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นและการคงรูปที่แตกต่างกัน และสามารถช่วยปรับรสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของขนมอบได้ ซึ่งแป้งทดแทนที่นิยมใช้มีหลายประเภท เช่น แป้งอัลมอนด์ ได้รับความนิยมอย่างมากในการทำขนมที่ปราศจากกลูเตน เพราะมีความชื้นและรสชาติที่หอมมันจากอัลมอนด์ แป้งนี้เหมาะสำหรับการทำขนมที่เนื้อชุ่มชื้น แป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเลือกที่นิยมในการทำขนมไทยดั้งเดิมและขนมอบแบบปราศจากกลูเตน มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและละเอียด ทำให้ขนมที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีเนื้อเบา แป้งข้าวโอ๊ตมีไฟเบอร์สูงและช่วยเพิ่มความนุ่มให้กับขนม เหมาะสำหรับทำขนมที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่หนึบ เช่น คุกกี้ บาร์ธัญพืช หรือขนมปังที่มีความหนัก แป้งข้าวกล้อง เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับขนมปราศจากกลูเตนและให้ไฟเบอร์สูงกว่าแป้งข้าวขาว มีรสชาติที่เข้มข้นและหนึบกว่า เหมาะกับการทำขนมปังหรือแพนเค้กที่ต้องการเนื้อสัมผัสแบบหนึบ ๆ แป้งข้าวฟ่าง เป็นแป้งที่ปลอดกลูเตนและมีไฟเบอร์สูง เหมาะสำหรับการทำขนมอบที่ต้องการเนื้อเบาและร่วน เช่น ขนมปังหรือเค้ก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการคงความชุ่มชื้นในขนมได้นานขึ้น (ฐิติพร เทียรฆนิธิกูล และศิริรักษ์ เฉลิมชนม์, 2562)

นอกจากแป้งจากธัญพืชต่าง ๆ แล้ว ยังมีการใช้แป้งจากข้าวท้องถิ่น เช่น แป้งข้าวเม็ดฝ้าย ซึ่งสามารถใช้ในเบเกอรี่เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของขนมอบได้อย่างดี โดยช่วยเพิ่มความนุ่มนวลและเบาให้กับขนม เช่น เค้ก มัฟฟิน และขนมปัง อีกทั้งยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นและลดการแตกร้าว นอกจากนี้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายยังมีคุณสมบัติในการดูดซับและรักษาความชื้น ทำให้ขนมมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น ลดความแห้งกรอบที่ไม่พึงประสงค์ แป้งข้าวเม็ดฝ้ายมีรสชาติที่เป็นกลาง ทำให้ไม่ส่งผลต่อรสชาติของขนมและสามารถใช้ทดแทนแป้งสาลีได้บางส่วน เหมาะสำหรับการผลิตขนมกลูเตนฟรี ซึ่งผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนสามารถรับประทานได้ ในขณะเดียวกัน แป้งข้าวเม็ดฝ้ายยังช่วยเพิ่มความกรอบในคุกกี้หรือพาย อีกทั้งยังช่วยปรับสีของขนมอบให้ดูสวยงามและสม่ำเสมอ (สัญชัย ยอดมณี และคณะ, 2565) นอกจากนี้การใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายยังช่วยลดปริมาณไขมันในบางสูตรขนม โดยสามารถใช้แทนไขมันบางส่วนได้ ทำให้ขนมมีแคลอรี่ต่ำลงและเพิ่มปริมาณไฟเบอร์ ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ สำหรับการใช้งานในผลิตภัณฑ์ขนมปัง แป้งข้าวเม็ดฝ้ายช่วยให้ขนมมีความนุ่มและยืดหยุ่น ส่วนในคุกกี้จะช่วยเพิ่มความกรอบ และในเค้กจะช่วยให้เนื้อสัมผัสฟูและนุ่ม ในการใช้งาน แป้งข้าวเม็ดฝ้ายสามารถนำมาผสมในสูตรขนมแทนแป้งสาลีบางส่วน โดยมักจะใช้ในอัตรา 20-30% ของปริมาณแป้งทั้งหมด และอาจต้องปรับเปลี่ยนปริมาณของเหลวหรือไขมันในสูตรเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี การเลือกแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่มีคุณภาพสูงและการเก็บรักษาให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรักษาคุณสมบัติของแป้งและป้องกันการเกิดเชื้อรา การใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายในเบเกอรี่ช่วยให้ขนมอบมีคุณภาพดีขึ้นและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ขนมเพื่อสุขภาพ อีกทั้งยังช่วยสร้างความยั่งยืนในการใช้วัตถุดิบธรรมชาติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งจากข้าวเม็ดฝ้ายซึ่งได้มาจากแหล่งเพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในผลิตภัณฑ์บราวนี่
2. เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่จากแป้งข้าวเม็ดฝ้าย

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเม็ดฝ้าย

นำข้าวเม็ดฝ้ายซึ่งผลิตจากพื้นที่บ้านไสยาสต์ อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราช บดด้วยเครื่องบด (2000 g Multi-function disintegrator WF-40B) แล้วนำแป้งที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh จากนั้นนำแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ได้ไปบรรจุแบบสุญญากาศในถุงโพลีเอทิลีน และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าจะนำตัวอย่างไปใช้ต่อไป

**3.2 ศึกษาสัดส่วนของปริมาณแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในการทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์บราวนี่**

เตรียมบราวนี่สูตรมาตรฐานซึ่งได้จากการทดลองเบื้องต้น มีส่วนประกอบดังตารางที่ 2 โดยมีวิธีการทำ คือ นำเกลือ เนยเค็ม ดาร์กช็อกโกแลตและน้ำตาลไปให้ความร้อนเพื่อละลายส่วนผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นพักไว้ให้อุณหภูมิลดลง และเติมไข่ไก่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน เติมแป้งและผงโกโก้ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที

**ตารางที่ 1** ปริมาณและร้อยละของส่วนผสมในผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรมาตรฐาน

| วัตถุดิบ | ปริมาณ | ร้อยละ |
|---|---|---|
| แป้งอเนกประสงค์ | 100 กรัม | 16.29 |
| เนยเค็ม | 40 กรัม | 6.51 |
| ช็อคโกแลต | 120 กรัม | 19.54 |
| น้ำมันรำข้าว | 60 กรัม | 9.77 |
| ไข่ไก่ | 2 ฟอง (100 กรัม) | 16.29 |
| เกลือ | ¼ ช้อนชา (4 กรัม) | 0.65 |
| วานิลลา | 1 ช้อนชา (15 กรัม) | 2.44 |
| โกโก้ | 15 กรัม | 2.44 |
| น้ำตาล | 160 กรัม | 26.06 |
| รวม | 614 กรัม | 100.00 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก VIPS station (2020)

ในการศึกษาส่วนนี้ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาสัดส่วนของปริมาณแป้งข้าวเม็ดฝ้ายในการทดแทนปริมาณแป้งสาลีต่อคุณภาพของบราวนี่ โดยใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายทดแทนส่วนของแป้งสาลีอเนกประสงค์ที่ใช้ในสูตรมาตรฐาน โดยทำการศึกษา 3 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 3 เมื่อได้บราวนี่ที่มีลักษณะที่ต้องการแล้วพักให้เย็น บรรจุในภาชนะปิดผนึกให้มิดชิด เพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อไป

**ตารางที่ 2** สัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทำบราวนี่ในชุดการทดลอง

| วัตถุดิบ | ชุดที่ 1 | | ชุดที่ 2 | | ชุดที่ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | กรัม | ร้อยละ | กรัม | ร้อยละ | กรัม | ร้อยละ |
| แป้งอเนกประสงค์ | 100 กรัม | 16.29 | 80 กรัม | 13.03 | 60 กรัม | 9.77 |
| แป้งข้าวเม็ดฝ้าย | - | - | 20 กรัม | 3.26 | 40 กรัม | 6.51 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เนยเค็ม | 40 กรัม | 6.51 | 40 กรัม | 6.51 | 40 กรัม | 6.51 |
| ช็อคโกแลต | 120 กรัม | 19.54 | 120 กรัม | 19.54 | 120 กรัม | 19.54 |
| น้ำมันรำข้าว | 60 กรัม | 9.77 | 60 กรัม | 9.77 | 60 กรัม | 9.77 |
| ไข่ไก่ | 100 กรัม | 16.29 | 100 กรัม | 16.29 | 100 กรัม) | 16.29 |
| เกลือ | 4 กรัม | 0.65 | 4 กรัม | 0.65 | 4 กรัม | 0.65 |
| วานิลลา | 15 กรัม | 2.44 | 15 กรัม | 2.44 | 15 กรัม | 2.44 |
| โกโก้ | 15 กรัม | 2.44 | 15 กรัม | 2.44 | 15 กรัม | 2.44 |
| น้ำตาล | 160 กรัม | 26.06 | 160 กรัม | 26.06 | 160 กรัม | 26.06 |
| รวม | 614 กรัม | 100.00 | 614 กรัม | 100.00 | 614 กรัม | 100.00 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก VIPS station (2020)

หมายเหตุ : ชุดที่ 1 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 0% (w/w) (ชุดควบคุม)

ชุดที่ 2 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 20% (w/w)

ชุดที่ 3 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 40% (w/w)

**3.3 วิเคราะห์ทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส**

**3.3.1 วิเคราะห์ทางเคมี**

**การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น** : วัดค่าความชื้น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น DKSH Sartorius รุ่น MA160 วิเคราะห์ใน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างชุดควบคุม ตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$)** : วัดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ทำการวิเคราะห์ใน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างชุดควบคุม ตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**3.3.2 วิเคราะห์ทางกายภาพ**

**การวิเคราะห์ค่าสี :** วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่า Spectrophotometer ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CM-5 อ่านค่าสีในระบบ CIE ได้แก่ ค่าความสว่าง ($L^*$) ค่าสีแดง ($a^*$) ค่าสีเหลือง ($b^*$) ทำการวิเคราะห์ใน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างชุดควบคุม ตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส :** วัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของบราวนี่ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัววัดแบบ cylindrical probe (TA44) ด้วยวิธี Texture profile analysis (TPA) เตรียมตัวอย่างให้มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 3.0 x 3.0 x 2.0 cm วางตรงกลางฐานรองตัวอย่าง ด้วยการตั้งสภาวะของเครื่องดังนี้ Tigger load 20g, Test speed 2 mm/s, Pre-test speed 2 mm/s, Post-test speed 2 mm/s และ Distance target 10.0mm (50% ของความสูงชิ้นบราวนี่) โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) การยึดเกาะระหว่างโครงสร้าง (Cohesiveness) การคืนตัว (Springiness) ค่าการแตกตัวพร้อมกลืน (Gumminess) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) วิเคราะห์ใน 3

ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างชุดควบคุม ตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**3.3.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส**

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ประกอบไปด้วยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยทำการวิเคราะห์ใน 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างชุดควบคุม ตัวอย่างที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิงที่ไม่ได้รับการฝึกฝน (Untrained panel) ด้วยวิธี 9-Points Hedonic Scale Test คือ มีสเกลความชอบ 9 จุด โดยมีการใช้คำบอกสเกลความชอบ ดังนี้

| | |
|---|---|
| ชอบมากที่สุด | เท่ากับ 9 |
| ชอบมาก | เท่ากับ 8 |
| ชอบปานกลาง | เท่ากับ 7 |
| ชอบเล็กน้อย | เท่ากับ 6 |
| เฉยๆ | เท่ากับ 5 |
| ไม่ชอบเล็กน้อย | เท่ากับ 4 |
| ไม่ชอบปานกลาง | เท่ากับ 3 |
| ไม่ชอบมาก | เท่ากับ 2 |
| ไม่ชอบมากที่สุด | เท่ากับ 1 |

**3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) โดยวิธี One-Way ANOVA และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

**4. ผลการวิจัย**

จากการศึกษาวิจัยการใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์บราวนี่พบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) สูงกว่าในชุดควบคุมและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** ค่าวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของบราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ระดับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (% w/w)

| ค่าวิเคราะห์ | บราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย | | |
|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 |
| ปริมาณความชื้น (%) | 1.67±0.06 [a] | 1.70±0.16 [a] | 2.70±0.19 [b] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ปริมาณความชื้นอิสระ ($a_w$) | 0.61±0.00 [a] | 0.65±0.00 [b] | 0.67±0.00 [c] |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หมายเหตุ : ชุดที่ 1 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 0% (w/w) (ชุดควบคุม)
ชุดที่ 2 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 20% (w/w)
ชุดที่ 3 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 40% (w/w)

ส่วนค่าสีพบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่าความสว่าง (*L** value) สูงกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (*a** value) มีแนวโน้มสูงกว่าในชุดควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$ ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่า มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายมากขึ้น (ตารางที่ 4) และผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายพบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่า Hardness, Cohesiveness, Springiness, Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) (ตารางที่ 5)

**ตารางที่ 4** ค่าความสว่าง (*L** ; Lightness value) ค่าความเป็นสีแดง (*a** ; Redness value) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**; Yellowness value) ของบราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ระดับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (% w/w)

| ค่าวิเคราะห์ | บราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย | | |
|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 |
| ค่าความสว่าง (*L** value) | 10.43±0.28 [a] | 10.81±0.23 [a] | 11.21±0.53 [b] |
| ค่าความเป็นสีแดง (*a** value) | 4.39±0.08 [ns] | 4.43±0.42 [ns] | 4.85±0.12 [ns] |
| ค่าความเป็นสีเหลือง (*b** value) | 3.46±0.37 [b] | 3.47±0.27 [b] | 2.46±0.38 [a] |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$)

หมายเหตุ: ชุดที่ 1 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 0% (w/w) (ชุดควบคุม)
ชุดที่ 2 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 20% (w/w)
ชุดที่ 3 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 40% (w/w)

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) ของบราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ระดับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (% w/w)

| ลักษณะเนื้อสัมผัส | บราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย | | |
|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hardness (g) | 182.33±7.02 [c] | 155.33±1.53 [b] | 141.67±5.03 [a] |
| Cohesiveness | 0.34±0.03 [a] | 0.28±0.02 [b] | 0.26±0.02 [b] |
| Springiness (mm) | 7.90±1.26 [b] | 6.75±0.15 [ab] | 5.49±0.23 [a] |
| Gumminess (g) | 51.33±4.16 [c] | 45.67±2.08 [b] | 36.00±3.61 [a] |
| Chewiness (mJ) | 3.33±0.21 [c] | 2.23±0.15 [b] | 1.77±0.15 [a] |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หมายเหตุ: ชุดที่ 1 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 0% (w/w) (ชุดควบคุม)
ชุดที่ 2 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 20% (w/w)
ชุดที่ 3 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 40% (w/w)

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่าในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 ได้รับค่าคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เล็กน้อย ในขณะที่การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 ได้รับค่าคะแนนการยอมรับในด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 6** ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของบราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ระดับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (% w/w)

| **การทดสอบทางประสาทสัมผัส** | **บราวนี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย** | | |
|---|---|---|---|
| | **ชุดที่ 1** | **ชุดที่ 2** | **ชุดที่ 3** |
| ลักษณะปรากฏ | 7.50±1.28 [ns] | 7.47±0.82 [ns] | 7.87±0.94 [ns] |
| สี | 7.70±0.84 [ns] | 7.87±0.78 [ns] | 8.00±0.74 [ns] |
| รสชาติ | 7.80±1.21 [ns] | 7.83±0.79 [ns] | 8.13±0.82 [ns] |
| เนื้อสัมผัส | 8.00±0.87 [ns] | 7.93±0.87 [ns] | 8.07±0.91 [ns] |
| ความชอบโดยรวม | 8.27±0.69 [b] | 7.83±0.95 [a] | 8.43±0.73 [b] |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq0.05$)

หมายเหตุ : ชุดที่ 1 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 0% (w/w) (ชุดควบคุม)

ชุดที่ 2 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 20% (w/w)

ชุดที่ 3 บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้าย 40% (w/w)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การศึกษาวิจัยการใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์บราวนี่พบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$) สูงกว่าในชุดควบคุมและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสีพบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่าความสว่าง (*L** value) สูงกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (*a** value) มีแนวโน้มสูงกว่าในชุดควบคุมเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่า มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายมากขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายพบว่า บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 20 และ 40 มีค่า Hardness**,** Cohesiveness, Springiness, Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญในทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าในผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 ได้รับค่าคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เล็กน้อย ในขณะที่การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 ได้รับค่าคะแนนการยอมรับในด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายทดแทนแป้งสาลีที่ร้อยละ 40 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่ ซึ่งอาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นบราวนี่แบบฟัดจ์ ซึ่งฟัดจ์บราวนี่เป็นบราวนี่ประเภทหนึ่งที่มีลักษณะเด่น คือ เนื้อสัมผัสที่เหนียวหนืบ ชุ่มฉ่ำ และแน่นกว่าบราวนี่แบบเค้กที่มีลักษณะโปร่งและฟู (Mkunigroup, 2568) และในบราวนี่ที่ใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 40 มีปริมาณความชื้นสูงกว่าที่ร้อยละ 20 และ 0 และอาจส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) ลดลงและค่าแรงยึดเกาะระหว่างโครงสร้าง (Cohesiveness) เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลในบราวนี่ที่เติมแป้งข้าวเม็ดเฝ้ายที่ร้อยละ 40 มีลักษณะเนื้อสัมผัสชุ่มฉ่ำกว่า หนืบกว่าแต่ผิวหน้าไม่แห้ง แข็ง และยังมีลักษณะเป็นฟิล์มที่ผิวหน้ามากกว่าชุดอื่น ๆ โดยที่ลักษณะการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมากนัก (ภาพที่ 1) ในขณะที่งานวิจัยของชนินาถ จุ้ยนุ่ม และคณะ (2566) ที่ทำการวิจัยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วแดงในผลิตภัณฑ์บราวนี่ ซึ่งระบุว่า การขึ้นฟูของบราวนี่จะลดลงเมื่อระดับการทดแทนแป้งถั่วแดงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของแป้งที่แตกต่างกัน โดยแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตนิน และไกลอะดิน ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมตัวกันเกิดเป็นกลูเตนซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบมีการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ แต่ในแป้งถั่วแดงซึ่งเป็นแป้งที่ปราศจากกลูเตน (Rongchoung & Luangsakul, 2018) คล้ายคลึงกับแป้งข้าวเม็ดฝ้าย จึงทำให้บราวนี่ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วแดงมีปริมาณกลูเตนลดลง การขึ้นฟูของบราวนี่จึงลดลงด้วย ซึ่งเป็นลักษณะที่เหมาะสมกับบราวนี่แบบฟัดจ์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ (Sinchaipanitet al., 2017) และการใช้แป้งสาคูทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ (Kangsanant et al., 2018) ซึ่งก็ให้ผลเป็นไปในทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของปราวนี่ที่มีระดับแป้งถั่วแดง

ร้อยละ 100 ไม่แตกต่างจากร้อยละ 20 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแป้งถั่วแดงที่เพิ่มขึ้นไม่ได้รบกวนกลิ่นโกโก้ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของบราวนี่ ผู้บริโภคจึงให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน คล้ายคลึงกับการใช้แป้งข้าวเม็ดฝ้ายทดแทนแป้งสาลีซึ่งได้รับการยอมรับสูงสุดอยู่ที่การทดแทนร้อยละ 40 อาจเนื่องด้วยปริมาณแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้นก็ไม่ได้รบกวนกลิ่นโกโก้ในบราวนี่เช่นเดียวกัน

(ก) ภาพด้านหน้าของบราวนี่

(ข) ภาพตัดขวางของบราวนี่

**ภาพที่ 1** ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวเม็ดฝ้ายที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 20 และ 40

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำหรับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ การช่วยเหลือ การให้กำลังใจและการสนับสนุนตลอดมา

## 7. เอกสารอ้างอิง

ชนินาถ จุ้ยนุ่ม, กาญจนา แซ่ตัน,โซเฟีย ตะฮาวัน และ สุรีย์พร กังสนันท์. (2566). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งถั่วแดงเสริมเวย์โปรตีน. ใน *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ครั้งที่ 8 และงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 1* (หน้า 265-272). มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ฐิติพร เทียรฆนิธิกูล และ ศิริรักษ์ เฉลิมชนม์. (2562). การพัฒนาบราวนี่ชาเขียวจากแป้งข้าวโอ๊ต. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 3(6), 75-82. https://ajsas.uru.ac.th/files_complete/1589209965_5851.pdf

พรรัตน์ สินชัยพานิช, กุลรภัส บุตรพงษ์, ศศพินทุ์ดิษนิล และ เรณู ทวิชชาติวิทยากุล. (2560). ผลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ใช้ ทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่:เนื้อสัมผัสและลักษณะคุณภาพ. *วารสารวิจัย มสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 10(2), 69-80. https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SDUJ/10986822.pdf

สัญชัย ยอดมณี, ปรเมศร์ หุ้นจิ้น, ฟรากิบ ไชยสาแล้ และ พีรกานญ์ มีธวัช. (4-5, สิงหาคม 2565). การศึกษาผลของโปรตีนถั่วเหลืองผงต่อลักษณะปรากฏ และองค์ประกอบทางเคมีของฟัดจ์ บราวนี่. ใน *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติด้านศิลปศาสตร์ ครั้งที่ 7 "ศาสตร์บูรณาการงานวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน" และการประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านศิลปศาสตร์ ครั้งที่ 2.* (หน้า 447-454). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

Kangsanant, S., Tohlem, T., & Arong, W. (2018). Development of brownie products from Sago flour. In *Proceeding of 12th The National Network of institution of education* (pp. 1156-1162). Songkhla Rajabhat University

Mkunigroup. (2568). *บราวนี่ ( Brownie ) มีเนื้อสัมผัสแบบไหนบ้าง*. https://www.mkunigroup.com/blog_mkunigroup.php?id=43

Rongchoung, J., & Luangsakul, N. (2018). "Development of cookies product from selected gluten-free flours." *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. *13*(2), 34-45.

Sinchaipanit, P., Budpong, K., Disnil, S., & Twichatwitayakul, R. (2017). Influences of rice berry flour as a wheat flour substitute in brownie: textural and quality attributes. *SDU Research Journal Sciences and Technology*. *10*(2), 69-80.

VIPS Station. (2020). *ฟัดจ์บราวนี่! บราวนี่ฉ่ำๆ สะใจ + เทคนิคหน้าฟิล์มสวย.* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=bRSRSe0fb7o

# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่จากน้ำมังคุด

# Development of gravy sauce from mangosteen juice

**จุฑาภรณ์ ลิ่มสุวรรณมณี[1], ธราเทพ เอี่ยมอักษร[2]***

**Jutaporn Limsuwanmanee[1], Tharathep Aiamoaksn[2]***

[1]สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[1]Culinary Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

[2]สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[2]Culinary Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,
aiamaksorn.8238@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมน้ำมังคุดในระดับร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 (v/v) ต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสเกรวี่ ผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมังคุดส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p$<0.05) จาก 5.64 ในสูตรควบคุมเหลือ 3.89 ในการเติมร้อยละ 20 และทำให้ความชื้นลดลงจากร้อยละ 92.27 เหลือร้อยละ 88.18 การวิเคราะห์สีแสดงให้เห็นว่าค่าความสว่าง ($L^*$) และความเป็นสีเหลือง ($b^*$) ลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ($a^*$) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำมังคุด ความหนืดของซอสเกรวี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 5933.3 cP เหลือ 4115.0 cP ที่ระดับร้อยละ 20 ในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส การเติมน้ำมังคุดไม่ส่งผลต่อคะแนนลักษณะปรากฏ สี และความข้นหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นด้านกลิ่นและรสชาติ โดยสูตรที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 ได้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (7.63 คะแนน) รองลงมาคือร้อยละ 15 (7.30 คะแนน) สรุปได้ว่าการเติมน้ำมังคุดในระดับร้อยละ 20 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่น้ำมังคุด เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและเพิ่มความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ โดยไม่กระทบต่อคุณภาพในภาพรวม

**คำสำคัญ :** น้ำมังคุด ซอสเกรวี่ คุณสมบัติทางกายภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์

**Abstract**

The objective of this study was to determine the influence of mangosteen juice incorporation at 0%, 10%, 15%, and 20% (v/v) on the chemical composition, physical properties, and sensory acceptability of gravy sauce. Increasing the proportion of mangosteen juice significantly (p<0.05) reduced pH from 5.64 in the control to 3.89 at 20% addition, while moisture content decreased from 92.27% to 88.18%. Color parameters demonstrated a

significant decrease in lightness (L*) and yellowness (b*), accompanied by an increase in redness (a*) with higher juice levels. Viscosity declined markedly from 5933.3 cP to 4115.0 cP at 20% addition. Sensory evaluation indicated no significant differences in appearance, color, and viscosity scores among treatments, except for aroma and taste attributes. The formulation containing 20% mangosteen juice achieved the highest overall acceptability score (7.63), followed by 15% (7.30). These findings suggest that the incorporation of 20% mangosteen juice is optimal for developing gravy sauce, as it enhances desirable sensory characteristics and product acidity without compromising overall quality.

**Keywords:** Mangosteen juice, Gravy sauce, Physicochemical properties, Product development

## 1. บทนำ

ซอสเกรวี่ (Gravy Sauce) เป็นซอสชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในอาหารตะวันตก โดยเฉพาะเมนูที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัตว์ เช่น มันบด ไก่อบ หรือสเต๊ก อย่างไรก็ตาม ซอสเกรวี่แบบดั้งเดิมมักประกอบด้วยน้ำสต๊อกจากกระดูกสัตว์ เนย หรือไขมันสัตว์ รวมถึงเครื่องปรุงรสที่มีปริมาณโซเดียมสูง ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคหากรับประทานในปริมาณมากหรือต่อเนื่องในระยะยาว จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาซอสเกรวี่ทางเลือกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากพืช และมีรสชาติที่อร่อยกลมกล่อมใกล้เคียงกับต้นตำรับ เพื่อรองรับผู้บริโภคกลุ่มใหม่ที่ต้องการหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์ หรือผู้ที่ต้องควบคุมอาหารอย่างเคร่งครัด เช่น ผู้สูงอายุ ผู้ป่วย หรือผู้ที่ทานอาหารมังสวิรัติ (vegetarian) และวีแกน (vegan) ในบริบทของประเทศไทยการพัฒนาอาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นนับเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจฐานราก โดยเฉพาะการนำผลผลิตทางการเกษต รมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ที่สามารถตอบโจทย์ตลาดผู้บริโภคยุคใหม่ได้ (ญาณพัฒน์ ลาภพาณิชยกุล และคณะ, 2566)

มังคุด (*Garcinia mangostana L.*) เป็นผลไม้เศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกและภาคใต้ ซึ่งมีความโดดเด่นทั้งด้านคุณค่าทางโภชนาการ รสชาติ และศักยภาพทางการตลาดทั้งในและต่างประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 เป็นต้นมา ปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและยังเป็นสินค้าส่งออกสำคัญที่สร้างรายได้ต่อภาคเกษตรของประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) อย่างไรก็ตามในช่วงปี พ.ศ. 2567 และ 2568 ราคามังคุดในตลาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงที่ผลผลิตออกสู่ตลาดมาก ส่งผลให้ราคาขายหน้าสวนลดลงเหลือเพียงประมาณ 10–15 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าระดับในปีที่ผ่านมาอย่างชัดเจน (SD Perspectives, 2025; Khaosod, 2025) การเปลี่ยนแปลงของราคานี้สะท้อนถึงปัญหาความไม่สมดุลระหว่างอุปทานและอุปสงค์ส่งผลกระทบต่อตลาดภายในประเทศและเกษตรกรผู้ปลูก ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด เช่น มังคุดแห้ง ผลิตภัณฑ์จากเปลือกหรือเนื้อมังคุด การทำน้ำมังคุดสกัดเย็น เป็นต้น นับเป็นแนวทางที่สำคัญ ผลิตภัณฑ์แปรรูปเหล่านี้ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิต ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และสร้างรายได้เสริมให้กับอุตสาหกรรมเกษตร (Ministry of Commerce, 2024) นอกจากนี้การนำมังคุดไปแปรรูปยังส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมและตลาดใหม่ ทั้งในรูปแบบอาหารสุขภาพ และผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นกลุ่มสินค้าที่มีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็วในระดับสากล (Produce Report, 2025; Tridge, 2025) ซึ่งในปัจจุบันการแปรรูปมังคุดในรูปแบบของน้ำมังคุดสกัดเย็นถือว่ามีการเติบโตและขยายตัวมากขึ้น โดยมีทั้งผู้ประกอบการท้องถิ่นและกลุ่มเกษตรกรที่รวมตัวกันพัฒนาและจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดสกัดเย็นในเชิงพาณิชย์มากขึ้น (ศุภมาศ กลิ่นขจร และคณะ, 2558)

การพัฒนาซอสเกรวี่จากการใช้น้ำมังคุดเป็นส่วนผสมเป็นแนวคิดที่มีศักยภาพ เนื่องจากน้ำมังคุดมีรสชาติเปรี้ยวอมหวานที่โดดเด่น สามารถเพิ่มความหลากหลายให้กับซอสเกรวี่ดั้งเดิมที่มักมีรสเค็มและเข้มข้นจากเนื้อสัตว์ การนำน้ำมังคุดมาใช้จะช่วยสร้างรสชาติที่กลมกล่อมและสมดุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการลดความเลี่ยนของซอสเกรวี่ทั่วไป สีของน้ำมังคุดที่มีโทนชมพูอ่อนถึงม่วงอ่อนยังสามารถทำให้ซอสมีความน่าสนใจในเชิงรูปลักษณ์ ช่วยเพิ่มคุณค่าในมื้ออาหาร การพัฒนาซอสเกรวี่จากน้ำมังคุดยังสอดคล้องกับแนวทางการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่หันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่จากน้ำมังคุด โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการเติมน้ำมังคุดในสูตรมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคผ่านการทดสอบทางประสาทสัมผัส

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณน้ำมังคุดที่เหมาะสมในการผลิตซอสเกรวี่จากน้ำมังคุด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสเกรวี่จากน้ำมังคุด

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมตัวอย่าง

#### 3.1.1 น้ำสต๊อก

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบไปด้วยโครงกระดูกไก่ หอมใหญ่ แครอท โดยการตั้งน้ำให้เดือดเติมโครงกระดูกไก่ลงไปตั้งไฟกลางประมาณ 5 นาที จากนั้นเติมหอมใหญ่ แครอท หั่นชิ้นเล็ก ตั้งไฟต่ออีกประมาณ 35-40 นาที จากนั้นพักไว้ให้เย็น กรองด้วยกระชอนตาห่าง เก็บน้ำสต๊อกไว้ในภาชนะปิดฝาให้สนิท สำหรับทำซอสเกรวี่ตามส่วนผสมที่แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมและปริมาณในการทำน้ำสต๊อกไก่

| วัตถุดิบ | ปริมาณ |
|---|---|
| น้ำสะอาด | 3,000 มิลลิลิตร |
| โครงกระดูกไก่ | 1 โครง (225-250 กรัม) |
| หอมใหญ่ | 300 กรัม |
| แครอท | 300 กรัม |

ที่มา : ดัดแปลงจาก บ้านอาชีพกู่เล็ก (2564)

#### 3.1.2 การเตรียมน้ำมังคุด

เลือกมังคุดที่สุกจัด มีลักษณะเปลือกสีดำเข้ม ล้างมังคุดให้สะอาด และนำมาสกัดโดยวิธีการสกัดเย็น ใส่เนื้อมังคุดลงในเครื่องสกัดเย็น ซึ่งจะใช้แรงกดแทนการใช้ใบมีดหรือความร้อน การใช้แรงกดนี้จะคั้นน้ำออกจากเนื้อมังคุด โดยยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการ กรองน้ำมังคุดโดยใช้ผ้าขาวบางหรือตะแกรงกรองเพื่อแยกน้ำมังคุดออกจากเศษเนื้อและกากที่ยังหลงเหลือ จากนั้นเก็บน้ำมังคุดที่สกัดได้ในภาชนะที่สะอาดและปิดสนิท จากนั้นเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อรักษาความสดและคุณค่าทางอาหาร

**3.2 การศึกษาสัดส่วนของปริมาณน้ำสต๊อกต่อน้ำมังคุดที่เหมาะสมในการทำซอสเกรวี่**

โดยการศึกษาสัดส่วนของปริมาณน้ำสต๊อก : น้ำมังคุด เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นซอสเกรวี่จากน้ำมังคุดที่มีลักษณะที่ต้องการ โดยใช้การทดแทนปริมาณน้ำสต๊อกไก่ด้วยน้ำมังคุดสกัดเย็นที่ 4 ระดับ คือ น้ำมังคุดร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ร้อยละการทดแทนปริมาณน้ำสต๊อกด้วยน้ำมังคุดในการทำซอสเกรวี่น้ำมังคุด

| ส่วนผสม | ปริมาณส่วนผสม | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **ชุดควบคุม** | **ชุดที่ 1** | **ชุดที่ 2** | **ชุดที่ 3** |
| น้ำมังคุดสกัดเย็น | - | 15 มิลลิลิตร *(ร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำสต๊อกไก่)* | 22.5 มิลลิลิตร *(ร้อยละ 15 ของปริมาณน้ำสต๊อกไก่)* | 30 มิลลิลิตร *(ร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำสต๊อกไก่)* |
| น้ำสต๊อกไก่ | 150 มิลลิลิตร | 135 มิลลิลิตร | 127.5 มิลลิลิตร | 120 มิลลิลิตร |
| หอมใหญ่ | 50 กรัม | 50 กรัม | 50 กรัม | 50 กรัม |
| ใบกะวาน | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ |
| น้ำมันพืช | 10 มิลลิลิตร | 10 มิลลิลิตร | 10 มิลลิลิตร | 10 มิลลิลิตร |
| พริกไทยดำป่น | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ | ½ ช้อนโต๊ะ |
| แป้งสาลี | 1 ช้อนโต๊ะ | 1 ช้อนโต๊ะ | 1 ช้อนโต๊ะ | 1 ช้อนโต๊ะ |
| น้ำเปล่า | 2 ช้อนโต๊ะ | 2 ช้อนโต๊ะ | 2 ช้อนโต๊ะ | 2 ช้อนโต๊ะ |

นำส่วนผสมในแต่ละชุดการทดลองมาประกอบเป็นซอสเกรวี่ตามวิธีการมาตรฐาน โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการเคี่ยวของทั้ง 4 ชุดการทดลองเท่ากัน ประมาณ 10 นาที โดยใช้ไฟปานกลาง (70-80°C) ให้ได้ซอสที่มีลักษณะข้นเหลวตามต้องการ เมื่อได้ซอสเกรวี่จากน้ำมังคุดที่มีลักษณะที่ต้องการแล้วพักให้เย็น บรรจุในถุงซิปเพื่อวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ต่อไป

**3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส**

**3.3.1 วิเคราะห์ทางเคมี**

**การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)** : วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในอาหารด้วยเครื่อง pH Meter ทำการวิเคราะห์ใน 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น** : วัดค่าความชื้น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น DKSH Sartorius รุ่น MA160 วิเคราะห์ใน 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**3.3.2 วิเคราะห์ทางกายภาพ**

**การวิเคราะห์ค่าสี** : วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่า Spectrophotometer ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CM-5 อ่านค่าสีในระบบ CIE ได้แก่ ค่าความสว่าง (*L** value) ค่าสีแดง (*a** value) ค่าสีเหลือง (*b** value) ทำการวิเคราะห์ใน 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**การวิเคราะห์ค่าความหนืด** : วัดค่าความหนืด (Viscosity) ด้วยเครื่องวัดความหนืด Viscometer ยี่ห้อ Brookfield Ametek LV รุ่น DV Next Cone/Plate Rheometer ใช้ตัวอย่าง 250 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ใช้หัววัด (Spindle) LV-01 (61) แล้ววัดระยะทางที่ตัวอย่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.0 RPM เป็น เวลา 30 วินาทีที่อุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส (กสิภูมิ ทวนคง และคณะ, 2557) ทำการวิเคราะห์ใน 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**3.3.3 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส**

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ประกอบไปด้วยการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความข้นหนืดและความชอบโดยรวม โดยทำการวิเคราะห์ใน 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ด้วยวิธี 9-Points Hedonic Scale Test ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน มีสเกลความชอบ 9 จุด (Wiriyacharee, 2002) โดยมีการใช้คำบอกสเกลความชอบ ดังนี้

| | |
|---|---|
| ชอบมากที่สุด | เท่ากับ 9 |
| ชอบมาก | เท่ากับ 8 |
| ชอบปานกลาง | เท่ากับ 7 |
| ชอบเล็กน้อย | เท่ากับ 6 |
| เฉยๆ | เท่ากับ 5 |
| ไม่ชอบเล็กน้อย | เท่ากับ 4 |
| ไม่ชอบปานกลาง | เท่ากับ 3 |
| ไม่ชอบมาก | เท่ากับ 2 |
| ไม่ชอบมากที่สุด | เท่ากับ 1 |

**3.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี One-Way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT)

## 4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการใช้น้ำมังคุดในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่น้ำมังคุด พบว่า การเติมน้ำมังคุดส่งผลให้ค่า pH ของซอสเกรวี่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($p<0.05$) โดยซอสเกรวี่ในชุดควบคุมมีค่า pH มีค่าสูงที่สุด คือ 5.64 ขณะที่ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10, 15 และ 20 มีค่า pH เท่ากับ 4.18, 3.98 และ 3.89 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำมังคุดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของซอสเกรวี่ลดลง นอกจากนี้การเติมน้ำมังคุดมีผลในการลดปริมาณความชื้นในซอสเกรวี่ด้วยเช่นกัน โดยพบว่าซอสเกรวี่ชุดควบคุมมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 92.27) รองลงมาคือ ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ (ร้อยละ 89.64, 88.85 และ 88.18 ตามลำดับ) (ตารางที่ 3)

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ค่าความสว่าง (*L**) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**) ของซอสเกรวี่มีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนน้ำมังคุดมากขึ้น ($p$<0.05) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (*a**) ของซอสเกรวี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนมังคุดมากขึ้น ($p$<0.05) (ตารางที่ 4) ส่วนค่าความหนืดของซอสเกรวี่พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนน้ำมังคุดมากขึ้น ($p$<0.05) (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 3** ค่าวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดที่ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร (v/v)

| ค่าวิเคราะห์ | ตัวอย่างซอสเกรวี่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| ค่า pH | 5.64±0.20$^{c}$ | 4.18±0.03$^{b}$ | 3.98±0.04$^{ab}$ | 3.89±0.02$^{a}$ |
| ความชื้น (%) | 92.27±0.51$^{b}$ | 89.64±1.96$^{ab}$ | 88.85±0.25$^{a}$ | 88.18±0.25$^{a}$ |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-b}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05)

หมายเหตุ : ชุดที่ 1 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 0 (v/v) (ชุดควบคุม)
ชุดที่ 2 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10 (v/v)
ชุดที่ 3 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 15 (v/v)
ชุดที่ 4 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 (v/v)

**ตารางที่ 4** ค่าความสว่าง (*L** ; Lightness value) ค่าความเป็นสีแดง (*a** ; Redness value) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b**; Yellowness value) และ ค่าความหนืด (Viscosity) (cP) ของซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดที่ ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร (v/v)

| ค่าวิเคราะห์ | ตัวอย่างซอสเกรวี่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| ค่าความสว่าง (*L** value) | 53.94±0.05$^{b}$ | 52.90±0.13$^{ab}$ | 52.79±0.03$^{ab}$ | 51.99±0.02$^{a}$ |
| ค่าความเป็นสีแดง (*a** value) | 4.71±0.11$^{a}$ | 6.57±0.08$^{b}$ | 6.76±0.02$^{b}$ | 7.36±0.10$^{c}$ |
| ค่าความเป็นสีเหลือง (*b** value) | 22.45±0.27$^{c}$ | 20.48±0.34b$^{c}$ | 19.62±0.02$^{b}$ | 18.45±0.05$^{a}$ |
| ค่าความหนืด (cP) | 5933.3±5.0$^{d}$ | 5240.0±16.0$^{c}$ | 4840.0±14.4$^{b}$ | 4115.0±7.5$^{a}$ |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-d}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05)

หมายเหตุ: ชุดที่ 1 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 0 (v/v) (ชุดควบคุม)
ชุดที่ 2 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10 (v/v)
ชุดที่ 3 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 15 (v/v)
ชุดที่ 4 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 (v/v)

จากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุด พบว่า คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏและสีของตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดในทุกระดับไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ โดยคะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับค่อนข้างดี (ประมาณ 6.8–7.2 จากคะแนนเต็ม 9) แสดงถึงความยอมรับด้านลักษณะภายนอกที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ในคะแนนการยอมรับในด้านกลิ่น พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติเล็กน้อย โดยตัวอย่างควบคุมได้คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นสูงกว่าตัวอย่างอื่น ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10 ได้คะแนนต่ำที่สุด ซึ่งอาจมาจากกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำมังคุดที่บางคนไม่คุ้นเคย ส่วนคะแนนการยอมรับในด้านรสชาติ พบว่าตัวอย่างที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10 และ 20 ได้รับคะแนนด้านรสชาติสูงกว่าตัวอย่างอื่น สะท้อนถึงความกลมกล่อมที่เพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนการยอมรับในด้านความข้นหนืดพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p$>0.05) โดยทุกกลุ่มได้คะแนนใกล้เคียงกัน (7.00–7.07) สำหรับคะแนนการยอมรับในด้านความชอบโดยรวม พบว่าตัวอย่างซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด คือ 7.63 คะแนน รองลงมา คือ ตัวอย่างซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.30 แสดงให้เห็นว่า การเติมน้ำมังคุดมากขึ้นส่งผลให้ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงขึ้น

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดที่ระดับร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร (v/v)

| การทดสอบทางประสาทสัมผัส | ตัวอย่างซอสเกรวี่ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ชุดที่1 | ชุดที่ 2 | ชุดที่ 3 | ชุดที่ 4 |
| ลักษณะปรากฏ | 6.83±1.42$^{a}$ | 6.97±1.07$^{ab}$ | 6.87±1.25$^{a}$ | 7.00±1.44$^{b}$ |
| สี | 6.97±1.25$^{ab}$ | 6.80±1.10$^{a}$ | 6.87±1.43$^{a}$ | 7.20±1.30$^{b}$ |
| กลิ่น | 6.63±1.43$^{b}$ | 6.37±1.43$^{a}$ | 6.67±1.42$^{b}$ | 6.67.±1.40$^{b}$ |
| รสชาติ | 6.69±1.30$^{a}$ | 7.07±1.17$^{bc}$ | 6.93±1.26$^{b}$ | 7.10±1.21$^{c}$ |
| ความข้นหนืด | 7.00±1.20$^{ns}$ | 7.03±1.35$^{ns}$ | 7.03±0.93$^{ns}$ | 7.07±1.46$^{ns}$ |
| ความชอบโดยรวม | 7.20±1.45$^{b}$ | 6.70±1.42$^{a}$ | 7.30±1.26$^{b}$ | 7.63±1.16$^{a}$ |

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$^{a-b}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p$<0.05)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p$>0.05)

หมายเหตุ: ชุดที่ 1 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 0 (v/v) (ชุดควบคุม)

ชุดที่ 2 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 10 (v/v)

ชุดที่ 3 ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 15 (v/v)

ชุดที่ 4 ซอสเกรวี่เป็ดย่างที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 (v/v)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากผลการวิจัยพบว่าการเติมน้ำมังคุดในซอสเกรวี่ส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า pH ลดจาก 5.64 ในสูตรควบคุมเหลือ 3.89 เมื่อเติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hiranrangsee et al. (2016) ที่ระบุว่าน้ำมังคุดมีความเป็นกรดสูง (pH ประมาณ 3.8–4.3) อันเกิดจากกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริกและกรดมาลิก การลดค่า pH ดังกล่าวอาจเพิ่มความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์โดยช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ทนกรด (Bakshi et al., 2022) นอกจากนี้ปริมาณความชื้นของซอสเกรวี่ลดลงจากร้อยละ 92.27 เหลือร้อยละ 88.18 ตามปริมาณน้ำมังคุดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) และเส้นใยในน้ำมังคุดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระในระบบลดลง แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Bakshi et al. (2022) และ Manohar et al. (1990) ที่พบว่าการเติมวัตถุดิบจากผลไม้ซึ่งมีเพคตินและสารของแข็งสูงสามารถลดความชื้นและเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของซอสหรือพิวรีได้ ส่วนการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าค่าความสว่าง ($L^*$) และค่าความเป็นสีเหลือง ($b^*$) ลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ($a^*$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมังคุด การเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับองค์ประกอบของมังคุดซึ่งมีแอนโทไซยานินและโพลีฟีนอลที่ให้โทนสีแดง–ม่วง (Hiranrangsee et al., 2016) งานวิจัยที่ใช้สารสกัดมังคุดในผลิตภัณฑ์อื่น เช่น ไอศกรีม พบการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและสีในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่ค่าความหนืดของซอสเกรวี่ลดลงจาก 5933.3 cP เหลือ 4115.0 cP เมื่อเติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 ซึ่งอาจเกิดจากการเจือจางโครงสร้างเจลและการรบกวนพันธะระหว่างโมเลกุลเพคตินโดยกรดและน้ำตาลจากน้ำมังคุด แนวโน้มนี้สอดคล้องกับงานของ Manohar et al. (1990) ที่ระบุว่าปริมาณเพคตินและองค์ประกอบของแข็งมีบทบาทสำคัญต่อความหนืดของพิวรีผลไม้ และในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าการเติมน้ำมังคุดไม่ส่งผลต่อคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี และความข้นหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นด้านกลิ่นและรสชาติ โดยสูตรที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 ได้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (7.63 คะแนน) สอดคล้องกับงานของ Bakshi et al. (2022) ที่พบว่าการเติมพิวรีผลไม้บางชนิดสามารถเพิ่มความพึงพอใจของผู้บริโภค แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าการเติมน้ำมังคุดในซอสเกรวี่ที่ระดับร้อยละ 20 ให้ผลดีที่สุด ทั้งในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยได้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (7.63 คะแนน) และสามารถปรับปรุงสี รสชาติ และความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่อาจเป็นประโยชน์ต่อความปลอดภัยและการเก็บรักษา แม้ว่าการเติมในระดับนี้จะทำให้ความหนืดลดลง แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ผู้บริโภครับได้ ดังนั้นการเติมน้ำมังคุดร้อยละ 20 จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาเชิงพาณิชย์ของซอสเกรวี่น้ำมังคุด

**ภาพที่ 1** ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ซอสเกรวี่ที่เติมน้ำมังคุดร้อยละ 0 (ชุดที่ 1 : ชุดควบคุม), 10 (ชุดที่ 2), 15 (ชุดที่ 3) และ 20 (ชุดที่ 4)

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำหรับข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ การช่วยเหลือ การให้กำลังใจและการสนับสนุนตลอดมา

**7. เอกสารอ้างอิง**

กสิภูมิ ทวนคง, ดุษฎี อุตภาพ และ สันทณีย์ ปัญจอานนท์. (2557). การประยุกต์ใช้แป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาดัดแปรเพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสมะเขือเทศ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*, 37(1), 45-60.

ญาณพัฒน์ ลาภพาณิชยกุล, สุวรนี ปานเจริญ, ดวงทิพย์ รับพรดี และ ดวงพร ไม้ประเสริฐ. (2566). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำซอสเกรวีจากมัลเบอร์รี่ วิสาหกิจชุมชนเพื่อพืชผักผลไม้ปลอดภัย (GAP) ตำบลหนองย่างเสือ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี.* เอกสารการดำเนินโครงการ. มหาวิทยาลัยเทพสตรี. https://library.tru.ac.th/thesis/uploadspdflocal/2024-02-08-11-10-32-327817918103UMP30-184.pdf

บ้านอาชีพกู่เล็ก. (2564). *เผยความลับน้ำซุปเอนกประสงค์ น้ำสต๊อกไก่ ไขข้อสงสัย ทำไมทำกับข้าวที่บ้านไม่อร่อยเหมือนร้านอาหาร?.* [วิดีโอ]. https://www.youtube.com/watch?v=jzQbc6AupKU

ศุภมาศ กลิ่นขจร, นารีรัตน์ สุนทรธรรม, พัจนา สุภาสูรย์ และ สุปรียา ศุขเกษม. (2558). การผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากน้ำมังคุด. *วารสารวิชาการเกษตร, 33*(2), 190-204.

Bakshi, R. A., Aslam, A., Khan, Z. S., Fayaz, S., & Dar, B. N. (2022). Physiochemical, sensorial, and rheological characteristics of sauce developed from Kashmiri apples: Influence of cultivars and storage conditions. *Food Science & Nutrition, 10*(6), 1685–1693. https://doi.org/10.1002/fsn3.2239

Hiranrangsee, L., Kumaree, K. K., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2016). Extraction of anthocyanins from pericarp and lipids from seeds of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) by ultrasound-assisted extraction (UAE) and evaluation of pericarp extract enriched functional ice-cream. *Journal of Food Science and Technology, 53*(10), 3806–3813. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2357-0

Khaosod. (2025, กรกฎาคม). *ราคามังคุดปี 68 ร่วงหนักรอบกว่า 10 ปี เทรวม 10–15 บาท มังคุดดำราคา 6–8 ...* Khaosod. https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/techno-news/article_311945

Manohar, B., Ramankrishna, P., & Ramteke, R. (1990). Effect of pectin content on flow properties of fruit pulp concentrates. *Journal of Food Engineering, 12*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/0260-8774(90)90061-I

Ministry of Commerce (MOC). (2024). *ปิดฤดูกาลผลไม้ปี 67 อย่างงดงาม เกษตรกรยิ้ม ราคาพุ่งทุกรายการ* [ข่าว]. กระทรวงพาณิชย์. https://www.moc.go.th/th/gallery/article/detail/id/5/iid/611

Office of Agricultural Economics. (2567). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย / รายงานผลผลิตและสถานการณ์ผลไม้* [รายงานประจำปี/ไตรมาส]. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. https://www.agrithai.org/wpcontent/uploads/2024/03/statistic2566.pdf

Produce Report. (2025). *Thai durian and mangosteen prices slump*. Produce Report. https://www.producereport.com/article/thai-durian-mangosteen-prices-slump

SD Perspectives. (2025). *ผนึกกำลังหนุนเกษตรกรสวนมังคุดใต้ ใน "SET รวมพลัง อิ่มยกกำลัง 2"* (วิเคราะห์สถานการณ์มังคุด 2568). https://www.sdperspectives.com/activities/thai-mangosteen-price-drop-2025/

Sun-Waterhouse, D. (2011). The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(5), 899–920. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02499.x

Tridge. (2025). *Fresh mangosteen — Thailand market overview & prices*. Tridge. https://www.tridge.com/intelligences/mangosteen/TH

Wiriyacharee, P. (2002). *Sensory Evaluation*. Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University. Chiang Mai.

# ความผันแปรของความชื้นในดินในพื้นที่ บริเวณสวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี

# Spatial Variations Soil Moisture in Phu Khae Botanical Garden, Saraburi Province

**นฤมล บัวทอง[1*] , ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ[2] , พัชเรศร์ ชคัตตรัยกุล[2]**

**Naruemon Buathong[1] , Yutthaphong Kheereemangkla[2], patchares Chacuttrikul[2]**

[1]บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1]The Graduate School, Kasetsart University, Bangkok 10900, E-mail: Naruemon.buath@ku.th

[2]ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

**บทคัดย่อ**

การศึกษาความผันแปรของความชื้นดิน บริเวณสวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติดินบางประการ ความผันแปรของความชื้นดิน และความสัมพันธ์กับปริมาณฝน โดยเก็บตัวอย่างดินทั้งแบบไม่รบกวนโครงสร้าง และรบกวนโครงสร้าง ในพื้นที่ปลูกรวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ และพื้นที่พัฒนากิจกรรมของสวนฯ พุแค และติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกอัตโนมัติเพื่อเก็บข้อมูลฝน โดยศึกษาระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณฝนรวม 1,573.85 มิลลิเมตร สมบัติดินในภาพรวม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ค่า pH เป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (ค่าระหว่าง 5.94±0.58-7.33±0.38) ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ ความหนาแน่นของอนุภาคดินอยู่ในช่วง 1.26±0.08-1.38±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความชื้นดินเฉลี่ยระหว่าง 9.63±7.62-20.50±9.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยพื้นที่ปลูกรวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) มีความชื้นดินสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ความชื้นดินผันแปรตามปริมาณฝน โดยฝนมากขึ้นส่งผลต่อความชื้นดินที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปัจจัยด้านฝน สมบัติของดิน และสิ่งปกคลุม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นดิน

**คำสำคัญ:** ความชื้นในดิน, สมบัติดิน, ความผันแปร, สวนพฤกษศาสตร์พุแค

**Abstract**

The study of soil moisture variability at Phu Khae Botanical Garden, Saraburi Province, aimed to examine some soil properties, soil moisture variability, and its relationship with rainfall. Soil samples were collected both undisturbed and disturbed in the plantation area (conservation area), the natural regeneration forest, and the Phu Khae Botanical Garden's activity development area. Automatic rain gauges were installed to collect rainfall data. The study was conducted between August 2023 and August 2024. Results revealed that total rainfall was 1,573.85 mm. Overall soil properties were sandy loam with a moderately acidic to neutral pH (range 5.94-7.33). Organic matter and total nitrogen contents were low to relatively low. Soil particle density ranged from 1.26-

1.38 g/cm3, and average soil moisture content ranged from 9.63-20.50% by weight. The plantation area (conservation area) had higher soil moisture than other areas throughout the study period. Soil moisture fluctuated with rainfall. More rain resulted in increased soil moisture. The study concluded that factors such as rain, soil properties and cover affected soil moisture changes.

**Keywords:** Soil moisture, Soil properties, Variability, Phukae Botanical

**1. บทนำ**

ดินเปรียบเสมือนโครงสร้างสำหรับเก็บน้ำตามธรรมชาติ โดยทำหน้าที่ดูดซับน้ำฝนที่ตกลงมาเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างดินและตามชั้นหิน เมื่อน้ำผิวดินลดลงดินจะสามารถเติมน้ำให้กับลำธารออกโดยกลายเป็นน้ำท่า (Seeloyounkaew & Worawat, 2017) โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บในดิน (ความชื้นดิน) ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ และมีความผันแปรตามสภาพการใช้ที่ดิน ซึ่งการรักษาความชื้นของดินมีส่วนช่วยต่อการให้ผลผลิตของที่ดินและสอดคล้องตามแนวทางในการจัดการลุ่มน้ำ ปัจจุบันความต้องการของประชาชนในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติมีเพิ่มมากขึ้น ปัญหาการบุกรุกพื้นที่อนุรักษ์ ความเสื่อมโทรมของทรัพยากร เช่น ดิน น้ำ ป่าไม้ เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อความเสื่อมโทรมของระบบสิ่งแวดล้อม กรณีพื้นที่ป่าไม้ เมื่อป่าถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ที่ดินการเกษตร และชุมชนบนพื้นที่สูงที่เป็นต้นน้ำลำธาร ทำให้เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินที่ส่งผลต่อเนื่องถึงคุณภาพ ปริมาณ และอัตราการไหลของน้ำ หรือความไม่ยั่งยืนของกระบวนการทางอุทกวิทยาลุ่มน้ำ (เกษม และคณะ, 2529; Bach et al., 2011) เป็นต้น ทั้งนี้ ความชื้นในดินในพื้นที่ป่าไม้มีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร โดยปริมาณความชื้นในดิน และความสามารถในการดูดยึดน้ำฝนของดินในพื้นที่สิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชพรรณ และบทบาททางอุทกวิทยาของแต่ละพื้นที่ (Phongkhamphanh et al., 2018) สำหรับสวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี เป็นรูปแบบหนึ่งของพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์และจัดการทรัพยากรป่าไม้ โดยได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นเขตอนุรักษ์ป่าไม้ เขตพื้นที่ฟื้นฟูป่า และพื้นที่พัฒนาของสวนฯ ซึ่งการศึกษาสมบัติของดินบางประการโดยเฉพาะความผันแปรของความชื้นดิน และปัจจัยด้านอากาศ (ปริมาณฝน) ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ และส่งผลต่อเนื่องถึงสภาพของระบบนิเวศทั้งในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียง จึงมีความสำคัญในการนำข้อมูลมาใช้เพื่อการบริหารจัดการสวนพฤกษศาสตร์พุแค เพื่อการทำหน้าที่เป็นพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งนอกจากเพื่อความสมบูรณ์ของพื้นที่สวนฯ แล้วยังส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ของชุมชนบริเวณโดยรอบรวมถึงพื้นที่อื่น ๆ จากการบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem services) ในด้านต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

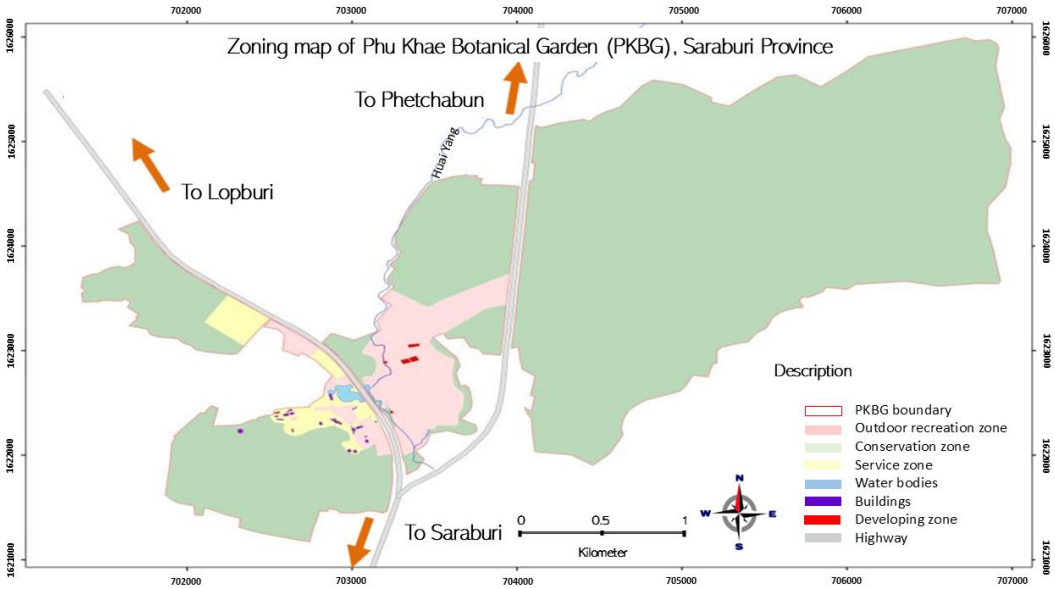
2.1 ศึกษาคุณสมบัติดินบางประการ ในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี

2.2 วิเคราะห์ความผันแปรของความชื้นดินกับปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

สวนพฤกษศาสตร์พุแค อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี (ภาพที่ 1) เป็นสวนพฤกษศาสตร์แห่งแรกของประเทศไทย ประกาศเป็นพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์ในปีพ.ศ. 2484 ปัจจุบัน เป็นหน่วยงานภาคสนามสังกัดกลุ่มงานพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งปลูกรวบรวมพรรณไม้อย่างเป็นหมวดหมู่ เป็นแหล่งอนุรักษ์พันธุกรรมพืช โดยเฉพาะไม้มีค่า หายาก และใกล้สูญพันธุ์ เหมาะสำหรับเป็นแหล่งเรียนรู้ทางธรรมชาติ แหล่งศึกษาวิจัยและบริการความรู้ด้านพรรณพืช รวมทั้งเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ พื้นที่รวมทั้งหมด 5,554 ไร่ มีถนนพหลโยธิน (ทางหลวงหมายเลข 1) และทางหลวงหมายเลข 21 เป็นเส้นทางหลัก พื้นที่แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนที่ 1 สำนักงานของสวนพฤกษศาสตร์พุแค ตั้งอยู่ด้านตะวันตกของถนนพหลโยธิน ส่วนที่ 2 ด้านตะวันออกของถนนพหลโยธิน เป็นแปลงปลูกพรรณไม้โดยจัดเป็นหมวดหมู่ และส่วนที่ 3 ด้านตะวันออกของทางหลวงหมายเลข 21 มีสภาพเป็นป่าธรรมชาติ ลักษณะภูมิประเทศโดยรวมเป็นพื้นที่ราบมีภูเขาอยู่ด้านทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 70 เมตร บริเวณตอนกลางของพื้นที่มีลำห้วย (ห้วยยาง) ไหลผ่าน




**ภาพที่ 1** พื้นที่ศึกษาบริเวณสวนพฤกษศาสตร์พุแค อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

3.2 การรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล

1) ปริมาณฝน รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนจากเครื่องวัดแบบบันทึกอัตโนมัติ (Recording rain gage) ซึ่งติดตั้งไว้บริเวณอาคารสำนักงานของสวนพฤกษศาสตร์พุแค ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2566-ปัจจุบัน วิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของฝน ได้แก่ ปริมาณฝนรายวัน และฝนรายเดือน

2) สมบัติของดิน

(1) จุดเก็บตัวอย่างดิน กำหนดจุดเก็บตัวอย่างตามสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่พัฒนากิจกรรมของสวนฯ พื้นที่ปลูกรวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) และพื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ

(2) การเก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างดินตามวิธีการมาตรฐาน (เอิบ, 2542) โดยเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง (Undisturbed soil sample) โดยใช้กระบอกเก็บดิน (Soil core) และแบบรบกวนโครงสร้าง (Disturbed soil sample) โดยเก็บใส่ถุงพลาสติก เก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic sampling) โดยแต่ละจุดมีระยะห่างประมาณ 500 เมตร เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน (เนื่องจากระดับความลึกมากกว่า 15 เซนติเมตร เป็นชั้นหิน) เก็บตัวอย่างดินรวมทั้งหมด 24 จุด และทำการบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมของทุกจุดเก็บตัวอย่าง

(3) ช่วงเวลา เก็บตัวอย่างดินทุกเดือนในช่วงเดือนสิงหาคม 2566-สิงหาคม 2567

(4) การวิเคราะห์ข้อมูล (ตารางที่ 1) การเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density; BD) และความชื้นดิน (Soil moisture) ส่วนตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อดิน (Soil texture) อินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter; OM) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

**ตารางที่ 1** รายการวิเคราะห์ดินตามวิธีมาตรฐาน

| รหัส | พารามิเตอร์ | วิธี | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| 1 | ความชื้นในดิน | Gravimetric method | Donahue et al., 1977 |
| 2 | ความหนาแน่นดิน | Core method | Blake and Hartge, 1986 |
| 3 | เนื้อดิน | Hydrometer method | Bouyoucos, 1927 |
| 4 | ค่าความเป็นกรด-ด่าง | pH meter | National Soil Survey Center, 1996 |
| 5 | ค่าการนำไฟฟ้า | EC meter | National Soil Survey Center, 1996 |
| 6 | ไนโตรเจนทั้งหมด | Kjeldahl method | Bremner, 1995 |
| 7 | อินทรียวัตถุ | Walkley and Black Tritation | Nelson and Oades, 1998 |

(5) การนำเสนอผลการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และสวนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค

3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความชื้นดิน และลักษณะของฝน โดยการสร้างกราฟเพื่อศึกษาความผันแปรของความชื้นดินเฉลี่ยรายเดือน และความสัมพันธ์กับลักษณะของฝน (ปริมาณฝนรายเดือน)

**4. ผลการวิจัย**

4.1 ปริมาณฝน

ปริมาณฝนรวม (สิงหาคม 2566-สิงหาคม 2567) มีปริมาณฝนรวม 1,573.85 มิลลิเมตร โดยเดือนที่มีปริมาณฝนตกสูงสุด ได้แก่ เดือนกันยายน พ.ศ. 2566 มีปริมาณฝน 300.19 มิลลิเมตร ส่วนเดือนที่มีปริมาณฝนตกน้อยที่สุด ได้แก่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2567 มีปริมาณฝน 2.23 มิลลิเมตร โดยลักษณะการตกของฝนมีลักษณะเหมือนกับสภาพอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยสำหรับภูมิภาคภาคกลาง โดยฝนตกมากในช่วงฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงพฤศจิกายน ส่วนช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน เดือนธันวาคมถึงมิถุนายน ปริมาณฝนลดลง สำหรับในช่วงปีที่ทำการศึกษา พบว่า ช่วงที่มีปริมาณฝนมาก ได้แก่ ช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงปลายเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567

4.2 สมบัติดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี มีผลการวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพ และเคมี (ตารางที่ 2) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ และเคมี บริเวณพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี

| สมบัติการวิเคราะห์ | พื้นที่พัฒนากิจกรรม | พื้นที่อนุรักษ์พรรณไม้ | พื้นที่ป่าฟื้นฟู |
|---|---|---|---|
| ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) | 13.52±7.25 | 20.5±9.09 | 9.63±7.62 |
| ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | 1.32±0.06 | 1.26±0.08 | 1.38±0.05 |
| อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็น) | 0.15±0.08 | 0.14±0.07 | 0.26±0.04 |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง | 7.33±0.38 | 6.80±0.73 | 5.94±0.58 |
| ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) | 1.30±0.47 | 0.69±0.34 | 0.45±0.67 |
| ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็น) | 0.11±0.04 | 0.15±0.07 | 0.08±0.03 |

1) สมบัติทางกายภาพ

ความหนาแน่นรวมของอนุภาคดิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.26±0.08 -1.38±0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ บริเวณป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ ส่วนพื้นที่ปลูก/รวบรวมพรรณไม้(พื้นที่อนุรักษ์) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ แต่ทั้ง 3 พื้นที่ มีค่าไม่แตกต่างกันมาก

2) สมบัติทางเคมี

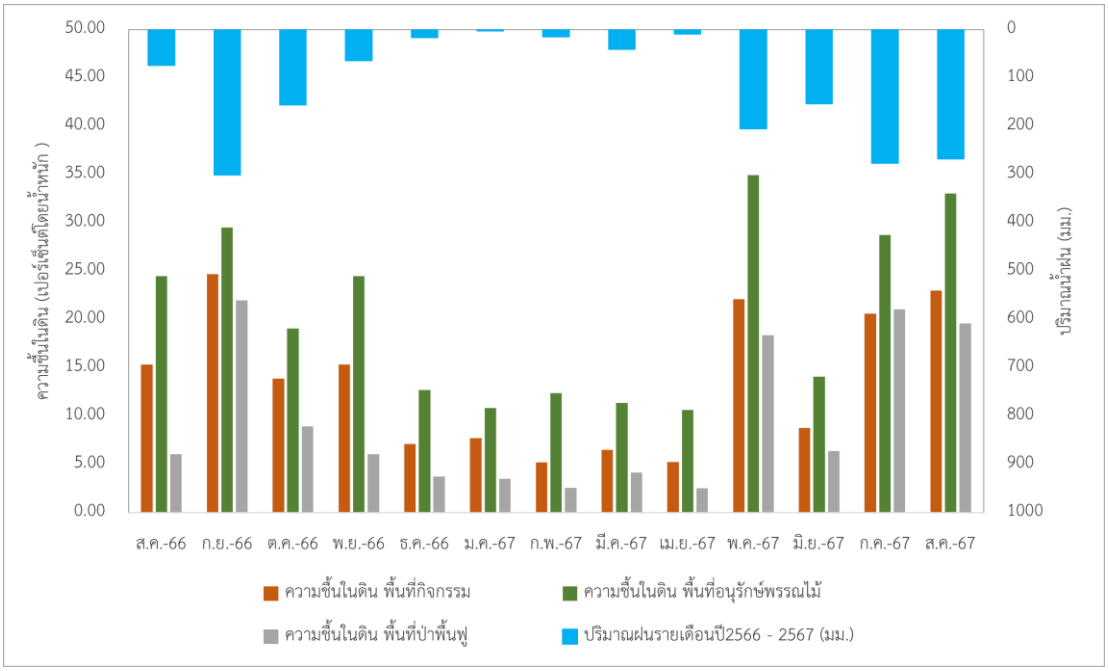
ปริมาณอินทรียวัตถุ พื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติมีค่าสูงที่สุด ค่าความกรด-ด่าง พื้นที่ปลูก/รวบรวมพรรณไม้ และพื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ ดินมีสภาพเป็นกรดปานกลาง-กรดอ่อน แต่พื้นที่พัฒนากิจกรรม มีสภาพเป็นกลาง ค่าการนำไฟฟ้า พื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าพื้นที่อื่น แต่ทั้ง 3 พื้นที่ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ทำให้ผลผลิตลดลง เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า 2 เดลิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณเกลือที่ต่ำซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) ส่วนค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีปริมาณอยู่ในช่วงต่ำถึงค่อนข้างต่ำ

3) สมบัติด้านอุทกวิทยาดิน

ความชื้นดินในพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแคในช่วงเดือนสิงหาคม 2566 - สิงหาคม 2567 พบว่า พื้นที่ปลูก/รวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) มีค่าความชื้นดินเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่รูปแบบอื่น ๆ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยมีค่าสูงสุดในเดือนพฤกษภาคม พ.ศ.2567 (34.98±9.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และค่าต่ำสุด ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 (10.64±9.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ส่วนพื้นที่พัฒนากิจกรรม และพื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ มีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน พ.ศ.2566 (24.72±7.25 และ 22.00±7.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่า พื้นที่ปลูก/รวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ทำให้สามารถลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยจากดิน รวมทั้งต้นไม้ช่วยให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำของดินเพิ่มขึ้นโดยการปรับสมบัติของดินจึงมีความชื้นดินสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ส่วนพื้นที่ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา เนื่องจากสภาพของป่าที่ยังมีต้นไม้ขนาดเล็กและเป็นไม้ประเภทผลัดใบในช่วงฤดูร้อน ส่งผลถึงการสูญเสียน้ำจากดิน รวมทั้งการเพิ่มความสามารถในการเก็บกักของดินของป่ายังมีศักยภาพไม่ดีจึงทำให้ความชื้นดินมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม ความชื้นดินในทุกพื้นที่ผันแปรตามฤดูกาลโดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณฝนตกมากทำให้ความชื้นในดินสูงขึ้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์ด้านเนื้อดินพบว่า ทั้ง 3 พื้นที่มีเนื้อดินที่ใกล้เคียงกันโดยเป็นดินในกลุ่มดินเหนียว ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำได้มาก และสูญเสียน้ำได้ง่ายเช่นกัน เมื่อมีสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น สำหรับในพื้นที่ศึกษานี้ปริมาณฝนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความชื้นดิน

4.3 ความสัมพันธ์ของความชื้นดิน และลักษณะของฝน

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินกับปริมาณฝนรายเดือน (ภาพที่ 2) พบว่า มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฝนทั้ง 3 พื้นที่ โดยฝนที่ตกมากขึ้นทำให้ความชื้นดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 เป็นช่วงที่มีฝนตกน้อย ความชื้นดินซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินสูญเสียไปจากการระเหย (Evaporation) และการใช้น้ำของพืช (Transpiration) ทำให้ความชื้นในดินลดลง ส่วนในช่วงที่มีปริมาณฝนตกมากขึ้น (เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2566 และเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม พ.ศ. 2567) เป็นช่วงที่ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินสามารถเก็บกักน้ำทั้งในส่วนที่เคลือบเม็ดดิน และอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน โดยต้นไม้เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่เพิ่มความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน




**ภาพที่ 2** ความสัมพันธ์ของความชื้นดินและปริมาณฝน บริเวณพื้นที่สวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี

## 5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ปริมาณฝน

การตกของฝนมีลักษณะเช่นเดียวกับการตกของฝนในประเทศไทย และภูมิภาคภาคกลาง โดยในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม) เป็นช่วงที่มีฝนตกมาก ส่วนช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน ปริมาณฝนน้อยลง และบางเดือนไม่มีฝนตก ซึ่งเป็นไปตามลักษณะอากาศประจำถิ่นของประเทศไทยที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม และลมประจำถิ่น

5.2 สมบัติดิน

สมบัติดินในพื้นที่ศึกษา พบว่า เป็นดินที่สามารถเก็บกักน้ำได้มากแต่ก็สูญเสียน้ำได้ง่ายเช่นกัน ส่วนสมบัติดินทั้งด้ายกายภาพ และเคมี เป็นดินที่ไม่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร เนื่องจากเป็นดินตื้น ความอุดมสมบูรณ์โดยพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนมีค่าต่ำ ดังนั้น จึงควรใช้พื้นที่ในการเป็นพื้นที่ป่าตามสภาพธรรมชาติ

5.3 ความชื้นดิน และความสัมพันธ์กับปริมาณฝน

ความชื้นในดินมีความผันแปรตามสภาพการใช้ที่ดิน และลักษณะอากาศ (ปริมาณฝน) โดยพื้นที่ปลูก/รวบรวมพรรณไม้ (พื้นที่อนุรักษ์) ซึ่งมีสิ่งปกคลุมดินเป็นป่าเป็นบริเวณที่มีความชื้นดินสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากต้นไม้ช่วยลดความรุนแรงของฝนทำให้ฝนสามารถซึมลงไปในดินได้มากขึ้น รวมทั้งต้นไม้ช่วยในการปรับปรุงสมบัติของดินทำให้มีความสามารถในการเก็บกักน้ำได้มากขึ้น ส่วนปริมาณฝนที่มีมากขึ้นก็เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความผันแปรของความชื้นดินขึ้นกับปริมาณฝน รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ สิ่งปกคลุมดิน สมบัติของดิน รวมทั้งสภาพของพื้นที่ โดยผลการวิเคราะห์ความชื้นดิน พบว่าทั้งสามพื้นที่มีความชื้นในดินมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณฝน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wannawong (2001) ซึ่งพบว่า ความชื้น

ดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณฝน และระดับความลึกของดิน เนื่องจากความชื้นในดินมีความผันแปรอยู่ตลอดเวลาเป็นผลมาจากสภาพอากาศ สิ่งปกคลุมดิน สมบัติดิน รวมถึงสภาพภูมิประเทศ

5.4 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

1) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุม และใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง ควรทำการตรวจวัดในระยะเวลาที่ยาวนาน แลครอบคลุมทุกปัจจัย การศึกษาเพียงรอบปีเดียว อาจยังไม่เพียงพอต่อข้อสรุปต่างๆ ควรจะต้องมีการดำเนินการศึกษาต่อไปควบคู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความชื้นดินด้วย

2) สิ่งปกคลุมดินโดยเฉพาะป่าไม้มีความสำคัญในการเพิ่มความชื้นในดิน และลดผลกระทบจากปัญหาอื่น ๆ เช่น การพังทลายของดิน คุณภาพน้ำ เป็นต้น ทางหน่วยงานที่บริหารจัดการพื้นที่จึงควรกำหนดมาตรการ หรือแนวทางในการใช้พื้นที่ให้มีประสิทธิภาพ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสวนพฤกษศาสตร์พุแค จังหวัดสระบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทั้งการเก็บข้อมูล และให้ความอนุเคราะห์ที่พักในช่วงระหว่างการทำวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. เข้าถึงได้จาก https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf.

เกษม และคณะ. (2529). ผลกระทบของการใช้ดินบนภูเขาต่อลักษณะการไหลของน้ำบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปุย เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์. กรุงเทพฯ. 73 หน้า

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมที่ดิน. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่าง ดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจ รับรองมาตรฐานสินค้า.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. (2542). แร่วิทยาและจุลสัณฐานวิทยาของดินเค็มในประเทศไทย. สำนักงานปลัดทบวงมหาวิทยาลัย สำนักมาตรฐานอุดมศึกษา ส่วนวิจัยและพัฒนา: กรุงเทพฯ.

Bach H, Clausen TJ, Dang TT, Emerton L, Facon T, Hofer T, Lazarus K, Muziol C, Noble A, Schill P, Sisouvanh A, Wensley C and Whiting L (2011). From local watershed management to integrated river basin management at national and transboundary levels. Mekong River Commission, lao PDR.

Blake, G.R., Hartge, & K.H. (1986). Bulk density. In klute, A. Ed. Method of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogy Methods. 2nd Ed. Amber: Madison, Wisconsin.

Bouyoucos, G. J. (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. Soil Science 23: 343-354. doi:DOI: 10.1097/00010694-192705000-00002

Brady, N. C., and R.R. Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.

Bremner, J.M. 1995. Nitrogen availability indices. Pp. 1324-1345. In C.A. Black (ed.-in-chief). Methods of Soil Analysis. Past 2, Agron. 9. Am. J. 41 : 747-750.

Donahue, R.L., Miller, R.W., Shickluna, & J.C. (1977) Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth., Englewood, Cliffs, N.J: Prentice-Hall.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. United States Department of Agriculture, Natl. Soil Surv. Cent., Soil Surv. Lab., Soil Survey Investigation No. 42, Version 3.

Nelson, P.N., and J.M. Oades. 1998. Organic matter, sodicity and soil structure, pp. 67-84. In M.E. Sumner and R. Naidu, eds. Sodic Soils. Oxford University Press, New York.

Phongkhamphanh, T., Khamyong, S., Anongrak, N., Sri-Ngernyuang, K., & Paramee., a. S. (2018). Water storage potential of two different dry dipterocarp forest sites in Northern Thailand. . Journal of Tropical Forest, Research. 2: 1-18.

Seeloyounkaew, T., & Worawat, O. (2017). Water storages in plants and soils of community forest around upland rice planting areas, Mae Wang district, Chiang Mai province. Journal of Science & Technology, MSU 36 (4) : 444-451. (in Thai)

Wannawong, S. 2001. Soil moisture variation from different land use types at Phu Wiang watershed, Khon Kaen province. In Proceedings of the Forestry Conference 2002. September 16-20, 2002. Royal Forest Department, Bangkok, pp. 280-287 (in Thai)

# การประเมินคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ตำบลทุ่งมหามหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว ประเทศไทย

# Groundwater Quality Assessment for Agricultural in Thung Maha Charoen Subdistrict, Wang Nam Yen District, Sa Kaeo Province

**วริทธิ์ภัส วัชรชุมสุวรรณ[1*], ภูมิพัฒน์ ภาชนะ[2], จักรพันธ์ นาน่วม[3]**

**Waritpat Watcharachumsuwan[1*], Pumipat Pachana[2], Jakkaphun Nanuam[3]**

[1*]สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

[1*]Department of Environmental Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi. E-mail: 63910233@go.buu.ac.th

[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

[2]Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi. E-mail: katavut@buu.ac.th

[3]สำนักงานการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

[3]Department of Educational Office, Faculty of Science, Burapha University Chonburi. E-mail: Jakkaphu@buu.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำบาดาล และความเหมาะสมในการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจาก 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม–ตุลาคม 2567) และฤดูแล้ง (พฤศจิกายน 2567–มกราคม 2568) ดำเนินการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolve Solid: TDS) ความกระด้างรวม (Total Hardness: TH), แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) คลอไรด์ (Cl) ซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) และประเมินดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร ได้แก่ อัตราการดูดซับโซเดียม (Sodium Adsorption Ratio: SAR), เปอร์เซ็นต์โซเดียม (Percent Sodium: Na%), อัตราการดูดซับแมกนีเซียม (Magnesium Adsorption Ratio: MAR) และอัตราส่วนเคลลี่ (Kelley's Ratio: KR) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ค่าการนำไฟฟ้า, ค่าของแข็งละลายทั้งหมด, แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม , คลอไรด์ และความกระด้างรวม อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามมาตรฐานของ FAO อย่างไรก็ตาม ตรวจพบค่าของโพแทสเซียมและซัลเฟต ที่สูงเกินมาตรฐานในบ่อที่ 2 ในฤดูฝน ซึ่งในบ่อที่ 2 มีค่าซัลเฟต สูงกว่า 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ขณะที่ค่าดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรทั้งหมดแสดงว่า น้ำบาดาลมีความเหมาะสมสำหรับการเกษตร โดยค่า SAR อยู่ในช่วง 1.22–1.40, %Na อยู่ในช่วง 31.25–37.69, ค่า MAR ต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับได้สูงสุดที่ 50 และค่า KR ต่ำกว่า 1 สรุปได้ว่า น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษานี้โดยรวมมีความเหมาะสมในการใช้เพื่อการทำเกษตร อย่างไรก็ตาม ควรมีการเฝ้าระวังและบริหารจัดการน้ำในระยะยาว โดยเฉพาะในบ่อที่มีค่าซัลเฟต และโพแทสเซียมสูง เพื่อลดผลกระทบต่อดินและพืชในอนาคต

**คำสำคัญ:** คุณภาพน้ำบาดาล, ดัชนีคุณภาพน้ำ, การจัดการน้ำเพื่อการเกษตร, จังหวัดสระแก้ว

**Abstract**

This study aimed to assess the physical and chemical characteristics of groundwater and its suitability for agricultural use in Thung Maha Charoen Subdistrict, Wang Nam Yen District, Sa Kaeo Province. Groundwater samples were collected from three wells during the rainy season (August–October 2024) and the dry season (November 2024–January 2025). The parameters analyzed included pH, Electrical Conductivity (EC), Total Dissolved Solids (TDS), Total Hardness (TH), calcium ($Ca^{2+}$), magnesium ($Mg^{2+}$), sodium ($Na^{+}$), potassium ($K^{+}$), chloride ($Cl^{-}$), and sulfate ($SO_4^{2-}$). Agricultural water quality indices were also evaluated, namely Sodium Adsorption Ratio (SAR), Percent Sodium (%Na), Magnesium Adsorption Ratio (MAR), and Kelley's Ratio (KR). The results indicated that pH, EC, TDS, Ca, Mg, Na, Cl, and TH values were within the acceptable limits set by the FAO standards. However, elevated levels of potassium and sulfate were detected in well 2 during the rainy season, with sulfate concentrations exceeding 2,000 mg/L. All agricultural water quality indices suggested that the groundwater was generally suitable for irrigation, with SAR values ranging from 1.22 to 1.40, %Na ranging from 31.25% to 37.69%, MAR values well below the maximum acceptable limit of 50, and KR values less than 1. In conclusion, groundwater in the study area is generally suitable for agricultural purposes. Nevertheless, continuous monitoring and proper water management are recommended, particularly for wells with high sulfate and potassium levels, to minimize potential impacts on soil quality and crop productivity in the future.

**Keywords:** Groundwater Quality, Water Quality Indices, Agricultural Water Management, Sa Kaeo Province

## 1. บทนำ

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อการบริโภคในครัวเรือน อุตสาหกรรม และการเกษตร โดยเฉพาะพื้นที่แห้งแล้งมีความต้องการใช้น้ำเป็นอย่างมากเทียบกับน้ำผิวดิน รวมทั้งพื้นที่ที่ระบบชลประทานยังเข้าไม่ถึง (Singh et al., 2022) การปนเปื้อนของน้ำบาดาลส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ปุ๋ยเคมีในการเกษตรกรรม และการทำเหมือง (Haroon & Muhammad, 2022; Kumar et al., 2022; Nemčić-Jurec et al., 2019) ความเหมาะสมของน้ำบาดาลสำหรับการบริโภค การเกษตร และอุตสาหกรรม ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ธรณีวิทยาของหิน ระดับการผุกร่อนทางเคมีของหินชนิดต่างๆ และคุณภาพของน้ำเติม (Adimalla et al., 2018; Li et al., 2017) คุณภาพน้ำที่ไม่ดีหากนำไปใช้เพื่อการเกษตรอาจทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของดิน และส่งผลกระทบต่อพืชผลทางการเกษตร (Bouimouass et al., 2022; Muhammad et al., 2019)

ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 153 ล้านไร่ พบว่าเป็นพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทาน 95 ล้านไร่ โดยต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งการเพาะปลูกผลผลิตทางการเกษตร ความอุดมสมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี หากเกิดฝนทิ้งช่วงทำให้ไม่สามารถเพาะปลูกพืชในช่วงฤดูแล้งได้ และไม่มีแหล่งน้ำสำหรับการเพาะปลูก จึงทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่ไม่แน่นอน เกิดความเสี่ยงต่อการลงทุนและภาวะหนี้สิน ไม่มีความมั่นคงในอาชีพเกษตรกรรม ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศทำให้พื้นที่เกษตรกรรมทั้งนอกเขตชลประทานและเขตชลประทานหลายแห่งขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล , 2563) ด้วยเหตุนี้ น้ำบาดาลจึงเป็นแหล่งน้ำที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ตลอดจนรองรับความ

ต้องการใช้น้ำของเกษตรกร โดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งที่จำเป็นต้องใช้น้ำสำหรับเพาะปลูกผลผลิตทางการเกษตรได้ น้ำบาดาลจะเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มศักยภาพของการมีน้ำใช้เพื่อการเกษตร (Ayyandurai et al., 2022)

ด้วยสถานการณ์ภัยแล้ง และการขาดแคลนน้ำในการทำเกษตร กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้รับงบประมาณจากรัฐบาล ในการพัฒนาต้นแบบการสร้างระบบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรแปลงใหญ่รับมือภัยแล้งภาคตะวันออก รวมทั้งในพื้นที่ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว เพื่อพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลให้เป็นแหล่งน้ำสำรองเพื่อการเกษตร ที่จะมีน้ำใช้เพื่อการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ทำให้เกษตรวางแผนเตรียมเพาะปลูกลำไย ปาล์ม มะม่วง และพืชผักสวนครัวชนิดต่างๆ ดังนั้นความเสี่ยงการปนเปื้อนของน้ำที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรและแหล่งอื่น ๆ และความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร จึงทำให้การประเมินคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่นี้มีความสำคัญ ในการพิจารณาความเหมาะสมของน้ำบาดาลสำหรับการทำเกษตร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมของน้ำบาดาลสำหรับการเกษตรในพื้นที่ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของน้ำบาดาลและเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการเกษตร ผลการศึกษามุ่งเน้นให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับข้อจำกัดที่อาจเกิดจากคุณภาพน้ำบาดาล และเสนอแนะแนวทางในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนการทำการเกษตรอย่างยั่งยืนในพื้นที่ต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว

2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ ตำบลทุ่งมหาเจริญ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพของน้ำ และความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ ต.ทุ่งมหาเจริญ อ.วังน้ำเย็น จ.สระแก้ว เก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 3 บ่อ วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolve Solid; TDS) ความกระด้างรวม (Total Hardness; TH) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Scanlon & Cook) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) คลอไรด์ ($Cl^-$) ซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (Sodium Adsorption Ratio; SAR) เปอร์เซ็นต์โซเดียม (Sodium percentage; %Na) อัตราการดูดซับแมกนีเซียม (Magnesium Adsorption Ratio; MAR) อัตราส่วนของเคลลี่ (Kelly’s Ratio; KR) โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำบาดาลตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร Food and Agriculture Organization (FAO, 2003) ในช่วงฤดูฝน และช่วงฤดูแล้ง

### 3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ บริเวณ อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** สถานที่เก็บตัวอย่าง

| บ่อที่เก็บ | สถานที่เก็บ | พิกัด | ลักษณะพื้นที่ |
|---|---|---|---|
| 1 | บ้านชัยอุดม ตำบลทุ่งมหาเจริญ | 178160 E<br>1490792 N | เกษตรกรรม |
| 2 | บ้านคลองพัฒนา ตำบลทุ่งมหาเจริญ | 179391 E<br>1495504 N | เกษตรกรรม |
| 3 | บ้านแสนสุข ตำบลทุ่งมหาเจริญ | 179717 E<br>1491972 N | เกษตรกรรม |

**3.2 การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี**

เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลโดยวิธีการสูบ (Pumping) โดยจะต้องสูบน้ำทิ้งไว้นาน ประมาณ 10 – 15 นาที ก่อนแล้วค่อยเก็บ เก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวด Polyethylene และก่อนเก็บตัวอย่างน้ำให้ล้างด้วยน้ำตัวอย่างที่จะเก็บก่อน 2-3 ครั้ง เก็บน้ำตัวอย่าง ประมาณ 1 ลิตร โดยทำการวัดความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ณ จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทันที และเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในที่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงนำน้ำตัวอย่างมายังห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำบาดาล ได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต และความกระด้างรวม โดยใช้การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธี Standard method (APHA., 2017)

**3.3 การประเมินดัชนีความเหมาะสมของคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร**

การประเมินดัชนีความเหมาะสมของน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ เปอร์เซ็นต์โซเดียม (Na%) อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) อัตราส่วนของเคลลี (KR) เป็นเกณฑ์คุณภาพที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำและความเหมาะสมในการใช้ในการทำเกษตร ซึ่งการหาค่าคำนวณดัชนีเพื่อประเมินความเหมาะสมของน้ำบาดาลสำหรับการเกษตร ดังนี้

2.3.1 อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (Sodium Adsorption Ratio: SAR) คำนวณได้ดังสมการ (1)

$$\mathrm{SAR} = \frac{\mathrm{Na}}{\sqrt{\frac{\mathrm{Ca+Mg}}{2}}} \quad (1)$$

โดยที่ Na – โซเดียม, Ca – แคลเซียม และ Mg – แมกนีเซียม มีหน่วยเป็นมิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร (meq/l)

2.3.2 เปอร์เซ็นต์โซเดียม (Percent Sodium: %Na) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$\%\mathrm{Na} = \frac{\mathrm{Na}}{\mathrm{Ca+Mg+Na+k}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ Na –โซเดียม, K– โพแทสเซียม, Ca – แคลเซียม และ Mg – แมกนีเซียม มีหน่วยเป็นมิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร (meq/l)

2.3.3 อัตราส่วนของเคลลี (Kelly ratio; KR) คำนวณได้ดังสมการ (3)

$$\mathrm{KR} = \frac{\mathrm{Na}}{(\mathrm{Ca+Mg})} \quad (3)$$

โดยที่ Na –โซเดียม, Ca – แคลเซียม และ Mg – แมกนีเซียม มีหน่วยเป็นมิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร (meq/l)

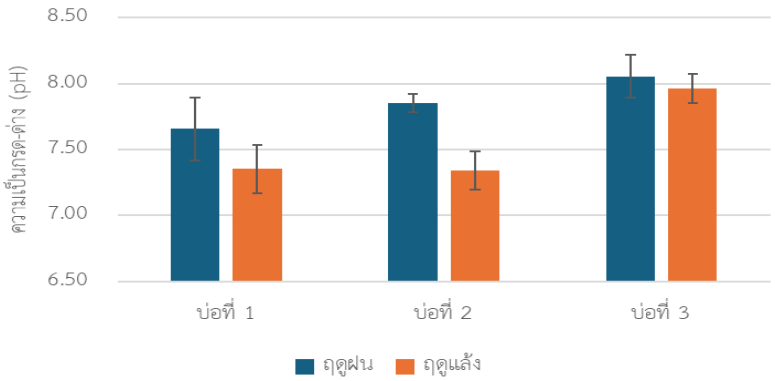
2.3.4 อัตราการดูดซับแมกนีเซียม (Magnesium Adsorption Ratio; MAR) คำนวณได้ดังสมการ (4)

$$\mathrm{MAR} = \frac{\mathrm{Mg}}{\mathrm{Ca+Mg}} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ $Ca^{2+}$ – แคลเซียม และ $Mg^{2+}$ – แมกนีเซียม มีหน่วยเป็นมิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร

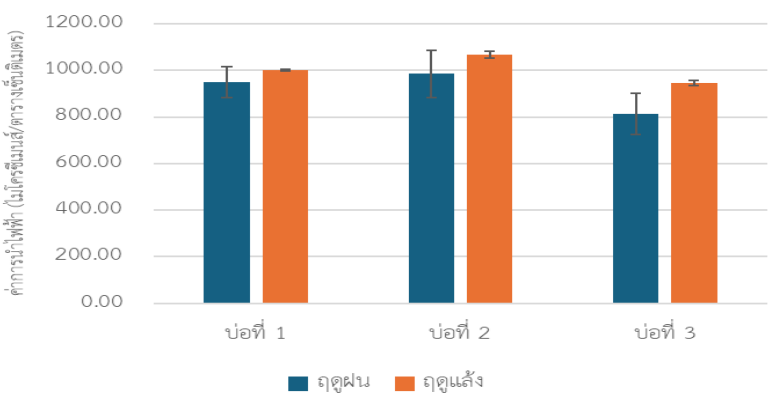
## 4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี




**ภาพที่ 1** ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

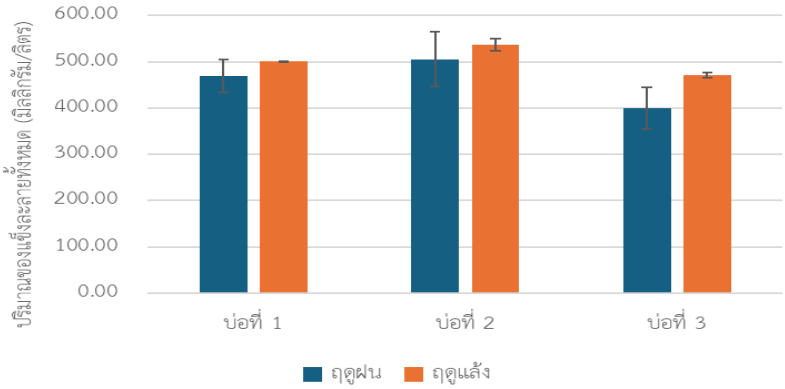
จากภาพที่ 1 ความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.66 ถึง 8.06 โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.66±0.24 บ่อที่ 2 เท่ากับ 7.86±0.07 และบ่อที่ 3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.06±0.16 ในช่วงฤดูแล้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 7.34 ถึง 7.97 โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.35±0.18 บ่อที่ 2 เท่ากับ 7.34±0.14 ขณะที่บ่อที่ 3 มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย เท่ากับ 7.97±0.11




**ภาพที่ 2** ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

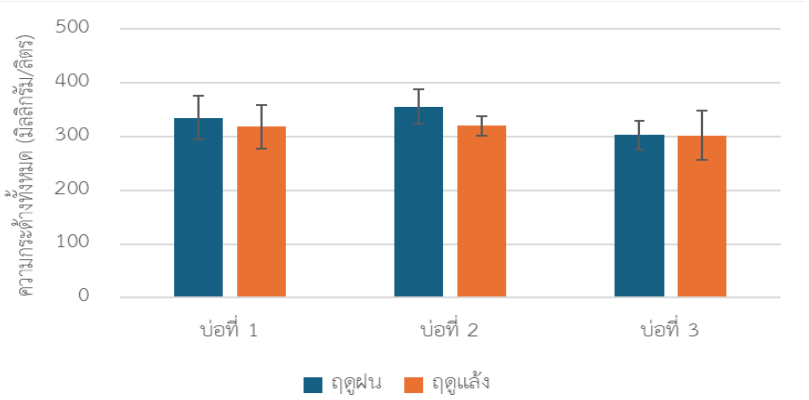
จากภาพที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้า ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 813.00 ถึง 985.17 โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 950.00±66.34 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บ่อที่ 2 เท่ากับ

985.17±101.74 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และบ่อที่ 3 เท่ากับ 813.00±88.24 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ในฤดูแล้ง ค่าการนำไฟฟ้า เพิ่มขึ้นเล็กน้อย มีค่าเท่ากับ 1001.50±2.81, 1067.75±14.53 และ 945.25±11.04 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ที่บ่อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



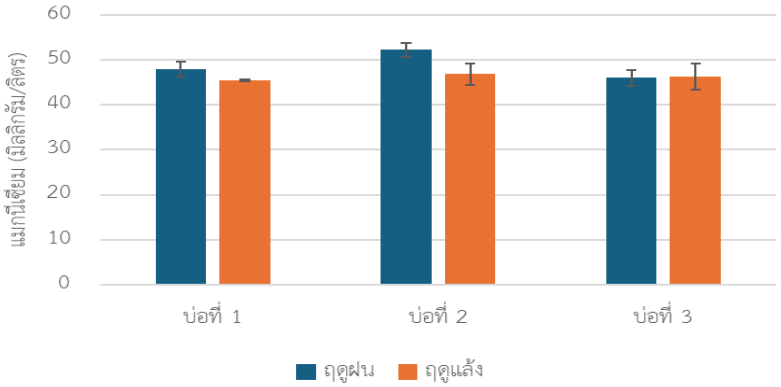

**ภาพที่ 3** ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolve Solid; TDS) ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 3 ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด อยู่ในช่วง 399.33 ถึง 505.67 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 469.83±35.59 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 505.67±58.83 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 399.33±44.99 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกบ่อ โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 500.50±1.38 mg/L บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 536.82±13.25 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 เท่ากับ 471.68±5.66 มิลลิกรัม/ลิตร



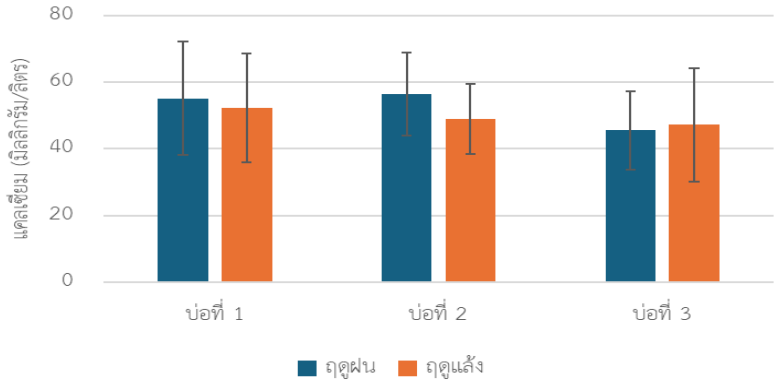

**ภาพที่ 4** ค่าความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness; TH) ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 4 ค่าความกระด้างทั้งหมด ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความกระด้างทั้งหมด อยู่ในช่วง 303.03 ถึง 355.82 มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$ โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 334.97±40.53 มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$ บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 355.82±32.39 มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$ และบ่อที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 303.03±26.63 มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$ ในที่ช่วงฤดูแล้ง ค่าความกระด้างทั้งหมด ลดลงเล็กน้อย มีค่าเท่ากับ 318.33±40.16, 320.56±18.09 และ 302.00±45.77 มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$ ที่บ่อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



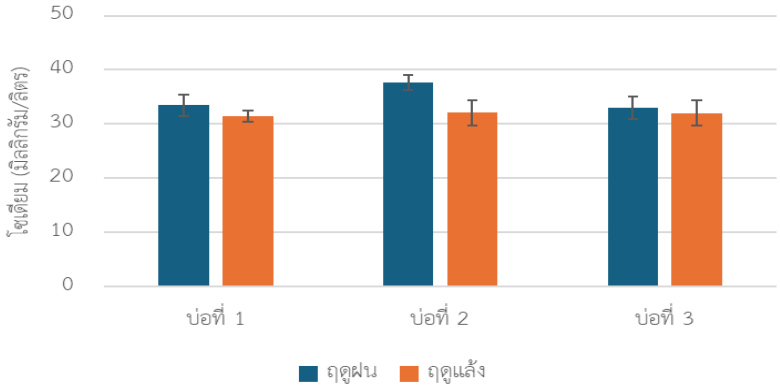

**ภาพที่ 5** ค่าความเข้มข้นแมกนีเซียม ($Mg^{2+}$) ที่พบในน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 5 ค่าความเข้มข้นแมกนีเซียม ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นแมกนีเซียม อยู่ในช่วง 45.95 ถึง 52.17 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 47.89±1.74 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 52.17±1.59 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 ค่าต่ำสุด เท่ากับ 45.95±1.75 มิลลิกรัม/ลิตร ในฤดูแล้ง พบว่า ส่วนใหญ่ความเข้มข้นของแมกนีเซียม ลดลงเล็กน้อย มีค่าเท่ากับ 45.42±0.20 , 46.78±2.44 และ 46.16±2.90 มิลลิกรัม/ลิตร ที่บ่อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



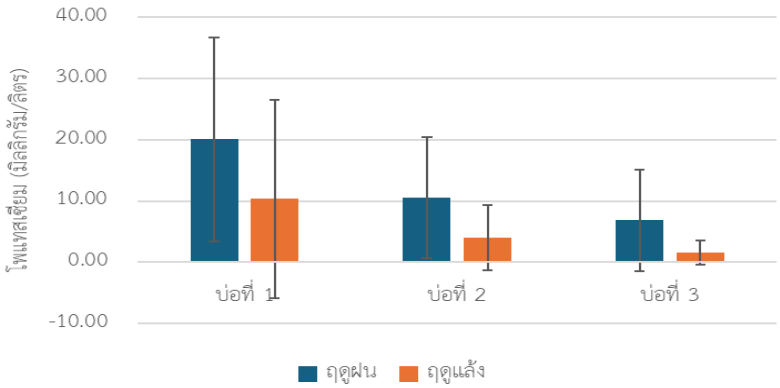

**ภาพที่ 6** ค่าความเข้มข้นของแคลเซียม ($Ca^{2+}$) ที่พบในน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 6 ค่าความเข้มข้นแคลเซียม ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นของแคลเซียม อยู่ในช่วง 45.58 ถึง 56.47 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 55.18±16.94 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 56.47±12.41 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 45.58±11.73 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูแล้ง ความเข้มข้นของแคลเซียม ลดลงเล็กน้อยในบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 52.25±16.38 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 เท่ากับ 48.85±10.49 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ 47.21±17.10 มิลลิกรัม/ลิตร



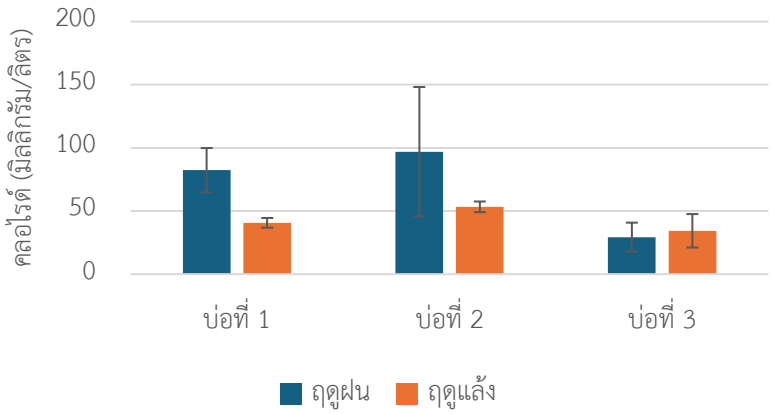

**ภาพที่ 7** ค่าความเข้มข้นของโซเดียม ($Na^+$) ที่พบน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 7 ค่าความเข้มข้นโซเดียม ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นของโซเดียม อยู่ระหว่าง 32.99-37.68 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 33.43±1.95 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 37.68±1.36 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 32.99±2.13 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมลดลงเล็กน้อยในทุกบ่อ มีค่าเท่ากับ 31.41±0.98, 32.03±2.26 และ 31.98±2.31 มิลลิกรัม/ลิตร ที่บ่อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



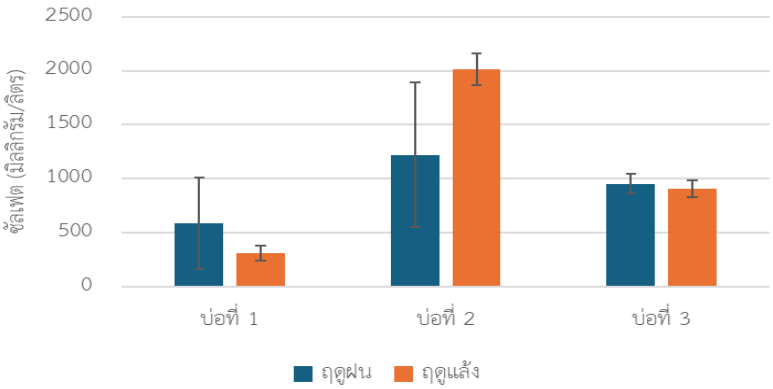

**ภาพที่ 8** ค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม ($K^+$) ที่พบน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 8 ค่าความเข้มข้นโพแทสเซียม ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นโพแทสเซียม อยู่ระหว่าง 6.88 ถึง 20.09 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 1 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 20.09±16.65 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือบ่อที่ 2 เท่ากับ 10.57±9.91 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 เท่ากับ 6.88±8.30 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมลดลงอย่างชัดเจนในทุกบ่อ โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.34±16.22 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 ลดลงเหลือ เท่ากับ 3.96±5.30 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุด เท่ากับ 1.60±1.94 มิลลิกรัม/ลิตร




**ภาพที่ 9** ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ ($Cl^-$) ที่พบในน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 9 ค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นคลอไรด์ อยู่ระหว่าง 29.32 ถึง 96.97 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 96.97±51.23 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา บ่อที่ 1 เท่ากับ 82.31±17.55 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 29.32±11.46 มิลลิกรัม/ลิตร ในฤดูแล้ง พบว่า ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ลดลงทุกบ่อ โดยบ่อที่ 1 มีค่าเท่ากับ 40.65±3.83 มิลลิกรัม/ลิตร บ่อที่ 2 เท่ากับ 53.32±4.23 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 3 เท่ากับ 34.32±13.26 มิลลิกรัม/ลิตร




**ภาพที่** 10 ค่าความเข้มข้นของซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) ที่พบในน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

จากภาพที่ 10 ค่าความเข้มข้นซัลเฟต ของตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาล จำนวน 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ในฤดูฝน ค่าความเข้มข้นซัลเฟต อยู่ในช่วง 585.53 ถึง 1,219.00 มิลลิกรัม/ลิตร โดยบ่อที่ 2 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1,219.00±670.47 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาบ่อที่ 3 เท่ากับ 954.31±93.30 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 1 เท่ากับ 585.53±422.63 มิลลิกรัม/ลิตร ในฤดูแล้ง พบว่า ความเข้มข้นของซัลเฟต มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยบ่อที่ 2 เพิ่มขึ้นอย่างมาก มีค่าเท่ากับ 2,013.15±144.96 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าความเข้มข้นสูงสุด บ่อที่ 3 เท่ากับ 907.70±78.12 มิลลิกรัม/ลิตร และบ่อที่ 1 มีค่าลดลงอย่างชัดเจน เท่ากับ 310.55±68.53 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2 ผลการศึกษาดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร

คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตพืชผลทางการเกษตร การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร โดยใช้ดัชนีค่าอัตราการดูดซับโซเดียม (SAR), เปอร์เซ็นต์โซเดียม (%Na), อัตราการดูดซับแมกนีเซียม (MAR) และ อัตราส่วนเคลลี่ (KR) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งผลการศึกษา แสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงค่าดัชนีของคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษา

| บ่อที่ | SAR | | %Na | | MAR | | KR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ฤดูฝน | ฤดูแล้ง | ฤดูฝน | ฤดูแล้ง | ฤดูฝน | ฤดูแล้ง | ฤดูฝน | ฤดูแล้ง |
| 1 | 1.28±0.29 | 1.22±0.24 | 31.25±5.80 | 32.20±3.48 | 0.16±0.06 | 0.16±0.06 | 0.58±0.24 | 0.56±0.22 |
| 2 | 1.40±0.19 | 1.32±0.23 | 35.10±5.46 | 36.44±5.43 | 0.16±0.04 | 0.17±0.04 | 0.60±0.16 | 0.61±0.16 |
| 3 | 1.37±0.26 | 1.29±0.23 | 37.69±8.11 | 37.32±7.98 | 0.18±0.06 | 0.17±0.07 | 0.67±0.23 | 0.63±0.25 |

4.2.1 ค่าอัตราการดูดซับโซเดียม (SAR)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล พบว่า ค่า SAR ของน้ำทั้ง 3 บ่อ อยู่ในช่วง 1.22–1.40 มิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร โดยมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้งของบ่อที่ 1 และค่าสูงสุดในฤดูฝนของบ่อที่ 2 (ตารางที่ 2) ค่า SAR เป็นดัชนีที่ใช้ประเมินความเสี่ยงจากโซเดียมในน้ำ ซึ่งสามารถจัดจำแนกประเภทน้ำบาดาลได้ดังนี้ ค่า SAR ต่ำกว่า 10 ถือว่ามีคุณภาพดีเยี่ยม, ค่า SAR ตั้งแต่ 10 ถึง 18 อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดี, ค่า SAR 18 ถึง 26 อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และค่า SAR สูงกว่า 26 ไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตร (Ayers & Westcot, 1985) ผลการศึกษาน้ำบาดาลทั้ง 3 บ่อ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่า SAR ต่ำกว่า 10 ซึ่งจัดอยู่ในประเภทมีคุณภาพดีเยี่ยม แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำบาดาลเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการเกษตร

4.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียม (%Na)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล พบว่า ค่า %Na อยู่ในช่วง 31.25-37.69 มิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นในบ่อที่ 3 ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง เมื่อเทียบกับบ่ออื่นๆ (ตารางที่ 2) ค่า %Na สามารถจัดจำแนกประเภทน้ำบาดาลได้ ดังนี้ ค่า %Na ต่ำกว่า 20 ถือว่าคุณภาพดีเยี่ยม, ค่า %Na ตั้งแต่ 20 ถึง 40 อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดี, ค่า %Na 40 ถึง 60 อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง, ค่า %Na 60 ถึง 80 อยู่ในเกณฑ์ไม่เหมาะสม และค่า %Na สูงกว่า 80 อยู่ในเกณฑ์คุณภาพต่ำ (Wilcox, 1955) ผลการศึกษาน้ำบาดาลทั้ง 3 บ่อ ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง จัดอยู่ในประเภทคุณภาพดี บ่งชี้ได้ว่าคุณภาพน้ำบาดาลเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการเกษตร

4.2.3 ค่าอัตราการดูดซับแมกนีเซียม (MAR)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล พบว่า ค่า MAR ของน้ำทั้ง 3 บ่อ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.16-0.18 มิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตรในฤดูฝน และ 0.16–0.17 มิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตรในฤดูแล้ง (ตารางที่ 2) ค่า MAR สามารถจัดจำแนกประเภทน้ำบาดาลได้ ดังนี้ ค่า MAR ต่ำกว่า 50 ถือว่าเหมาะสม และค่า MAR สูงกว่า 50 ถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการเกษตร (Lloyd and Heathcote,1985) น้ำบาดาลทั้ง 3 บ่อ ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่า MAR ต่ำกว่า 50 บ่งชี้ได้ว่าเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการเกษตร

4.2.4 อัตราส่วนเคลลี่ (Kelly's Ratio – KR)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล พบว่า ค่า KR อยู่ในช่วง 0.56-0.67 มิลลิคิวิวาเลนต์ต่อลิตร โดยมีค่ามากที่สุดในฤดูฝนของบ่อที่ 3 และต่ำที่สุดในฤดูแล้งของบ่อที่ 1 (ตารางที่ 2) น้ำที่มีค่า KR สูงกว่า 1 ถือว่าเหมาะสมสำหรับการเกษตร ในขณะที่น้ำที่มีค่า KR ต่ำกว่า 1 ถือว่าไม่เหมาะสม (Kelley, 1940) น้ำบาดาลทั้ง 3 บ่อในฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่า KR ต่ำกว่า 1 แสดงว่าน้ำมีคุณภาพดีและเหมาะสมสำหรับการเกษตร

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการวิจัยคุณภาพน้ำบาดาล พบว่าค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมียังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการใช้ทางการเกษตรตามเกณฑ์ที่กำหนดโดย FAO (2003) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำบาดาลมีสภาพเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ตามเกณฑ์มาตรฐานของ FAO ที่กำหนดว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.5–8.5 (Ayers & Westcot, 1985) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในฤดูฝนมีแนวโน้มสูงกว่าในฤดูแล้งเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการไหลบ่าของน้ำฝนที่ชะล้างสารประกอบที่เป็นด่างจากพื้นดิน เช่น คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alobaidy et al. (2010) ที่พบว่าในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพิ่มขึ้นจากการชะล้างตะกอนและแร่ธาตุ

ค่าการนำไฟฟ้า เป็นตัวชี้วัดปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร ตามเกณฑ์ของ FAO น้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า ต่ำกว่า 1500 ไมโครซีเมนต์/เซนนติเมตร จัดอยู่ในระดับดี และยอมรับได้สำหรับใช้เพื่อการเกษตร (Ayers & Westcot, 1985) ผลการวิจัยพบว่าค่าการนำไฟฟ้า ทั้ง 3 บ่อ ในฤดูฝนและฤดูแล้งต่ำกว่า 1500 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร แสดงว่ามีความเหมาะสมต่อการเกษตร ค่าการนำไฟฟ้า ในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน อาจเกิดจากการระเหยของน้ำที่สูงขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ความเข้มข้นของเกลือละลายเพิ่มขึ้น และไม่มีการเจือจางจากน้ำฝน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alobaidy et al. (2010) ที่ระบุว่าฤดูแล้งมักมีค่าการนำไฟฟ้า สูงกว่าฤดูฝนเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากการระเหย

ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณเกลือและแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งมีผลต่อความเหมาะสมของน้ำต่อการใช้งาน โดยเฉพาะการเกษตร ตามเกณฑ์ของ FAO ค่าน้ำที่มีปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ต่ำกว่า 1000 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับใช้เพื่อการเกษตร ผลการวิจัยนี้พบว่าค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ทุกบ่อทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งต่ำกว่าค่ามาตรฐานสูงสุดที่แนะนำ จึงถือว่าไม่มีปัญหาด้านความเค็มหรือความเข้มข้นของเกลือที่ส่งผลเสียต่อพืช ส่วนแนวโน้มที่ค่าในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน สอดคล้องกับลักษณะการระเหยของน้ำที่มากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ปริมาณเกลือละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และไม่มีการเจือจางจากน้ำฝน

ค่าความกระด้างทั้งหมด เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแคลเซียม ($Ca^{2+}$) และแมกนีเซียม ($Mg^{2+}$) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ผลการวิจัยนี้พบว่าค่าความกระด้างทั้งหมดของทุกบ่ออยู่ในระดับ น้ำกระด้างปานกลางถึงค่อนข้างกระด้าง ตามการจัดจำแนกของ Sawyer and McCarty (1967) ที่กำหนดช่วง 150–300 มิลลิกรัม/ลิตร จัดอยู่ในระดับ กระด้างปานกลาง และ 300–500 มิลลิกรัม/ลิตร จัดอยู่ในระดับกระด้างมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการเกิดคราบหินปูนในระบบท่อหรืออุปกรณ์ต่าง

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อความกระด้างของน้ำ ร่วมกับแคลเซียม โดยในแง่มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไม่มีผลเสียต่อพืชโดยตรงหากมีค่าต่ำกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน FAO (2003) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง โดยเฉพาะ บ่อที่ 2 อาจเกิดจากการชะล้างแร่ธาตุ

จากดินและหินที่มีแมกนีเซียมสูงเข้าสู่แหล่งน้ำพร้อมกับน้ำฝน และซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Alobaidy et al. (2010) ที่รายงานว่าฤดูฝนสามารถเพิ่มความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำได้จากการไหลบ่าของตะกอนดิน

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อความกระด้างของน้ำ ร่วมกับแมกนีเซียม คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร FAO แนะนำว่าความเข้มข้นของแคลเซียมไม่ควรเกิน 400 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำที่ใช้สำหรับการเกษตรที่มีค่าแคลเซียมต่ำถึงปานกลาง มีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างดินและช่วยปรับปรุงการซึมผ่านของน้ำในดิน ผลการวิจัยนี้พบว่าค่าแคลเซียมอยู่ในช่วงปลอดภัยสำหรับการใช้น้ำเพื่อการเกษตร และถือว่าอยู่ในระดับที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงจากโซเดียมสูงในน้ำ เนื่องจากแคลเซียมสามารถแลกเปลี่ยนกับโซเดียมบนผิวอนุภาคดิน ทำให้ดินไม่แข็งตัว FAO (2003)

โซเดียมเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทาน เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับค่า SAR ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงต่อการเกิดดินโซเดียมสูง (Sodic Soil) หากมีปริมาณโซเดียมสูงเมื่อเทียบกับแคลเซียมและแมกนีเซียม อาจทำให้โครงสร้างดินเสื่อมและการซึมผ่านของน้ำลดลง น้ำที่มีโซเดียมต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม/ลติร จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับใช้เพื่อการเกษตร FAO (2003) ผลการวิจัยนี้พบว่าปริมาณโซเดียมในทุกบ่อ ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก จึงถือว่ามีความเหมาะสมต่อการใช้น้ำในการเกษตร โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของดินจากโซเดียมสูง ในฤดูฝนค่าโซเดียมสูงกว่าฤดูแล้ง โดยเฉพาะบ่อที่ 2 อาจเกิดจากการชะล้างเกลือโซเดียมจากดินและตะกอนเข้าสู่แหล่งน้ำในช่วงฝนตก ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Alobaidy et al. (2010) ที่รายงานว่าฤดูฝนสามารถเพิ่มความเข้มข้นของไอออนหลักในน้ำจากการไหลบ่าของน้ำผิวดิน ในขณะที่ค่าในฤดูแล้งลดลงเล็กน้อยเนื่องจากไม่มีการเติมโซเดียมจากฝนและอาจมีการเจือจางจากน้ำใต้ดินที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็น (macronutrient) และมักพบในน้ำในปริมาณเล็กน้อยเมื่อเทียบกับโซเดียมหรือแคลเซียม ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำขึ้นอยู่กับกระบวนการชะล้างดิน แร่โพแทสเซียม รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม ผลการศึกษา พบว่า ค่าโพแทสเซียมทุกบ่อ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง 1.60–20.09 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางตามเกณฑ์ของ FAO สำหรับน้ำเพื่อการเกษตร (โพแทสเซียมต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าไม่มีความเสี่ยงต่อพืช) ค่าในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้งทุกบ่อ อาจเกิดจากการชะล้างธาตุอาหารจากดินและเศษพืชเข้าสู่แหล่งน้ำในช่วงที่มีฝนตก หรืออาจมาจากการไหลบ่าของน้ำผิวดินที่มีการปนเปื้อนจากปุ๋ยเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Alobaidy et al. (2010) ที่พบว่าฤดูฝนสามารถเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมจากการชะล้างพื้นผิวและตะกอน

คลอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักของเกลือ (NaCl) และเป็นตัวบ่งชี้ความเค็มของน้ำ คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรกำหนดว่าปริมาณคลอไรด์ต่ำกว่า 250 มิลลิกรัม/ลิตร FAO (2003) จัดอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยสำหรับพืชส่วนใหญ่ ผลการศึกษานี้ พบว่าค่าคลอไรด์ทุกบ่อ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง อยู่ระหว่าง 29.32–96.97 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน จึงจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยและเหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับการเกษตร ค่าคลอไรด์ที่สูงในฤดูฝน โดยเฉพาะ บ่อที่ 1 และ บ่อที่ 2 อาจเกิดจากการชะล้างคลอไรด์จากดินและตะกอนเข้าสู่ระบบน้ำบาดาลผ่านการซึมลง (recharge) ของน้ำฝน รวมถึงการผสมของน้ำผิวดินที่มีความเข้มข้นคลอไรด์สูงขึ้นจากกิจกรรมการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Alobaidy et al. (2010) รายงานว่าฤดูฝนสามารถเพิ่มปริมาณคลอไรด์ได้จากกระบวนการชะล้างและการซึมผ่านดิน ในทางกลับกันในฤดูแล้ง บ่อที่ 3 มีค่าคลอไรด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำบาดาลที่ลดลงและความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มขึ้นจากการระเหย

ซัลเฟตเป็นไอออนประจุลบที่พบได้ตามธรรมชาติในน้ำบาดาลจากการละลายของแร่ธาตุ เช่น ยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) และแอนไฮไดรต์ ($CaSO_4$) รวมถึงกระบวนการออกซิเดชันของซัลไฟด์ในหินและดิน ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร แนะนำว่าค่าซัลเฟตไม่ควรเกิน 960 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าซัลเฟตในระดับสูงอาจทำให้ความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น และอาจเป็นอันตรายต่อพืชที่ไว

ต่อเกลือ ผลการศึกษานี้ พบว่า ค่าซัลเฟตในบางบ่อ โดยเฉพาะ บ่อที่ 2 ทั้งในฤดูฝน (1219.35 มิลลิกรัม/ลิตร) และฤดูแล้ง (2013.15 มิลลิกรัม/ลิตร) มีค่าสูงเกินมาตรฐานของ FAO อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงต่อการใช้น้ำเพื่อการเกษตร โดยในฤดูแล้งค่าซัลเฟตของบ่อที่ 2 เพิ่มขึ้นมาก ซึ่งอาจเกิดจากการระเหยของน้ำและการสะสมเกลือในชั้นน้ำบาดาล รวมถึงการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดภายนอก เช่น การชะล้างปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ สำหรับบ่อที่ 1 ค่าซัลเฟตในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง อาจเกิดจากการชะล้างแร่ซัลเฟตจากดินและหินในพื้นที่รับน้ำไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในช่วงฝนตก ขณะที่บ่อที่ 3 มีค่าซัลเฟตค่อนข้างใกล้เคียงกันในทั้งสองฤดู ซึ่งอาจเกิดจากองค์ประกอบทางธรณีวิทยาและแหล่งน้ำที่มีความคงที่ตลอดปี

การศึกษาดัชนีคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรจากทั้งสามบ่อในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าค่าดัชนี SAR, %Na, MAR และ KR อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานของ FAO

ค่า SAR เป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงของการเกิดปัญหาดินโซเดียมสูง (sodicity) โดยเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมกับแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ ตามเกณฑ์ของ FAO น้ำที่มีค่า SAR ต่ำกว่า 10 จัดว่าอยู่ในระดับดีเยี่ยม สำหรับการเกษตร เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมโครงสร้างดินต่ำมาก ผลการศึกษาพบว่าค่า SAR ในทุกบ่ออยู่ระหว่าง 1.22–1.40 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก จึงถือว่ามีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเกษตรและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการซึมผ่านของน้ำในดิน ค่า SAR ที่ในฤดูฝน อาจเกิดจากการชะล้างโซเดียมจากดินเข้าสู่ระบบน้ำบาดาลมากขึ้นในช่วงฝนตก แต่เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเพียงพอ จึงทำให้ค่า SAR ยังคงอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Ayers & Westcot (1985) ที่ระบุว่าการมีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงสามารถลดผลกระทบของโซเดียมต่อโครงสร้างดินได้

ค่า %Na เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทาน โดยสะท้อนสัดส่วนของโซเดียมเมื่อเทียบกับไอออนหลักอื่น ๆ (แคลเซียม, แมกนีเซียม, โพแทสเซียม) ตามเกณฑ์ของ Wilcox (1955) น้ำที่มีค่า %Na ต่ำกว่า 60 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยมถึงดี ต่อการเกษตร เนื่องจากมีความเสี่ยงต่ำต่อการเกิดดินโซเดียมสูง (sodicity) ผลการศึกษา ค่า %Na อยู่ในช่วง 31.25–37.69 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดีถึงดีเยี่ยม ตามเกณฑ์ของ Richards (1954) ที่กำหนดว่าค่าต่ำกว่า 60 เหมาะสมสำหรับการเกษตร และสอดคล้องกับงานของ Chhabra (1996) ที่ระบุว่าค่า %Na ต่ำ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการแข็งตัวของดินเนื่องจากการสะสมของโซเดียม

ค่า MAR เป็นตัวชี้วัดสัดส่วนของแมกนีเซียมเมื่อเทียบกับแมกนีเซียมและแคลเซียมรวมกันในน้ำ ตามเกณฑ์ของ Raghunath (1987) และ FAO (2003) หากค่า MAR มีค่าสูงกว่า 50 อาจส่งผลเสียต่อโครงสร้างดินและการซึมผ่านของน้ำเนื่องจากแมกนีเซียมสูงเกินไป อย่างไรก็ตาม ค่าที่ต่ำกว่า 50 ถือว่าปลอดภัยสำหรับการเกษตร ผลการศึกษานี้พบว่าค่า MAR อยู่ระหว่าง 0.16–0.18 หรือเท่ากับ 16–18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดมาก จึงถือว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาดินจากแมกนีเซียมสูง น้ำบาดาลในพื้นที่จึงเหมาะสมต่อการเกษตรทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ค่า KR ใช้ประเมินความเหมาะสมของน้ำเพื่อการชลประทานโดยพิจารณาสัดส่วนของโซเดียมต่อแคลเซียมและแมกนีเซียมรวมกัน ตามเกณฑ์ของ Kelly (1940) น้ำที่มีค่า KR ต่ำกว่า 1 ถือว่าเหมาะสมต่อการเกษตร เนื่องจากมีปริมาณโซเดียมต่ำเมื่อเทียบกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้ความเสี่ยงต่อการทำให้ดินมีโซเดียมสูง (sodic soil) ต่ำมาก ผลการศึกษา พบว่าค่า KR ในทุกบ่อ อยู่ระหว่าง 0.56–0.67 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุด จึงถือว่ามีคุณภาพน้ำที่ดีมากต่อการเกษตร ค่านี้สอดคล้องกับค่า SAR และ %Na ที่อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสมดุลของไอออนบวกหลักในน้ำบาดาลของพื้นที่

**ข้อเสนอแนะ**

1. การนำผลไปใช้ประโยชน์
    - น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามีค่าดัชนีคุณภาพน้ำ (pH, EC, TDS, Total Hardness, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $K^{+}$, $Cl^{-}$, $SO_4^{2-}$, SAR, %Na, MAR, KR) อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมต่อการชลประทานและการใช้งานทั่วไป ยกเว้นบางพื้นที่ที่มีค่าซัลเฟต ($SO_4^{2-}$) สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน เช่น บ่อที่ 2 ในฤดูแล้ง ซึ่งควรเฝ้าระวังและพิจารณาการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนใช้งาน
    - สามารถนำน้ำบาดาลไปใช้เพื่อการเกษตรได้โดยตรงในพืชส่วนใหญ่ โดยควรเลือกชนิดพืชที่ทนต่อความเค็มได้พอสมควรหากใช้ในพื้นที่ที่มีค่าความเค็มหรือซัลเฟตสูง
2. การติดตามและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ
    - ควรมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลอย่างน้อย ปีละ 1–2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง เพื่อเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีที่สำคัญ เช่น EC, TDS, SAR, %Na และซัลเฟต
    - ในพื้นที่ที่มีค่าซัลเฟตสูง ควรติดตามค่าความเค็ม (salinity) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ควบคู่ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อพืชที่ไวต่อความเค็ม
3. การจัดการน้ำเพื่อความยั่งยืน
    - ในพื้นที่ที่มีค่า SAR และ %Na ต่ำอยู่แล้ว ควรรักษาสมดุลของธาตุอาหารในดิน โดยหลีกเลี่ยงการใช้น้ำที่มีโซเดียมสูงร่วมกับการให้น้ำชลประทานในปริมาณมากเกินไป
    - ในพื้นที่ที่มีค่าซัลเฟตสูง ควรพิจารณาการผสมน้ำจากแหล่งอื่นเพื่อลดความเข้มข้น หรือใช้ระบบน้ำหยดเพื่อลดการสะสมของเกลือในดิน
4. การวิจัยเพิ่มเติม
    - ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำบาดาลกับคุณภาพดินและผลผลิตพืช เพื่อหาขอบเขตความทนทานของพืชในพื้นที่
    - ควรสำรวจแหล่งกำเนิดของซัลเฟตในน้ำบาดาลอย่างละเอียด โดยใช้การวิเคราะห์ไอโซโทปหรือการวิเคราะห์ทางธรณีเคมี เพื่อหามาตรการลดการปนเปื้อนในระยะยาว

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภูมิพัฒน์ ภาชนะ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และ ดร.จักรพันธ์ นาน่วม สำนักงานการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยทุกขั้นตอน ผศ.ดร.ธีรยุทธ คล้ำชื่น ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีและเครื่องมือ และศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยาที่สนับสนุนทุนวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

**7. เอกสารอ้างอิง**

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2563). โครงการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรยังชีพนอกเขตชลประทานในพื้นที่หาน้ำยาก ประจำปีงบประมาณ 2563. http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER3/DRAWER079/GENERAL/DATA0000/00000522.PDF

Adimalla, N., Li, P., & Venkatayogi, S. (2018). Hydrogeochemical Evaluation of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purposes and Integrated Interpretation with Water Quality Index Studies. *Environmental Processes, 5*(2), 363-383. https://doi.org/10.1007/s40710-018-0297-4

AlObaidy, A. H., Maulood, B., & Kadhem, A. (2010). Evaluating Raw and Treated Water Quality of Tigris River within Baghdad by Index Analysis. *Journal of Water Resource and Protection, 02*, 629-635. https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.27072

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*: (23rd Edition) Washington, D.C.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Ayyandurai, R., Venkateswaran, S., & Karunanidhi, D. (2022). Hydrogeochemical assessment of groundwater quality and suitability for irrigation in the coastal part of Cuddalore district, Tamil Nadu, India. *Mar Pollut Bull, 174*, 113258. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113258

Bouimouass, H., Fakir, Y., Tweed, S., Sahraoui, H., Leblanc, M., & Chehbouni, A. (2022). Traditional irrigation practices sustain groundwater quality in a semiarid piedmont. *CATENA, 210*, 105923. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105923

Chhabra, R. ( 1996) . Soil Salinity and Water Quality. Irrigation and Drainage Systems, 11(3), 281-282. https://doi.org/10.1023/A:1005774205164

FAO. (2003). *Guidelines for Interpreting Water Quality for Irrigation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Haroon, H., & Muhammad, S. (2022). Spatial distribution of radon concentrations in groundwater and annual exposure doses in Mirpur District Pakistan. *Groundwater for Sustainable Development, 17*, 100734. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100734

Kelley, W. P. (1940). Permissible composition and concentration of irrigated waters. Proc ASCF 66:607

Kumar, M., Patel, A. K., & Singh, A. (2022). Anthropogenic dominance on geogenic arsenic problem of the groundwater in the Ganga-Brahmaputra floodplain: A paradox of origin and mobilization. *Science of The Total Environment, 807*, 151461. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151461

Lloyd, W. & Heathcote, A. (1985). Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, an introduction Oxford: Clarendon Press.

Li, P., Tian, R., Xue, C., & Wu, J. (2017). Progress, opportunities, and key fields for groundwater quality research under the impacts of human activities in China with a special focus on western China. *Environ Sci Pollut Res Int, 24*(15), 13224-13234. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8753-7

Muhammad, S., Ullah, R., & Jadoon, I. A. K. (2019). Heavy metals contamination in soil and food and their evaluation for risk assessment in the Zhob and Loralai valleys, Baluchistan province, Pakistan. *Microchemical Journal, 149*, 103971. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.103971

Nemčić-Jurec, J., Singh, S. K., Jazbec, A., Gautam, S. K., & Kovač, I. (2019). Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of Koprivnica-Križevci County (Croatia) and district Allahabad (India). *Sustainable Water Resources Management, 5*(2), 467-490. https://doi.org/10.1007/s40899-017-0200-x

Ragunath, H.M. (1987). Groundwater. Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 563.

RICHARDS, L. A. ( 1954) . Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science, 78*( 2) , 154. https://journals.lww.com/soilsci/fulltext/1954/08000/diagnosis_and_improvement_of_saline_and_alkali.12.aspx

Sawyer, G. N., & McCarty, D. L. (1967). Chemistry of Sanitary Engineers. 2th ed. McGraw Hill, New York, 518 pp.

Scanlon, B. R., & Cook, P. G. (2002, 2002/02/01). Theme issue on groundwater recharge. *Hydrogeology Journal, 10*(1), 3-4. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0175-3

Singh, R., Upreti, P., Allemailem, K. S., Almatroudi, A., Rahmani, A. H., & Albalawi, G. M. (2022). Geospatial Assessment of Ground Water Quality and Associated Health Problems in the Western Region of India. *Water, 14*(3), 296. https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/296

Wilcox, L. V. (1995). *Classification and use of irrigation waters* (Vol. no.969): Washington, D.C. : U.S. Dept. of Agriculture.

# ผลการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวที่มีผลต่อคุณลักษณะของบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก

# Effects of Cocoa Butter Substituted for White Butter on the Characteristics of Buttercream for Cake Decoration

**จันทิรา วงค์วิเชียร[1] และ อริสรา ไชยพลฤทธิ์[1*]**

**Chantira Wongwichian[1] and Arisara Chaiponrit[1*]**

สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Culinary Science Program Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เนยโกโก้ (cocoa butter) ทดแทนเนยขาวในสัดส่วนต่างๆ (ร้อยละ0, ร้อยละ25, ร้อยละ50, ร้อยละ75 และ ร้อยละ100) ต่อคุณภาพของบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้น, ความแข็ง, ความรวมตัวกัน และความแน่นเนื้อ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของเนยโกโก้ทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ100 มีความนุ่มมากที่สุด ขณะที่ค่าความรวมตัวกันและค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเนยโกโก้ ส่วนค่าความชื้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในทุกด้านอยู่ในระดับสูง และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าการใช้เนยโกโก้สามารถทดแทนเนยขาวได้โดยไม่ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของบัตเตอร์ครีม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเนยโกโก้เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีมเพื่อสุขภาพ ลดการใช้ไขมันทรานส์ และตอบสนองแนวโน้มการบริโภคของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพในปัจจุบัน

**คำสำคัญ:** เนยโกโก้, บัตเตอร์ครีม, เนยขาว, คุณลักษณะทางกายภาพ, คุณภาพทางประสาทสัมผัส

**Abstract**

This study aimed to investigate the effects of replacing shortening with cocoa butter at varying levels (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) on the quality of buttercream used for cake decoration. The analysis focused on physical properties including moisture content, hardness, cohesiveness, and firmness, as well as sensory attributes such as color, odor, taste, texture, and overall liking. The results revealed that increasing levels of cocoa butter significantly reduced the hardness of the buttercream ($p<0.05$), with the 100% cocoa butter formulation showing the softest texture. In contrast, cohesiveness and firmness tended to increase with higher proportions of cocoa butter, while moisture content showed no significant difference among treatments($p<0.05$). Sensory evaluation indicated that all formulations received high acceptability scores across all attributes, with no statistically significant differences. These findings suggest that cocoa butter can effectively replace shortening

in buttercream production without compromising sensory quality. Moreover, cocoa butter presents a promising alternative for developing healthier buttercream products by reducing trans fat content and aligning with current consumer preferences for health-conscious food choices.

**Keywords:** Cocoa butter, Buttercream, Shortening, Physical Properties, Sensory Quality

**1. บทนำ**

ปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มให้ความสำคัญต่อสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารหันมาเลือกใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและปลอดจากไขมันทรานส์ (trans fat) ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (Mozaffarian et al., 2006) หนึ่งในวัตถุดิบที่น่าสนใจคือ เนยโกโก้ (cocoa butter) ซึ่งเป็นไขมันธรรมชาติที่สกัดจากเมล็ดโกโก้ (Theobroma cacao) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของเมล็ดโกโก้หลังจากการบดเพื่อแยกน้ำมันออกจากผงโกโก้ มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สมดุลและไม่มีไขมันทรานส์ (Lipp & Anklam, 1998) เนยโกโก้มีลักษณะกึ่งแข็งในอุณหภูมิห้องมีจุดหลอมเหลวประมาณ 34–38°C ให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มลื่น มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมช็อกโกแลต (Afoakwa, 2010) เนยโกโก้มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ มีรสชาติเฉพาะตัว และมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่โดดเด่น ทำให้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมขนมหวาน (Juil, 1998) ตามข้อมูลของกระทรวงเกษตรของสหรัฐฯ รายงานว่าเนยโกโก้เป็นแหล่งพลังงานสูงและมีวิตามินอี วิตามินเค และกรดไขมัน คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของเนยโกโก้คือความเสถียรสูงเมื่อเทียบกับไขมันชนิดอื่น คุณสมบัติพิเศษนี้ทำให้เนยโกโก้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน คือ 2-5 ปี จากสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเนยโกโก้จึงลดโอกาสที่น้ำมันจะเหม็นหืนได้ เนยโกโก้สามารถพบได้ในหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่ยังคงบริโภคในช็อกโกแลต (John, 2020)

เนยโกโก้มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เช่น กรดสเตียริก กรดปาล์มิติก และกรดโอเลอิก ซึ่งส่งผลให้เนยโกโก้มีคุณสมบัติพิเศษคือมีจุดหลอมละลายใกล้อุณหภูมิร่างกาย ทำให้ละลายบนลิ้นได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เหลือความมันในปาก ในเชิงโครงสร้างเนยโกโก้สามารถเกิดการตกผลึกในหลายรูปแบบ (polymorphs) ซึ่งมีทั้งหมด 6 รูปแบบ (Form I–VI) โดยรูปแบบที่เสถียรที่สุดและให้คุณภาพสูงสุดคือ Form V ซึ่งให้ลักษณะช็อกโกแลตที่มีผิวเงา เนื้อสัมผัสเนียนและเสียงกรุบเมื่อแตก เรียกว่า “snap” คุณสมบัติเหล่านี้เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิในการทำช็อกโกแลตที่เรียกว่า tempering เพื่อจัดเรียงผลึกไขมันให้เหมาะสม ทางด้านโภชนาการเนยโกโก้เป็นไขมันที่ไม่มีไขมันทรานส์และมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณเล็กน้อย เช่นโพลีฟีนอล แม้ว่าจะเป็นไขมันแต่การบริโภคในปริมาณที่พอเหมาะสามารถเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพได้บ้าง โดยเฉพาะในสูตรขนมที่ไม่ใช้น้ำตาลสูง ด้วยโครงสร้างทางเคมีที่เป็นเอกลักษณ์และคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่โดดเด่น เนยโกโก้จึงเป็นไขมันที่สำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรมอาหารขนมหวาน (Lipp & Anklam, 1998) ไขมันทรานส์ในเนยขาวในปัจจุบันจำเป็นต้องพิจารณา แม้ว่ากฎหมายจะอนุญาตให้แสดง "ไขมันทรานส์ ร้อยละ0" หากปริมาณไม่เกิน 0.5 กรัมต่อหน่วยบริโภค แต่ก็ยังมีโอกาสที่จะมีไขมันทรานส์อยู่ เนยขาวมักถูกผลิตโดยใช้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันให้คงตัวและเก็บรักษาได้นานขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้เป็นแหล่งหลักของไขมันทรานส์

บัตเตอร์ครีม (buttercream) เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ประเภทครีมที่นิยมใช้ในการตกแต่งหน้าเค้กและขนมอบต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานตกแต่งเพื่อความสวยงาม เช่น งานแต่งงาน งานวันเกิด หรือเทศกาลต่าง ๆ ลักษณะที่ดีของ บัตเตอร์ครีมควรมีความเนียนนุ่ม ปาดง่าย มีความคงตัวในอุณหภูมิห้อง และไม่แยกชั้นของน้ำมันและน้ำตาล (Rahman et al., 2018)

ส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิตบัตเตอร์ครีม ได้แก่ เนยสด หรือเนยขาว (shortening) ร่วมกับน้ำตาลไอซิ่ง โดยเนยขาวมักถูกเลือกใช้เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง ราคาถูก และมีความคงตัวดีในสภาวะแวดล้อม (Ghotra et al., 2002) อย่างไรก็ตามเนยขาวมีกรดไขมันทรานส์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Mozaffarian et al., 2006) ความเป็นไปได้ในการนำไขมันโกโก้มาทดแทนเนยขาวในเชิงอุตสาหกรรมมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากไขมันโกโก้มีราคาสูงกว่าเนยขาวมาก อีกทั้งคุณสมบัติของไขมันโกโก้ก็ไม่เหมือนกับเนยขาว ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทดแทนทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หลายชนิด แต่สามารถนำมาใช้ทดแทนบางส่วนหรือใช้เป็นส่วนผสมพิเศษในเบเกอรี่บางประเภทที่เน้นคุณภาพและความพิเศษได้ เช่น ช็อกโกแลตเค้กพาย หรือคุ้กกี้ที่มีส่วนผสมของช็อกโกแลตการใช้งานที่เหมาะสม:ช็อกโกแลตเค้ก: ไขมันโกโก้สามารถเพิ่มรสชาติและเนื้อสัมผัสของช็อกโกแลตเค้กได้อย่างดีเยี่ยม พาย: สามารถใช้ไขมันโกโก้เป็นส่วนผสมในแป้งพายเพื่อให้ได้รสชาติและกลิ่นหอมของช็อกโกแลต คุ้กกี้ที่มีส่วนผสมของช็อกโกแลต: การเพิ่มไขมันโกโก้สามารถช่วยเพิ่มความหอมและรสชาติของช็อกโกแลตได้

การใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีมมีผลกระทบต่อการนำไขมันโกโก้มาใช้ในหลายด้าน โดยหลักๆ คือ ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับไขมันโกโก้ และช่วยปรับปรุงความคงตัวของบัตเตอร์ครีม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความอยู่ตัวและไม่แยกชั้นซึ่งเป็นไขมันจากพืชที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีม

แม้ว่าเนยโกโก้จะมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ แต่งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ประเภทครีมยังมีอยู่จำกัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในอัตราส่วนต่างๆ ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของบัตเตอร์ครีมที่ใช้สำหรับตกแต่งหน้าเค้ก ซึ่งผลการวิจัยอาจนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีมที่มีคุณภาพดีและดีต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ใส่ใจต่อสุขภาพและความปลอดภัยทางอาหาร

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปริมาณเนยโกโก้ที่ใช้ทดแทนเนยขาวในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีม

2.2 เพื่อศึกษาผลของเนยโกโก้ที่ใช้ทดแทนเนยขาวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีม

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก

ชั่งส่วนผสมเพื่อเตรียมตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก โดยดัดแปลงสูตรและวิธีการของ บุญญาพร และคณะ (2564) ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1

3.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

1) ค่าสี โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่นCM-5 ยี่ห้อ Konica Minolta ระบบ Hunter Lab การวัดค่า L* a* และ *b** โดยวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของเฉดสีที่เกิดจากการใช้เนยโกโก้ในสัดส่วนที่ต่างกัน

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมของบัตเตอร์ครีมที่ทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้

| ส่วนผสม | Control* (ร้อยละ) | สูตรที่ 1 (ร้อยละ) | สูตรที่ 2 (ร้อยละ) | สูตรที่ 3 (ร้อยละ) | สูตรที่ 4 (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| เนยสด | 36.10 | 36.10 | 36.10 | 36.10 | 36.10 |
| เนยขาว | 15.47 (100%) | 11.61 (75%) | 7.35 (50%) | 3.86 (25%) | 0 |
| เนยโกโก้ | 0 | 3.86 (25%) | 7.35 (50%) | 11.61 (75%) | 15.47 (100%) |
| ไข่ขาว | 5.15 | 5.15 | 5.15 | 5.15 | 5.15 |
| น้ำตาลทราย | 25.77 | 25.77 | 25.77 | 25.77 | 25.77 |
| เกลือ | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| น้ำ | 15.47 | 15.47 | 15.47 | 15.47 | 15.47 |
| กลิ่นวนิลลา | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |

**ที่มา:** บุญญาพร และคณะ (2564)

การเตรียมตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก แสดงดังภาพที่ 1

**ภาพที่ 1** ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก

**ที่มา:** บุญญาพร และคณะ (2564)

2) ค่าความชื้น ทำการวิเคราะห์ด้วยตู้อบไฟฟ้า Hot Air Oven BINDER FD260 โดยใช้วิธี Primary Method ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์หาความชื้นในอาหาร ใช้ตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาพักไว้ในโถแก้วดูดความชื้น (Desiccator) จากนั้นนำไปอบซ้ำอีกครั้ง ครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ แล้วจึงชั่งน้ำหนักและคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างที่ได้ (บุญญาพร และคณะ, 2564)

3) ค่าเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยการนำตัวอย่างใส่ในถ้วยแล้วทำให้พื้นผิวเรียบเสมอกัน ใช้หัวทรงกระบอก (TA44) จากนั้นใช้หัววัดกดลงไปในตัวอย่างโดยกำหนดความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที แรงกด 5 กรัม และระยะกด 2 มิลลิเมตร ทำการทดสอบค่าความแข็ง (hardness) ความรวมตัวกัน (Cohesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยวัดซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง แล้วรายงานผลเป็นหน่วยนิวตัน

3.3 วิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบความชอบโดยวิธี 9 point hedonic scale โดยการประเมินความชอบต่อคุณลักษณะในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (appearance) สี (color) กลิ่น (odor) และความชอบรวม (overall liking) ให้คะแนนระดับ 1-9 โดยใช้ผู้ประเมินที่เป็นบุคลากร และนักศึกษา มหาวิทยาลัยนครศรีธรรมราช ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 19-50 ปี จำนวน 30 คน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design : RCBD) ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan’s multiple range test ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ $p \leq 0.05$

**4. ผลการวิจัย**

4.1 ค่าสี

ค่า *L** ของบัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยขาว ร้อยละ100 จะมีค่าความสว่างน้อยที่สุด ในขณะที่บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยสด ร้อยละ100 จะมีค่าความสว่างสูงที่สุด ค่า *a** ของบัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยขาว ร้อยละ100 จะมีค่าสีแดงมากที่สุด ในขณะที่บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยสด ร้อยละ100 จะมีค่าสีแดงน้อยที่สุด ค่า *b** ของบัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยขาว ร้อยละ100 จะมีค่าสีเหลืองมากที่สุด ในขณะที่บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยสด ร้อยละ100 จะมีค่า *b** น้อยที่สุด (ตารางที่ 2)

4.2 ค่าความชื้น

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าความชื้นของบัตเตอร์ครีมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้ทดแทนเนยขาว โดยค่าความชื้นต่ำสุดอยู่ที่ ร้อยละ3.94±0.97 (บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยขาว ร้อยละ100) และสูงสุดที่ ร้อยละ5.11±0.40 (บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ75) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ns) แสดงว่าการแทนที่เนยขาวด้วยเนยโกโก้ในสัดส่วนต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน

4.3 ค่าเนื้อสัมผัส

ในส่วนของค่าความแข็ง พบว่า การใช้เนยโกโก้ในอัตรา ร้อยละ100 ทำให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เหลือเพียง 3.00±0 ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มอื่นที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.00–7.76 หน่วย โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ0–75 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเนยโกโก้สูงถึง ร้อยละ100 เนื้อสัมผัสของบัตเตอร์ครีมจะนิ่มลงอย่างชัดเจน (ตารางที่ 3)

ค่าความรวมตัวกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้ตั้งแต่ ร้อยละ25 ขึ้นไป โดยค่าความรวมตัวกันสูงสุดพบในกลุ่มที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ75 (7.41±1.12) (ตารางที่ 3) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างกลุ่มที่ใช้เนยโกโก้ตั้งแต่ ร้อยละ25–100 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุม (ร้อยละ0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าเนยโกโก้สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของเนื้อครีมได้

ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณเนยโกโก้ที่ใช้ โดยกลุ่มที่ใช้เนยโกโก้ 100% มีค่าความแน่นเนื้อสูงสุด (49.67±0.58) และแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าเนยโกโก้อาจมีคุณสมบัติในการอัดแน่นหรือทำให้เนื้อครีมมีความหนักแน่นมากขึ้น

4.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลของการใช้เนยโกโก้เนยแทนเนยขาวในบัตเตอร์ครีมแต่งหน้าเค้กในปริมาณ ร้อยละ0, ร้อยละ25, ร้อยละ50, ร้อยละ75 และ ร้อยละ100 โดยพิจารณาคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม จากผลการทดสอบพบว่าคะแนนเฉลี่ยของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวไม่ต้องส่งผลกระทบต่อสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 2** ค่าสีของตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้กที่ใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในปริมาณต่าง ๆ

| ค่าสี | ปริมาณการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| *L** | 86.85±0.10$^{a}$ | 84.13±0.33$^{d}$ | 84.95±0.23$^{c}$ | 85.43±0.26$^{b}$ | 84.29±0.05$^{d}$ |
| *a** | 0.74±0.03$^{c}$ | 1.40±0.06$^{a}$ | 1.14±0.02$^{b}$ | 1.04±0.16$^{b}$ | 1.41±0.02$^{a}$ |
| *b** | 13.56±0.17$^{d}$ | 17.21±0.47$^{b}$ | 16.43±0.25$^{c}$ | 16.05±0.07$^{c}$ | 18.45±0.07$^{a}$ |

**หมายเหตุ :** $^{a, b, c,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

**ตารางที่ 3** ค่าความชื้น และค่าเนื้อสัมผัสของบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้กที่ใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาว

| คุณลักษณะทางเคมี กายภาพ | ปริมาณการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| ค่าความชื้น$^{ns}$ | 4.31±1.15 | 3.94±0.97 | 4.37±0.42 | 5.11±0.40 | 4.50±0.34 |
| ค่าความแข็ง | 7.76±0.58$^{a}$ | 7.00±0$^{a}$ | 7.67±0.58$^{a}$ | 7.00±0$^{a}$ | 3.00±0$^{b}$ |
| ค่าความรวมตัวกัน | 6.65±1.58$^{a}$ | 7.29±1.21$^{b}$ | 6.88±1.66$^{b}$ | 7.41±1.12$^{b}$ | 7.06±1.39$^{b}$ |
| ค่าความแน่นเนื้อ | 45.33±0.58$^{d}$ | 46.33±0.58$^{d}$ | 47.33±0.58$^{c}$ | 48.33±0.58$^{b}$ | 49.67±0.58$^{a}$ |

**หมายเหตุ :** $^{ns}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีค่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

$^{a, b, c,...}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)

**ตารางที่ 4** คะแนนความชอบตัวอย่างบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้กที่ใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาว

| คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส | ปริมาณการใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวในบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้ก | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| สี$^{ns}$ | 8.23±0.68 | 8.30±0.60 | 8.37±0.61 | 8.30±0.65 | 8.40±0.67 |
| กลิ่น$^{ns}$ | 7.97±0.76 | 7.93±0.98 | 8.00±0.74 | 7.87±0.78 | 8.03±0.76 |
| รสชาติ$^{ns}$ | 8.03±0.81 | 8.00±0.87 | 8.27±0.74 | 7.87±0.73 | 7.90±0.76 |
| เนื้อสัมผัส$^{ns}$ | 7.97±0.81 | 8.00±0.83 | 8.13±0.78 | 8.33±0.61 | 8.10±0.71 |
| ความชอบโดยรวม$^{ns}$ | 8.17±0.75 | 8.23±0.86 | 8.07±0.83 | 8.13±0.82 | 8.20±0.76 |

**หมายเหตุ :** $^{ns}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีค่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

5.1 ค่าสี

การใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวมีผลต่อค่าความสว่าง (*L**) และ ค่าสีแดง (*a**) และค่าสีเหลือง (*b**) ของบัตเตอร์ครีมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากผลการวิจัยพบว่าบัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ100 จะมีค่าความสว่างน้อยที่สุด ค่าความสว่างลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้ การลดลงของค่า *L** สะท้อนถึงสีที่เข้มขึ้นของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากสีเหลืองทองของเนยโกโก้ซึ่งต่างจากเนยขาวที่มีลักษณะขาวขุ่น (Lipp & Anklam, 1998) สอดคล้องกับงานของ Zeng et al. (2013) ที่ระบุว่าไขมันจากพืชที่มีสีธรรมชาติเข้ม เช่น เนยโกโก้ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เติมลงไปมีความสว่างลดลง ค่า *a** ของ บัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยโกโก้ 100% จะมีค่า *a** มากที่สุด ค่า *a** สูงสุดในสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ25 และ ร้อยละ100 (1.40 และ 1.41 ตามลำดับ) ซึ่งสะท้อนถึงความเอนเอียงไปทางเฉดสีแดงเพิ่มขึ้น เนยโกโก้มีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกและสีธรรมชาติบางส่วนจากกระบวนการแปรรูปเมล็ดโกโก้ ซึ่งอาจส่งผลต่อโทนสีแดงของผลิตภัณฑ์ (Afoakwa, 2010) สำหรับค่า *b** ของบัตเตอร์ครีมที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ 100 จะมีค่าสีเหลืองมากที่สุด ค่า *b** เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ เนยโกโก้ โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ 100% มีค่า *b** สูงสุด (18.45) แสดงถึงความเหลืองที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ค่า *b** ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลจากสีธรรมชาติของเนยโกโก้ซึ่งมีเฉดเหลืองอ่อนจนถึงเหลืองทอง จึงส่งผลต่อค่าสีของบัตเตอร์ครีมโดยตรง งานวิจัยของ Dasappa et al. (2009) พบว่าไขมันจากพืช เช่น น้ำมันรำข้าวหรือเนยโกโก้ เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จะเพิ่มค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

การใช้เนยโกโก้ทดแทนเนยขาวมีผลเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านสีของบัตเตอร์ครีมอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านความเข้มของสี (*L**) และความเหลือง (*b**) ซึ่งเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ใช้ การเปลี่ยนแปลงนี้มีนัยสำคัญในด้านการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อและความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

5.2 ค่าความชื้น

ค่าความชื้นของบัตเตอร์ครีมในสูตรต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าระหว่าง ร้อยละ3.94–5.11 ซึ่งแสดงว่า การทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ไม่มีผลชัดเจนต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ การที่ค่าความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนนี้อาจเนื่องมาจากทั้งเนยขาวและเนยโกโก้เป็นไขมันที่มีปริมาณน้ำต่ำมาก และในกระบวนการผลิตบัตเตอร์ครีม น้ำมีบทบาทจำกัดเนื่องจากโครงสร้างของครีมเน้นการกระจายไขมันกับน้ำตาลไอซิ่งมากกว่าน้ำ (Ghotra et al., 2002)

5.3 ค่าเนื้อสัมผัส

ค่าความแข็งลดลงอย่างชัดเจนในสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ100 (3.00) เมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ (ประมาณ 7.00–7.76) แสดงว่า การใช้เนยโกโก้ในปริมาณสูงจะลดค่าความแข็งของบัตเตอร์ครีมลง เนื่องจากเนยโกโก้มีโครงสร้างผลึกไขมันที่ละเอียดและอ่อนตัวเร็วที่อุณหภูมิร่างกาย ทำให้บัตเตอร์ครีมที่มีสัดส่วนเนยโกโก้สูงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าการใช้เนยขาว ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแข็งและเสถียรสูงกว่า (Lipp & Anklam, 1998) งานวิจัยของ Kim and Moon (2024) ระบุว่าการใช้ไขมันจากพืชที่มีโครงสร้างผลึกละเอียด เช่น เนยโกโก้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีความแข็งลดลง แต่ได้เนื้อสัมผัสที่นุ่มละมุนมากขึ้น

ค่าความรวมตัวกันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการใช้เนยโกโก้ ร้อยละ25–100 โดยเฉพาะที่ ร้อยละ75 ให้ค่าสูงสุด (7.41) แสดงว่า การใช้เนยโกโก้ช่วยเสริมโครงสร้างการยึดติดของเนื้อครีม คุณสมบัตินี้อาจเกิดจากผลึกไขมันของเนยโกโก้ที่สามารถสร้างโครงข่ายละเอียดที่ส่งผลให้เนื้อครีมยึดกันได้ดีขึ้นเมื่อใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยเฉพาะในช่วง ร้อยละ25–75 ซึ่งยังคงมีสมดุลระหว่างความแข็งและความนุ่มของเนื้อครีม (Zeng et al., 2020)

ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนของเนยโกโก้ที่ใช้ โดยสูตร ร้อยละ100 มีค่าสูงสุด (49.67 g/cm³) และสูตร ร้อยละ0 มีค่าต่ำสุด (45.33 g/cm³) แนวโน้มนี้แสดงว่าเนยโกโก้มีผลทำให้โครงสร้างของครีมอัดแน่นมากขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของผลึกไขมันของเนยโกโก้ที่สามารถแทรกตัวในโครงสร้างของครีมได้ดี ทำให้เกิดการอัดตัวแน่นในมวลครีมมากขึ้น (Dasappa et al., 2009)

การทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ในบัตเตอร์ครีมมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านความแข็งและความแน่นเนื้อซึ่งมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อใช้เนยโกโก้ในอัตราที่สูงขึ้น ผลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ปรับปรุงสูตรผลิตภัณฑ์ให้เหมาะกับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มละมุน และหลีกเลี่ยงไขมันทรานส์จากเนยขาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

1) ด้านสี

คะแนนความชอบด้านสีมีค่าเฉลี่ยสูงทุกกลุ่ม (8.23–8.40) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อเฉดสีของบัตเตอร์ครีมในทุกระดับการทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ การที่เนยโกโก้มีเฉดสีเหลืองนวลในธรรมชาติและสามารถให้โทนสีที่คล้ายคลึงกับเนยสดหรือเนยขาวเมื่อใช้ในบัตเตอร์ครีม อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด ส่งผลให้ผู้บริโภคยังคงพึงพอใจในระดับสูง สอดคล้องกับงานของ Zeng et al. (2020) ที่ระบุว่าเนยโกโก้สามารถใช้ร่วมกับไขมันชนิดอื่นในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ

2) กลิ่นและรสชาติ

คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติอยู่ในระดับดีมาก (เฉลี่ย 7.87–8.03) โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ50 ให้คะแนนรสชาติสูงสุด (8.27) แม้จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่แนวโน้มชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนของเนยโกโก้ระดับปานกลางอาจช่วยส่งเสริมกลิ่นและรสชาติที่กลมกล่อมและเป็นธรรมชาติ เนยโกโก้มีองค์ประกอบของไขมันที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวและมีกลิ่นหอมจาง ๆ ของโกโก้ซึ่งเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จะช่วยเพิ่มความซับซ้อนของรสชาติได้ดีโดยไม่กลบรสหวานและกลิ่นวานิลลาของบัตเตอร์ครีม (Beckett, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dasappa et al. (2009) ที่พบว่าการแทนที่ไขมันสัตว์ด้วยไขมันพืชบางชนิดช่วยปรับปรุงกลิ่นรสและความกลมกล่อมของขนมอบโดยไม่ลดความพึงพอใจของผู้บริโภค

3) เนื้อสัมผัส

คะแนนเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 7.97–8.33 โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ75 ได้คะแนนสูงสุด (8.33) แสดงว่าการทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ในระดับปานกลางถึงสูงมีผลดีต่อความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส เนยโกโก้มีโครงสร้างผลึกที่ละเอียดและให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มลื่นจึงช่วยให้เนื้อครีมมีความละมุนและไม่ฝืดปากซึ่งเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้รับความนิยมในผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีม จากงานวิจัยของ Kim and Moon (2024) พบว่าไขมันพืชที่มีลักษณะกึ่งแข็ง เช่น เนยโกโก้ ช่วยเพิ่มความนุ่มเนียนและความชุ่มปากในผลิตภัณฑ์ฟรอสติ้งและครีมเคลือบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) ความชอบโดยรวม (Overall Acceptance)

ค่าคะแนนรวมทั้งหมดอยู่ในระดับสูงใกล้เคียงกัน (8.07–8.23) โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ25 และ ร้อยละ100 ให้คะแนนสูงสุด ซึ่งแสดงว่าผู้บริโภคยอมรับได้ทุกสูตรและไม่มีผลกระทบด้านลบจากการใช้เนยโกโก้ในการแทนเนยขาว แนวโน้มนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pathare et al. (2013) ที่รายงานว่าหากการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอย่างชัดเจน ผู้บริโภคก็ยังคงให้การยอมรับในระดับสูงได้ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันจากธรรมชาติ

การทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ในสูตรบัตเตอร์ครีมสำหรับแต่งหน้าเค้กไม่มีผลกระทบต่อความชอบของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญในทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส หรือภาพรวม ซึ่งแสดงว่าเนยโกโก้สามารถเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บัตเตอร์ครีมเพื่อสุขภาพโดยลดการใช้ไขมันทรานส์จากเนยขาวโดยไม่สูญเสียคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดแทนเนยขาวด้วยเนยโกโก้ในสูตรบัตเตอร์ครีมส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะค่าความแข็งลดลงและค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเนยโกโก้ โดยสูตรที่ใช้เนยโกโก้ 100% ให้ค่าความนุ่มสูงสุด และความแน่นเนื้อสูงสุด ค่าความชื้นของบัตเตอร์ครีมในทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการแทนที่เนยขาวด้วยเนยโกโก้ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ด้านประสาทสัมผัส ไม่ว่าจะเป็นสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรต่าง ๆ โดยทุกสูตรได้รับการยอมรับในระดับสูงจากผู้บริโภค สูตรที่ใช้เนยโกโก้ในระดับปานกลางถึงสูง (ร้อยละ50–ร้อยละ100) มีแนวโน้มให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสที่ดีกว่า แสดงถึงความกลมกล่อม นุ่มละมุน และคุณภาพโดยรวมที่ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ: เนยโกโก้สามารถเป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อทดแทนเนยขาวในการผลิตบัตเตอร์ครีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดปริมาณไขมันทรานส์ และไม่กระทบต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค เหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพในอนาคต

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของงานวิจัยครั้งนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา และครู-อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

**7. เอกสารอ้างอิง**

บุญญาพร และคณะ (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมแต่งหน้าเค้กไร้ไขมันทรานส์. วารสารวิชาการและการวิจัย มทร. พระนค, 16(1) https://doi.nrct.go.th

Afoakwa, E. O. (2010). Chocolate science and technology. Wiley-Blackwell.

Beckett, S. T. (2008). The Science of Chocolate (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.

Dasappa, I., Sowmya, M., Thangaraj, J., & Jyotsna, R. (2009). Effect of replacement of fat with sesame oil and additives on rheological, microstructural, quality characteristics and fatty acid profile of cake. Food Hydrocolloids, 23(7), 1827–1836.

Ghotra, B. S., Dyal, S. D., & Narine, S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. Food Research International, 35(10), 1015–1048.

John, (2020). Cocoa butter: A review. International Journal of Food Science and Technology, 45(8, 1587-1593.

Juil, (1998). The impact of storage conditions on the quality of cocoa butter. Journal of Food Quality, 39(5), 237-245.

Kim, I., & Moon, K.-D. (2024). Quality characteristics of plant-based whipped cream with ultrasonicated pea protein. Food Science and Preservation, 1, 64-79.

Lipp, M., & Anklam, E. (1998). Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate – Part A. Composition, properties and processing. Food Chemistry, 62(1), 73–97.

Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. New England Journal of Medicine, 354(15), 1601–1613.

Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food and Bioprocess Technology, 6, 36–60.

Rahman, M. S., Al-Farsi, S. A., & Kasapis, S. (2018). State diagram approach in understanding the functionality of food hydrocolloids. In M. S. Rahman (Ed.), Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties and Structures (pp. 55–82). CRC Press.

Zeng, J., Shen, J., Wu, Y., Liu, X., Deng, Z.-Y., & Li, J. (2020). Effect of adding shea butter stearin and emulsifiers on the physical properties of cocoa butter. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(4), 972–979.

# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากนมเมล็ดทุเรียน

# Development of Ice Cream Product From Durian Seed Milk

**อริสรา กาญจนวรรณ และ สิริมา ชินสาร***

**Arissara Kanchanawan and Sirima Chinnasarn***

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi. Email : 65910100@go.buu.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจากน้ำนมเมล็ดทุเรียน โดยศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำนมเมล็ดทุเรียน ครีมสเตอริไลซ์ และน้ำตาล ต่อคุณลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมจำนวน 5 สูตร จากการออกแบบการทดลองแบบ Mixture Design และประเมินค่าทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการขึ้นฟู (%Overrun) ความหนืด อัตราการละลาย รวมถึงการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองพบว่าสูตรที่ประกอบด้วยน้ำนมเมล็ดทุเรียน 652.1 กรัม ครีมสเตอริไลซ์ 114.8 กรัม และน้ำตาล 151.6 กรัม ให้ค่าอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมในระดับปานกลาง (53.8%) มีความหนืดเหมาะสม (1,250 cP) และอัตราการละลายต่ำ (0.65 กรัมต่อนาที) การวิเคราะห์กราฟ Surface Plot แสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณน้ำตาลและครีมในระดับปานกลางร่วมกับน้ำนมเมล็ดทุเรียนส่งผลต่อโครงสร้างและคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ การประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่ 5 แม้ไม่ได้ให้คะแนนสูงสุดในทุกด้าน แต่มีค่าความชอบโดยรวมในระดับยอมรับได้ สอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกจากแหล่งโปรตีนพืชที่ยั่งยืน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำน้ำนมเมล็ดทุเรียนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไอศกรีมที่มีคุณภาพและเป็นมิตรต่อสุขภาพ

**คำสำคัญ:** น้ำนมเมล็ดทุเรียน, ไอศกรีม, การออกแบบส่วนผสม, คุณสมบัติทางกายภาพ, การประเมินทางประสาทสัมผัส

**Abstract**

This research aimed to develop ice cream from durian seed milk by investigating the effects of varying proportions of durian seed milk, sterilized cream, and sugar on the physical and sensory characteristics of the product. Five formulations were designed based on a Mixture Design and were evaluated for their overrun, viscosity, melting rate, and sensory attributes. The results indicated that the formulation containing 652.1 g of durian seed milk, 114.8 g of sterilized cream, and 151.6 g of sugar yielded moderate overrun (53.8%), suitable viscosity (1,250 cP), and low melting rate (0.65 g/min). Surface plot analysis demonstrated that appropriate ingredient proportions significantly influenced product structure and quality. Although this formulation did not achieve the highest scores in all sensory attributes, it was rated acceptable in overall liking. These findings

highlight the potential of durian seed milk as a plant-based milk substitute for producing quality ice cream that is health-conscious and aligns with sustainable protein trends.

**Keywords:** durian seed milk, ice cream, mixture design, physical properties, sensory evaluation

## 1. บทนำ

แนวโน้มการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช (plant-based foods) ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในระดับโลก อันเนื่องมาจากความตระหนักด้านสุขภาพ ความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีการพัฒนาเครื่องดื่มน้ำนมจากพืชหลากหลายชนิด เช่น นมจากอัลมอนด์ นมถั่วเหลือง นมข้าวโอ๊ต และนมมะพร้าว (Sethi, Tyagi, & Anurag, 2016) อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบท้องถิ่นที่มีศักยภาพสูงในประเทศไทยอย่างเมล็ดทุเรียน ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการบริโภคและในอุตสาหกรรมแปรรูป และมีปริมาณเมล็ดทุเรียนที่ทิ้งเป็นของเสียมากถึงร้อยละ 20 - 25 ของน้ำหนักทุเรียนสด (วารินทร์ พิมพา และนิทรา เนื่องจำนงค์, 2554) ซึ่งโดยทั่วไปยังไม่ได้รับการนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ แม้จะมีสารอาหารสำคัญ เช่น แป้ง โปรตีน และใยอาหารทั้งละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและสุขภาพ การใช้เมล็ดทุเรียนในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมพืชหรือไอศกรีม ไม่เพียงช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่าเท่านั้น แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและยั่งยืน (BCG) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพและผลิตภัณฑ์จากพืช

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งที่นิยมบริโภคทั่วโลก มีโครงสร้างและคุณสมบัติซับซ้อน ประกอบด้วยไขมัน, สารให้ความหวาน และสารให้ความคงตัว ซึ่งล้วนมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัส อัตราการขึ้นฟู ความหนืด ความสามารถในการคงรูป และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Muse & Hartel, 2004; Goff & Hartel, 2013) การพัฒนาไอศกรีมจากน้ำนมพืชจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมองค์ประกอบส่วนผสมให้เหมาะสม ทั้งในด้านฟังก์ชันการทำงานและการยอมรับจากผู้บริโภค

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไอศกรีมจากน้ำนมเมล็ดทุเรียนโดยใช้แผนการทดลองแบบ Mixture Design ในการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำนมเมล็ดทุเรียน, Sterilized cream และน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม ได้แก่ อัตราการขึ้นฟู, ความหนืด และอัตราการละลาย รวมถึงการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อหาองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับเป็นสูตรต้นแบบของผลิตภัณฑ์ในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมน้ำนมเมล็ดทุเรียน

คัดเลือกเมล็ดทุเรียนโดยเป็นทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ที่ได้จากได้จากตลาดขายปลีก และโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทุเรียนในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี กำหนดอายุเมล็ดทุเรียนจากผลทุเรียนสุกอายุ 20 สัปดาห์ (ประมาณ 140-150 วัน) โดยเลือกเมล็ดทุเรียนที่มีการแกะไม่เกิน 1-2 วัน และมีลักษณะของเมล็ดที่ไม่ลีบ นำเมล็ดทุเรียนมาหั่นส่วนท้ายออกเล็กน้อย เติมน้ำลงไปใน

อัตราส่วน 1:2 (โดยน้ำหนัก) นำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 30 นาที เมื่อต้มจนสุกปอกเปลือกหุ้มเมล็ดทุเรียนส่วนที่เป็นสีน้ำตาลออกเลือกเฉพาะส่วนเนื้อในเมล็ดสีขาว หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 (โดยน้ำหนัก)

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของนมเมล็ดทุเรียน

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีนตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2000) และคาร์โบไฮเดรต โดยการนำผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้ามาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2023) และปริมาณแคลเซียมตามวิธีมาตรฐาน (AOAC, 2023)

3.3 การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาไอศกรีมเมล็ดทุเรียน

ออกแบบการทดลองแบบ Mixture design โดยมีความมุ่งหมายที่จะใช้น้ำนมจากเมล็ดทุเรียนแทนนมสด หาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมตามขอบเขตของข้อจำกัดส่วนผสมหลักดังตารางที่ 1 ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ดังนี้ นมเมล็ดทุเรียนร้อยละ 55 - 70 น้ำตาลทรายร้อยละ 13 - 20 และ Sterilized cream ร้อยละ 5 - 20 โดยแต่ละสูตรจะมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของส่วนผสมเพื่อศึกษาผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนืด อัตราการขึ้นฟู และอัตราการละลาย การทดลองลักษณะนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและผลลัพธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำไปสู่การหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดลองประกอบด้วย 5 สิ่งทดลองดังตารางที่ 2 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA และแสดงผลผ่านกราฟ Surface Plot เพื่อเลือกสูตรที่มีคุณภาพเหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมไอศกรีมนมสูตรพื้นฐาน

| ส่วนผสม | ร้อยละโดยน้ำหนัก | น้ำหนัก (กรัม) |
|---|---|---|
| นมจืด | 65.35 | 653.5 |
| ครีมสเตอริไลซ์ | 9.60 | 96.00 |
| หางนมผง | 5.00 | 50.00 |
| น้ำตาล | 16.90 | 169.00 |
| น้ำ | 3.15 | 31.50 |

* ชั่งส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมตามสัดส่วนที่กำหนด ให้มีปริมาณรวม 1,000 กรัม

ที่มา : ดัดแปลงจากวิธีของ สมจิตร สุรพัฒน์, 2544

3.4 การผลิตไอศกรีม

ส่วนผสมของไอศกรีมถูกคำนวณจากผลการออกแบบการทดลองแบบ Mixture Design (ตารางที่ 2) โดยใช้น้ำนมจากเมล็ดทุเรียนทดแทนนมสดในสูตรพื้นฐานของไอศกรีม (ตารางที่ 1) ให้ได้ปริมาณรวม 1,000 กรัมต่อสูตร ดังแสดงในตารางที่ 3 วิธีการเตรียมเริ่มจากการผสมส่วนผสมแห้งทั้งหมดให้เข้ากัน จากนั้นตีผสมด้วยเครื่องปั่น (Philips รุ่น HR2118/02, ประเทศจีน) เป็นเวลา 2–5 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 75°C นาน 15 นาที ก่อนทำให้เย็นลงจนถึง 4°C และบ่มที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ไอศกรีมเหลวหลังจากนั้นจึงนำไปปั่นในเครื่องทำไอศกรีม (UNOLD รุ่น 48855, ประเทศจีน) เพื่อขึ้นรูปเป็นไอศกรีม ก่อนนำไปเก็บแช่แข็งที่อุณหภูมิ –18°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัวอย่างไอศกรีมหลังแช่แข็งจะถูกนำมาวิเคราะห์

คุณภาพทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานและใช้ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 2** ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำนมจากเมล็ดทุเรียนที่ดำเนินการทดลอง

| สูตรที่ | ปริมาณของส่วนผสม (ร้อยละ) | | |
|---|---|---|---|
| | น้ำนมเมล็ดทุเรียน | น้ำตาล | Sterilized cream |
| 1 | 75.00 | 20.00 | 5.00 |
| 2 | 75.00 | 13.00 | 12.00 |
| 3 | 67.00 | 13.00 | 20.00 |
| 4 | 60.00 | 20.00 | 20.00 |
| 5 | 71.00 | 16.50 | 12.50 |

* ค่าที่แสดงใช้คำนวณเทียบสูตรพื้นฐานของไอศกรีม (ตารางที่ 1) ให้ได้ปริมาณรวม 1,000 กรัมต่อสูตร

**ตารางที่ 3** ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมน้ำนมจากเมล็ดทุเรียน

| สูตรที่ | ปริมาณของส่วนผสม (กรัม) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำนมเมล็ดทุเรียน | 688.90 | 688.90 | 615.40 | 551.10 | 652.10 |
| ครีมสเตอริไลซ์ | 45.90 | 110.20 | 183.70 | 183.70 | 114.80 |
| หางนมผง | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| น้ำตาล | 183.70 | 119.40 | 119.40 | 183.70 | 151.60 |
| น้ำ | 31.50 | 31.50 | 31.50 | 31.50 | 31.50 |

* ชั่งส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมตามสัดส่วนที่กำหนด มีปริมาณรวม 1,000 กรัม

3.5 การวัดความหนืด ดัดแปลงวิธีของ ( Chang et al., 1995 อ้างอิงจาก ศุภนิช สิทธิบุศย์, 2555)

โดยนำตัวอย่างไอศกรีมเหลวหลังผ่านกระบวนการบ่มที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield Viscometer (รุ่น DV2T-DR-INSTRUMEMT) โดยใช้ Spindle เบอร์ LV-3 ที่ความเร็ว 50 rpm ควบคุมอุณหภูมิเหลวที่ 4±5°C อ่านค่าที่ได้ทุก 30 วินาที รายงานในหน่วย Centipoise (cP) โดยทดลอง 3 ซ้ำ ในไอศกรีมทุกสูตร

3.6 การวัดค่าอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม (%Overrun) ตามวิธีการของ Akin et al. (2007)

ชั่งน้ำหนักไอศกรีมเหลวหลังผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไอศกรีมเหลวทั้งหมดไปปั่นจนไอศกรีมเหลวนั้นขึ้นฟูทั้งหมด ชั่งน้ำหนักไอศกรีมบันทึกน้ำหนักไอศกรีมที่ได้ นำข้อมูลไปคำนวณค่าร้อยละการขึ้นฟู ดังสมการ

โดยสูตรคำนวณดังนี้

$$\%\text{Overrun} = \frac{A - B}{B} \times 100$$

โดยที่ A คือ น้ำหนักไอศกรีมเหลว 1 ลิตร

B คือ น้ำหนักไอศกรีม 1 ลิตร

3.7 การวัดอัตราการละลายของไอศกรีม ดัดแปลงจากวิธีของ Akin et al. (2007)

เตรียมตัวอย่างไอศกรีม 50 กรัม บรรจุในถ้วยไอศกรีม นำไปแช่แข็งในตู้แช่ -18°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างวัดอัตราการละลายที่อุณหภูมิห้อง (25±2°C) โดยวางตัวอย่างบนตะแกรงสแตนเลสที่รองรับด้วยถ้วยตวง เริ่มจับเวลาการละลายเมื่อวัดอุณหภูมิเพิ่มขึ้น -15°C ชั่งน้ำหนักของเหลวที่ละลายทุก 10 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เขียนกราฟหาอัตราการละลาย

3.8 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

เตรียมตัวอย่างไอศกรีมนมจากเมล็ดทุเรียน ที่แช่แข็งนำออกมาวางทิ้งไว้เป็นเวลา 3-5 นาที ก่อนเสิร์ฟตัวอย่างใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน แต่ละคนจะทดสอบ ตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยวิธี 9 Point- Hedonic Scale ให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 คะแนน โดยให้ผู้ทดสอบพิจารณาลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยมีการอธิบายรายละเอียดความหมายของแต่ละด้านการทดสอบ ดังนี้ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม

3.9 วิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey นัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรม Minitab 17

**4. ผลการวิจัย**

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของเมล็ดทุเรียน

การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของเมล็ดทุเรียนเผยให้เห็นคุณสมบัติที่น่าสนใจจากนมเมล็ดทุเรียน โดยมีใยอาหารที่ละลายน้ำ 8.86% ซึ่งใยอาหารละลายน้ำทำหน้าที่คล้าย hydrocolloid/stabilizer ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียนและคงตัวดีเพิ่มความหนืดให้กับ base mix โดยไม่ต้องเติมสารเพิ่มความหนืด และสามารถลดการเกิดผลึกน้ำแข็ง และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 10.49% จะช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัส (mouthfeel) ช่วยให้โครงสร้างของไอศกรีมมีความแน่นขึ้น และให้ความ “หนืบ-หยาบ” แบบธรรมชาติจากนมเมล็ดทุเรียน

4.2 การหาสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาไอศกรีมเมล็ดทุเรียน

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมนมที่พัฒนาสูตรด้วยการใช้เมล็ดทุเรียนเป็นส่วนประกอบ พบว่าแต่ละสูตรมีค่าระดับอัตราการขึ้นฟู ความหนืด (Viscosity) และอัตราการละลาย (Melting rate) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีแนวโน้มดังนี้สูตรที่มีอัตราการขึ้นฟูสูงสุด คือ สูตรที่ 1 (68.20±3.80%) ซึ่งมีลักษณะเนื้อฟูเบา แต่มีอัตราการละลายสูงที่สุด (0.79±0.20 กรัม/นาที) และมีค่าความหนืดต่ำที่สุด (1050±12.70 cP) ในขณะที่ สูตรที่ 4 มีค่าอัตราการขึ้นฟูต่ำที่สุด

(35.4±2.70%) แต่แสดงค่าความหนืดสูงสุด (1420±5.70 cP) และอัตราการละลายต่ำที่สุด (0.52±0.13 กรัม/นาที) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่มีความคงตัวทางความร้อนดีกว่า การเพิ่มปริมาณของสารจากเมล็ดทุเรียนมีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยของ Akesowan (2009) พบว่าอัตราการขึ้นฟูที่สูงเกินไปอาจทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเบาแต่ไม่แน่น ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่อัตราการขึ้นฟูในช่วง 30–60% ให้ผลทางเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสูตรที่ 4 และ 5 ที่มีอัตราการขึ้นฟูปานกลางถึงต่ำ และได้รับความชอบทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้ ความหนืดของเนื้อไอศกรีมมีผลต่ออัตราการขึ้นฟู และอัตราการละลาย งานวิจัยโดย Muse and Hartel (2004) รายงานว่า ความหนืดที่เพิ่มขึ้นช่วยทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง สูตร 3 และ 4 มีความหนืดสูงและอัตราการละลายต่ำเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงตัวดีและไม่ละลายเร็ว

เมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมจากนมวัว ซึ่งโดยทั่วไปมีอัตราการขึ้นฟู อยู่ในช่วง 60–80% และมีอัตราการละลายสูง (0.70–0.90 กรัม/นาที) พบว่าไอศกรีมนมจากเมล็ดทุเรียนมีความคงตัวได้ดีกว่า ในสูตรที่ 3–4 ให้ความหนืดสูงกว่าไอศกรีมชนิดอื่นทั้งหมด สาเหตุจากแป้งและเส้นใยอาหารในเมล็ดทุเรียนส่งผลให้เนื้อไอศกรีมมีความหนืดขึ้น ทั้งนี้จากการศึกษาของ Goff & Hartel (2013) พบว่า อัตราการขึ้นฟูที่สูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเบาแต่มีแนวโน้มที่จะละลายเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการขึ้นฟูต่ำ

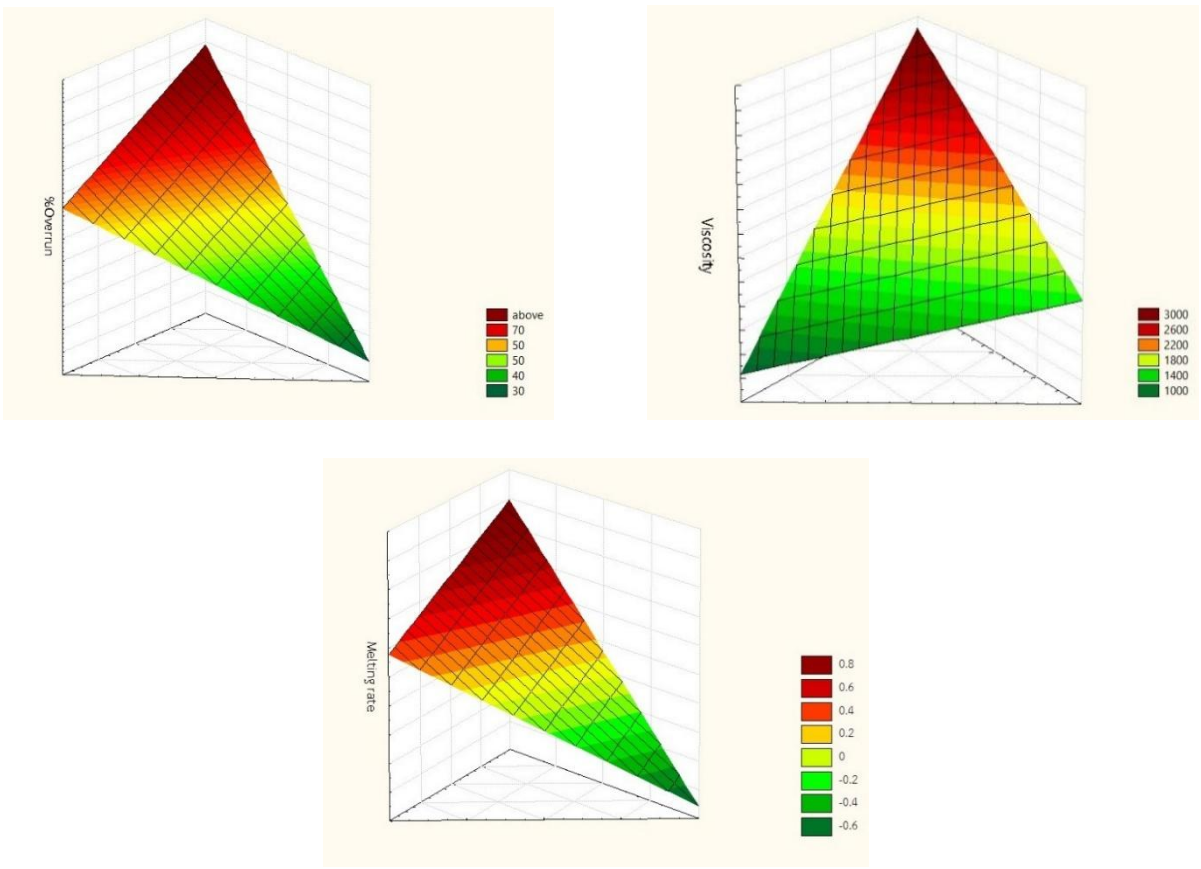
**ตารางที่ 4** องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดทุเรียน

| องค์ประกอบทางเคมี | Durian seed milk (%db) |
|---|---|
| Moisture | 11.87 |
| Ash | 15.92 |
| Lipid | 2.76 |
| Insoluble fiber | 10.49 |
| Soluble fiber | 8.86 |
| Protein | 0.89 |

**ตารางที่ 5** การวิเคราะห์คุณภาพของไอศกรีมน้ำนมจากเมล็ดทุเรียน

| สูตรที่ | %Overrun | Viscosity (Centipoint) | Melting rate (g/min) | ความชอบโดยรวม |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 68.2±3.80$^{a}$ | 1050±12.70$^{d}$ | 0.79±0.20$^{a}$ | 6.77±3.39$^{ab}$ |
| 2 | 59.7±3.50$^{ab}$ | 1200±1.40$^{c}$ | 0.70±0.24$^{ab}$ | 6.53±3.24$^{ab}$ |
| 3 | 41.2±2.90$^{c}$ | 1340±19.80$^{ab}$ | 0.58±0.22$^{ab}$ | 6.77±3.39$^{ab}$ |
| 4 | 35.4±2.70$^{c}$ | 1420±5.70$^{a}$ | 0.52±0.13$^{bc}$ | 7.70±4.50$^{a}$ |
| 5 | 53.8±3.20$^{b}$ | 1250±11.30$^{bc}$ | 0.65±0.16$^{c}$ | 6.13±3.70$^{b}$ |

**หมายเหตุ** ตัวเลขในตารางเป็นค่า Mean±SD. (n=30 วิธี 9 point hedonic scale)
อักษรตัวยกที่ต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้ง ที่ความแตกต่างกันต่างสถิติ ( P<0.05)




**ภาพที่ 1** โครงสร้างพื้นผิวตอบสนองของคุณภาพทางกายภาพไอศกรีมนมเมล็ดทุเรียน

การวิเคราะห์ผลทางกายภาพร่วมกับกราฟ Surface Plot สูตรที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยน้ำนมเมล็ดทุเรียน 652.10 กรัม, Sterilized cream 114.80 กรัม และน้ำตาล 151.60 กรัม ให้อัตราการขึ้นฟูอยู่ในระดับปานกลาง (53.8%) อยู่ในช่วงเหมาะสมกับไอศกรีมเชิงพาณิชย์ทั่วไป 40–70% (Goff & Hartel, 2013) ความหนืดในระดับที่เหมาะสม (1250 cP) และอัตราการละลายไม่สูง (0.65 กรัม/นาที) สอดคล้องกับความต้องการในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีโครงสร้างคงตัว (Muse & Hartel, 2004; Goff & Hartel, 2013)

**ตารางที่ 6** การเปรียบเทียบคุณภาพของไอศกรีมน้ำนมจากเมล็ดทุเรียนกับนมชนิดอื่น

| ประเภทไอศกรีม | %Overrun | Viscosity (Centipoint) | Melting rate (g/min) | แหล่งอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|
| นมสด | 60–80 | 800–1000 | 0.70–0.90 | Goff & Hartel (2013) |
| นมอัลมอนด์ | 40–60 | 1000–1200 | 0.60–0.80 | Zhao et al. (2019) |
| นมถั่วเหลือง | 45–65 | 900–1300 | 0.55–0.75 | Sethi et al. (2016) |
| นมข้าวโอ๊ต | 45–65 | 1100–1350 | 0.55–0.70 | Aryana & Kilara (2014) |
| นมจากเมล็ดทุเรียน (สูตร 4) | 35.4±2.70 | 1420±5.70 | 0.52±0.13 | ผลการทดลองนี้ |

การศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Clarke (2004) ที่กล่าวว่า ความสมดุลของความหนืดและอัตราการขึ้นฟูส่งผลต่อเนื้อสัมผัสเมื่อรับประทาน ซึ่งสัมพันธ์กับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะเนื้อสัมผัสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ จากงานของ Whelan et al. (2008) และ Zhao et al. (2019) พบว่าไอศกรีมที่ใช้สารทดแทนไขมันหรือพืช เช่น almond milk หรือ fat replacers มักมีเนื้อสัมผัสนุ่มกว่า และมีกลิ่น-รสชาติเฉพาะตัว ซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคล้ายกับที่พบในสูตรที่ 4

**ตารางที่ 7** คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมน้ำนมจากเมล็ดทุเรียน

| สูตร | คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | สี | กลิ่น | เนื้อสัมผัส | รสชาติ | ความชอบโดยรวม |
| สูตร 1 | 7.37±3.87$^{a}$ | 5.83±1.94$^{b}$ | 6.43±3.04$^{ab}$ | 7.07±2.45$^{a}$ | 6.77±3.39$^{ab}$ |
| สูตร 2 | 7.30±3.50$^{a}$ | 6.33±3.43$^{b}$ | 6.40±3.08$^{ab}$ | 6.17±3.24$^{b}$ | 6.53±3.24$^{ab}$ |
| สูตร 3 | 7.20±3.24$^{a}$ | 6.83±3.20$^{ab}$ | 6.60±3.43$^{ab}$ | 6.07±2.45$^{b}$ | 6.77±3.39$^{ab}$ |
| สูตร 4 | 7.70±4.50$^{a}$ | 7.90±4.50$^{a}$ | 7.60±4.06$^{a}$ | 7.50±3.77$^{a}$ | 7.70±4.50$^{a}$ |
| สูตร 5 | 5.13±3.46$^{b}$ | 7.03±3.74$^{ab}$ | 6.40±2.96$^{ab}$ | 6.80±3.24$^{ab}$ | 6.13±3.70$^{b}$ |

**หมายเหตุ** ตัวเลขในตารางเป็นค่า Mean±SD (n=30 วิธี 9 point hedonic scale)
อักษรตัวยกที่ต่างกัน แสดงถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้ง ที่ความแตกต่างกันต่างสถิติ ( $P<0.05$)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเมล็ดทุเรียนเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพืช โดยเฉพาะน้ำนมเมล็ดทุเรียนซึ่งประกอบด้วยใยอาหารละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในปริมาณสูง ใยอาหารละลายน้ำทำหน้าที่คล้าย hydrocolloid ช่วยเพิ่มความหนืดและลดการเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Muse และ Hartel (2004) ที่ระบุว่า hydrocolloids เป็นสารสำคัญในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความคงตัวของไอศกรีม ในขณะที่ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำช่วยเพิ่มความแน่นและลักษณะเฉพาะของเนื้อสัมผัส (Whelan et al., 2008)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพและผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่าสูตรที่ 4 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส และกราฟ Surface Plot แม้สูตรที่ 5 จะไม่ได้ให้คะแนนประสาทสัมผัสสูงสุดในทุกด้าน แต่มีความหนืดและอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งส่งผลให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมเหมาะสมโดยมีอัตราการขึ้นฟูของไอศกรีมอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ (40–70%) ตามเกณฑ์ของ Goff & Hartel (2013) และมีอัตราการละลายที่เหมาะสม (0.65 g/min) ปริมาณน้ำนมเมล็ดทุเรียนที่ไม่สูงเกินไปช่วยลดกลิ่นเฉพาะของโปรตีนพืช ส่งผลให้รสชาติและกลิ่นได้รับการยอมรับ แม้สูตรอื่นจะได้คะแนนบางด้านสูงกว่า แต่สูตรที่ 5 มีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับยอมรับได้

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การพัฒนาไอศกรีมน้ำนมเมล็ดทุเรียนโดยเลือกใช้สูตรที่ 5 จะช่วยสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสที่เหมาะสมและได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคตควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สารช่วยคงตัวและสารให้เนื้อสัมผัสจากธรรมชาติเพื่อยกระดับคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการ

ทดสอบความเสถียรและการตอบรับจากกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลาย เพื่อเพิ่มโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สู่ตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**6. เอกสารอ้างอิง**

วารินทร์ พิมพา, & นิทรา เนื่องจำนงค์. (2554). *การประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งเม็ดทุเรียน เป็นแหล่งของแป้งเพื่อผลิตฟิล์มที่ย่อยสลายได้ และแคปซูลยาแบบแข็ง*. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Akesowan, A. (2009). Influence of soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. Thai Journal of Agricultural Science, 42(1), 1–6.

Arbuckle, W. S. (1986). Ice Cream (4th ed.). New York: Van Nostrand Reinhold.

Aryana, K. J., & Kilara, A. (2014). Ice Cream and Frozen Desserts. John Wiley & Sons.

Clarke, C. (2004). The Science of Ice Cream. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.

Cornell, J. A. (2011). Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. Wiley.

Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). Ice Cream (7th ed.). Springer Science & Business Media.

Muse, M. R., & Hartel, R. W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. Journal of Dairy Science, 87(1), 1–10. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5

Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives: An emerging segment of functional beverages: A review. Journal of Food Science and Technology, 53(9), 3408–3423.

Whelan, A. P., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D., & Gunasekaran, S. (2008). Structure and sensory evaluation of ice cream containing fat replacers. Journal of Dairy Science, 91(9), 3754–3762.

Wiwatwongwana, A., Sinsuwan, S., & Suntornsuk, L. (2015). Utilization of durian seed flour in food product development. Kasetsart Journal: Natural Science, 49(1), 72–80.

Zhao, W., et al. (2019). Development and characterization of almond milk-based ice cream. Food Science and Biotechnology, 28(5), 1353–1360.

# การผลิตเครื่องดื่มคอมบูชาเพื่อสุขภาพจากใบหม่อน

# Production of Healthy Kombucha Drink from Mulberry Leaves

**ชิคีษา พูพันธ์[1], ศิตาพร ปรางสุรางค์[2], ไรวินท์ ภู่ทับทิม[3], ญาณินท์ เพชรแก้ว[4], การัณย์ พรหมเทพ[5*]**

**Chikeesa poophan[1], Sitaporn Prangsurang[2], Rywin Putubtim[3], Yanin Phetkaew[4], Karan Phromthep[5*]**

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[1] The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University; norchor9@gmail.com

[2]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[2] The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University; p.mai.sitaporn@gmail.com

[3]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[3] The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University; rywin1016joey@gmail.com

[4]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[4] The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University; jaw02122550@gmail.com

[5]สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

[5]Department of Food Technology, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University; kphromthep@kru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการผลิตคอมบูชาจากชาเขียว (*Camellia sinensis*) และชาใบหม่อน (*Morus alba* L.) ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางทางเคมีและจุลินทรีย์รวมไปถึงการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของคอมบูชาระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างคอมบูชาจากชาเขียวมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2.69 และปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่คอมบูชาจากชาใบหม่อนให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2.86 และปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.58 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ตัวอย่างทั้งสองมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงเหลือ 14.65 และ 15.10 °Brix ตามลำดับ และทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.06–5.45 log cfu/mL สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญพบว่าในตัวอย่างชาใบหม่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นจาก 24.85 เป็น 28.99 mg gallic/100 mL ขณะที่ชาเขียวมีปริมาณลดลงจาก 25.45 เป็น 21.39 mg gallic/100 mL ในขณะที่กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของทั้งสองตัวอย่างภายหลังจาก 14 วันมีค่าลดลงเหลือ 17.55 และ 16.10 mg Trolox/100 mL ตามลำดับ สรุปได้ว่าใบหม่อนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคอมบูชาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับชาเขียว แต่ให้ปริมาณสารฟีนอลิกที่มากขึ้น ภายหลังจากการหมักจึงมีศักยภาพเป็นเครื่องดื่มสุขภาพทางเลือกจากวัตถุดิบท้องถิ่นได้

**คำสำคัญ:** เครื่องดื่ม, คอมบูชา, ใบหม่อน

**Abstract**

This study aimed to compare kombucha produced from green tea (*Camellia sinensis*) and mulberry-leaves tea (*Morus alba* L.) by monitoring chemical and microbiological properties, total phenolic content, and antioxidant activity during fermentation for 14 days. Green-tea kombucha reached a pH of 2.69 with 1.19 % total acidity, whereas mulberry-leaves kombucha showed a pH of 2.86 and 0.58 % total acidity. Total soluble solids declined to 14.65 and 15.10 °Brix, respectively, while total microbial counts ranged from 5.06 to 5.45 log cfu/mL. The total phenolic content in mulberry-leaf kombucha increased from 24.85 to 28.99 mg gallic/100 mL, whereas that of green-tea kombucha decreased from 25.45 to 21.39 mg gallic/100 mL. After 14 days of fermentation the antioxidant activity (DPPH assay) decreased in both samples to 17.55 and 16.10 mg Trolox/100 mL, respectively. These findings suggest that mulberry leaves are a promising local substrate for kombucha production, yielding a beverage with acidity comparable to that of green-tea kombucha but with higher phenolic content after fermentation, thereby offering potential as an alternative functional health drink.

**Keywords:** Beverage, Kombucha, Mulberry Leaves

**1. บทนำ**

ในปัจจุบันแนวโน้มการดูแลสุขภาพของผู้บริโภคมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หรือโปรไบโอติกส์ (Probiotics) ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างสุขภาพของระบบทางเดินอาหารและระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย หนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก คือ คอมบูชา (Kombucha) ซึ่งเป็นเครื่องดื่มชาหมักจากใบชาดำหรือชาเขียวร่วมกับน้ำตาล และใช้จุลินทรีย์กลุ่ม Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY) ในการหมัก โดยระหว่างกระบวนการหมักจะมีการสร้างกรดอินทรีย์และสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งให้รสหวานอมเปรี้ยวและกลิ่นเฉพาะตัว และจากผลการศึกษาพบว่าคอมบูชามีศักยภาพในการส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือด และอาจมีผลในการยับยั้งเซลล์มะเร็งบางชนิด (ประมวล ทรายทอง และธำรงศักดิ์ แก้วประดิษฐ์, 2564; Wang et al., 2010) นอกจากใบชาแล้ว ยังมีการศึกษาการประยุกต์ใช้ใบพืชชนิดอื่น เช่น ใบหม่อน (*Morus alba* L.) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้ในตำรับยาแผนไทยและผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพอย่างแพร่หลาย โดยใบหม่อนมีสารสำคัญ ได้แก่ Flavonoid, Phenolic acid และ Gamma-Aminobutyric acid (GABA) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด และมีศักยภาพในการป้องกันโรคเรื้อรัง เช่น เบาหวานและความดันโลหิตสูง (เทียนทิพย์ กสิกรณ์ และคณะ, 2562) นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยการผลิตคอมบูชาจากวัตถุดิบทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกเมล็ดโกโก้และน้ำโกโก้สด (จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ, 2568) กาแฟอะราบิก้า (กัญญารัตน์ จันทะมาตย์ และคณะ, 2568) ขมิ้นชัน (Zubaidah et al., 2022) ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอมบูชาสามารถผลิตได้ง่าย และส่งเสริมคุณประโยชน์จากวัตถุดิบ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่มีความหลากหลายมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากวัตถุดิบที่มีคุณประโยชน์ในท้องถิ่น ได้แก่ ใบหม่อน มาผลิตเป็นเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สร้างทางเลือกให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่รักษ์สุขภาพ และเพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์เชิงฟังก์ชันของวัตถุดิบท้องถิ่นและตอบสนองตลาดเครื่องดื่มสุขภาพที่กำลังเติบโตในปัจจุบัน

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและจุลินทรีย์ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์คอมบูชาระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

3.1 หัวเชื้อคอมบูชา

หัวเชื้อคอมบูชา (SCOBY) เป็นหัวเชื้อสำเร็จรูปจากทางการค้า โดยใช้ในสูตรการผลิตปริมาณ 10%

3.2 ตัวอย่างใบชาที่ใช้ผลิตคอมบูชา

ใบชาเขียว (*Camellia sinensis*) จากทางการค้า และชาใบหม่อน (*Morus alba* L.) ผลิตจากใบหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 จาก อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี ที่เก็บเกี่ยวระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

3.3 การเตรียมชาใบหม่อน

ดัดแปลงจาก มาดีนา นอยทับทิม (2566) เริ่มจากนำใบหม่อนสดนำมาล้าง ผึ่งให้หมาด แล้วนำมาหั่นขนาด 0.5-4.0 เซนติเมตร นำไปลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำเย็น จากนั้นนำใบหม่อนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง (หรือจนได้ค่าความชื้นน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) แล้วนำไปบรรจุในถุง เพื่อใช้สำหรับการทดลองต่อไป

3.4 การผลิตคอมบูชา

การผลิตคอมบูชา ดัดแปลงวิธีการผลิตจาก Zubaidah et al. (2022) เริ่มจากต้มใบชาเขียวและชาใบหม่อนในอัตราส่วนใบชา 10 กรัมต่อน้ำร้อน 1 ลิตร นำไปแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เติมสารให้ความหวาน (น้ำตาลทรายแดง) และปรับค่าให้ได้ประมาณ 15 °Brix และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้เท่ากับ 4.0 ด้วยกรดซิตริก แล้วนำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เติมหัวเชื้อคอมบูชาปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์แล้วใช้ผ้าขาวบางปิดที่ปากโหลที่ปลอดเชื้อให้สนิท และหมักเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางจุลินทรีย์ของคอมบูชา โดยสุ่มตัวอย่างน้ำคอมบูชามาวิเคราะห์ทุกวันที่ 0, 3, 7, 10 และ 14 วัน ของการหมัก โดยวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ได้แก่ วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter (Mettler-Toledo รุ่น Seven compact S220) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) โดยใช้ Refractometer (Atago รุ่น ATC-1E) วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีไทเทรท (AOAC, 2000) และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดตามวิธี Bacteriological Analytical Manual (FDA, 2001)

3.5 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงวิธีการจาก จุฑามาศ พรสันเทียะ และคณะ (2563) นำสารละลายตัวอย่างของคอมบูชาปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร รายงานผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรด

แกลลิก (gallic acid) และรายงานผลในหน่วย mg gallic acid equivalent/mL) โดยเก็บตัวอย่างทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0 และ 14 ของการหมัก

3.6 วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ดัดแปลงจาก ณชกนก เมธาอัครเดชาและอนงค์ ศรีโสภา (2563) นำสารละลายตัวอย่างคอมบูชาปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร ผสมเอทานอล 0.2 มิลลิตร จากนั้นเติม DPPH ความเข้มข้น 300 ไมโคร-
โมลาร 3 ปริมาตร 0.08 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox และรายงานผลในหน่วย mg Trolox equivalent/mL โดยเก็บตัวอย่างทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0 และ 14 ของการหมัก

3.7 แผนการทดลอง

การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ วางแผนการทดลองแบบ CRD Completely Randomized Design ปัจจัยได้แก่ ชนิดของใบชาสองชนิด ได้แก่ ชาเขียวและชาใบหม่อน วิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์โดยใช้ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

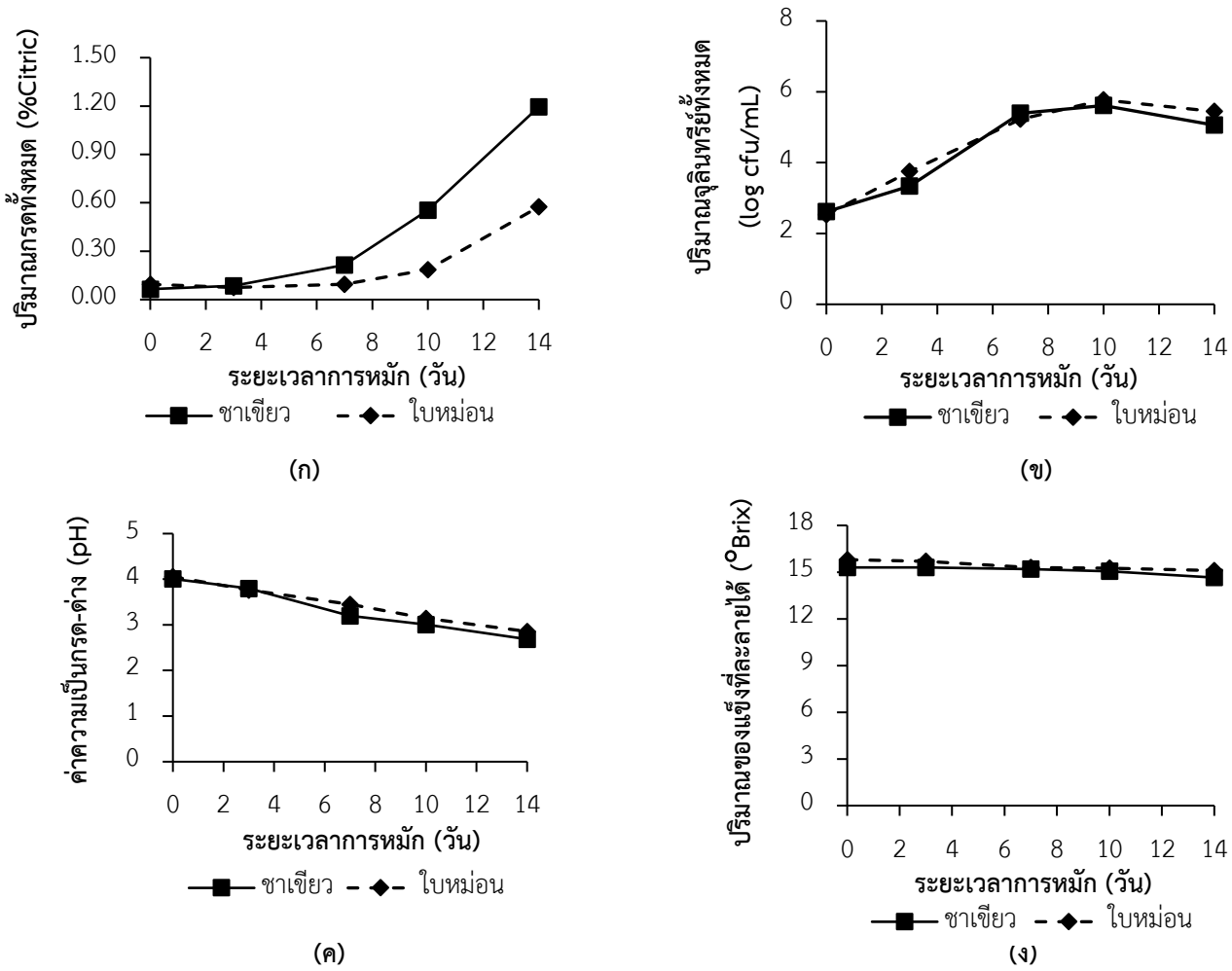
**4. ผลการวิจัย**

จากการศึกษาผลของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักคอมบูชา ได้แก่ ชาเขียว และชาใบหม่อน ที่มีผลต่อลักษณะทางเคมีและจุลินทรีย์ของตัวอย่างคอมบูชาที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยจากผลการทดลองพบว่าในระหว่างการหมักเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยสุ่มตัวอย่างน้ำคอมบูชามาวิเคราะห์ทุกวันที่ 0, 3, 7, 10 และ 14 วันของการหมัก ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

| ตัวอย่างคอมบูชา | ค่าความเป็นกรด-ด่าง | ปริมาณกรดทั้งหมด (%Citric) | ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{o}$Brix) | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/mL) |
|---|---|---|---|---|
| **ชาเขียว** | 2.69±0.00* | 1.19±0.00* | 14.65±0.07* | 5.06±0.03 |
| **ชาใบหม่อน** | 2.86±0.01 | 0.58±0.00 | 15.10±0.14 | 5.45±0.05* |

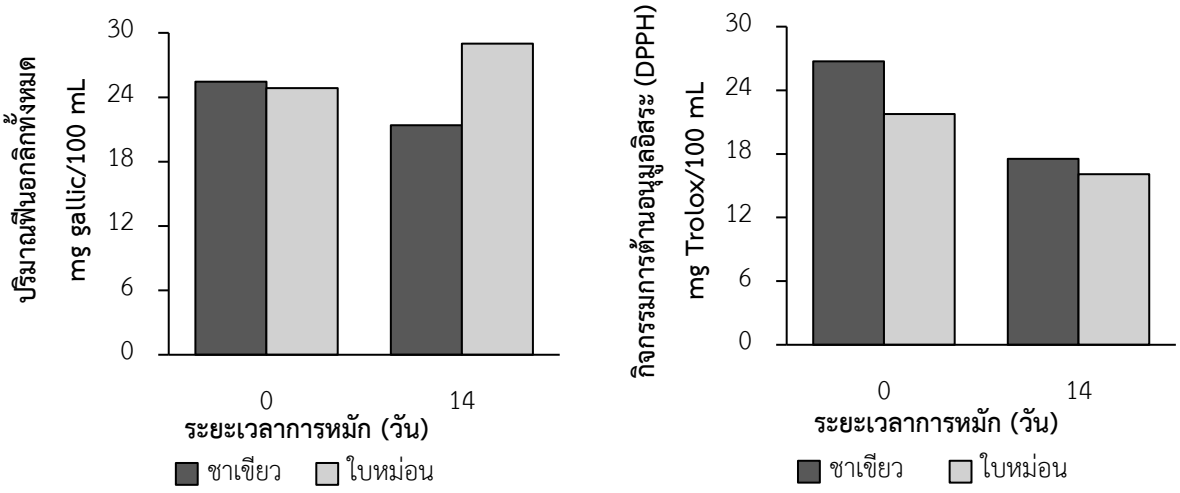
หมายเหตุ * ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)




**ภาพที่ 1** การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก) ปริมาณกรดทั้งหมด (ข) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ค) และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (ง) และของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

จากภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักโดยชาเขียวและชาใบหม่อนระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างทั้งสองมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าและปริมาณต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาทั้งสองตัวอย่างมีแนวโน้มที่ลดลง ระหว่างการหมัก (ภาพที่ 1ก และภาพที่ 1ค) แต่ในส่วนของผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (%Citric) ของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ข) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก สามารถนำน้ำตาลไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างกรดอะซิติกออกมาจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางเคมีดังกล่าว ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชา ที่แสดงในภาพที่ 1ง ผลปรากฏว่าปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรกของการหมักหลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะมีปริมาณคงที่และมีแนวโน้มที่ลดลงภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 10 วันไปจนถึงวันที่ 14 ของการหมัก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักโดยชาเขียวและชาใบหม่อน จากผลการทดลองนั้นจะแสดงค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ตลอดระยะเวลาการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยสุ่มตัวอย่างคอมบูชามาวิเคราะห์ในวันที่ 0 และ วันที่ 14 วันของการหมัก ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังภาพที่ 2 และตารางที่ 2




**ภาพที่ 2** แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ก) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ข) ของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

จากภาพที่ 2ก และ ภาพที่ 2ข แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสำคัญและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน และภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างทั้ง 2 ยังคงเหลือปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาจากชาใบหม่อนโดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาจากชาเขียวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงภายหลังจากการหมัก สำหรับผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากชาเขียวและชาใบหม่อนพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) มีแนวโน้มที่ลดลงภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

| ตัวอย่างคอมบูชา | ระยะเวลาการหมัก (วัน) | ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด mg gallic/100 mL | กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) mg Trolox/100 mL |
|---|---|---|---|
| **ชาเขียว** | 0 | 25.45±0.07 | 26.73±0.07* |
| **ชาใบหม่อน** | 0 | 24.85±0.07 | 21.75±0.07 |
| **ชาเขียว** | 14 | 21.39±0.70 | 17.55±0.70 |
| **ชาใบหม่อน** | 14 | 28.99±1.41* | 16.10±0.00 |

หมายเหตุ * ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีต่าง ๆ ของเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน จากตารางที่ 1 พบว่าตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากชาเขียวและชาใบหม่อน ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางเคมีและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแต่ละตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชามีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 2.69 และ 2.86 ตามลำดับ ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.19 และ 0.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.65 และ 15.10 °Brix ตามลำดับ โดยในระหว่างกระบวนการหมักที่มีการใช้น้ำตาลเป็นซับสเตรท (substrate) เชื้อจุลินทรีย์จะใช้เพื่อกระบวนการทางชีวเคมีและการผลิตกรด ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณน้ำตาลลดลง (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2559) และจากการศึกษาของจันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ (2568) รายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีระหว่างกระบวนการหมักคอมบูชาจากเปลือกเมล็ดโกโก้และน้ำโกโก้สด โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.05 ในขณะที่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยระหว่างกระบวนการหมักเป็นเวลา 7 วัน

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาจากชาเขียวและชาใบหม่อนมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันตลอดระยะเวลาการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นภายหลังจากการหมัก โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.06 – 5.45 log cfu/mL ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากหัวเชื้อเริ่มต้นที่ใช้หมักคอมบูชามีการปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีน้ำตาลและค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 4.0 และภายหลังจากการหมักดำเนินไปถึงวันที่ 14 จะเห็นได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเป็นเพราะเกิดการสะสมของของเสียและสารพิษที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ กรดอินทรีย์ หรือสารต้านจุลชีพ เป็นต้น จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของนิสา ร่มส้มซ่า และคณะ (2564) รายงานว่าปริมาณเชื้อยีสต์และปริมาณแบคทีเรียกรดอะซิติกในคอมบูชาจากชาดำมีจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 10 ของการหมัก เชื้อยีสต์มีปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ 5.44±0.09 log cfu/mL และในวันที่ 14 ของการหมักพบว่าปริมาณแบคทีเรียกรดอะซิติกมีปริมาณเท่ากับ 5.27±0.05 log cfu/mL และจากผลการศึกษาการผลิตคอมบูชาจากชาดำของ ปฏิญญา มั่นเกษตรกิจ (2560) พบว่าภายหลังจากกระบวนการหมักในวันที่ 21 จะมีปริมาณจุลินทรีย์แบคทีเรียกรดอะซิติกและยีสต์ลดลงเหลือเท่ากับ 4.30 และ 5.06 log cfu/mL ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาที่ผลิตจากชาเขียวและชาใบหม่อน ที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าในวันที่ 0 ตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาจากชาเขียวและชาใบหม่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 25.45 และ 24.58 mg gallic/100 mL ตามลำดับ และภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาทั้งสองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 21.39 และ 28.99 mg gallic/100 mL ตามลำดับ ในส่วนของผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ในตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาทั้งสองพบว่า ในวันที่ 0 ของการหมัก มีค่าเท่ากับ 26.73 และ 21.75 mg Trolox/100 mL ตามลำดับ และภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างเครื่องดื่มคอมบูชาทั้งสองมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 17.55 และ 16.10 mg Trolox/100 mL ตามลำดับ ในส่วนของใบพืชจะมีสารประกอบฟีนอลิกซึ่งจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่วัดด้วยวิธี DPPH assay นอกจากนี้สารประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในใบพืชได้แก่ โปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนหรือกระบวนหมักอาจส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสรที่วิเคราะห์ได้ โดยจากการศึกษาของ ปฏิญญา มั่นเกษตรกิจ (2560) ได้รายงานไว้ว่าจากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูล

อิสระ (DPPH) ของคอมบูชาจากชาดำมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยภายหลังจากการหมัก โดยที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 43.98 mg gallic acid equivalent/ml ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง เท่ากับ 139.31 mg gallic acid equivalent/ml และจากผลการวิจัยของ นิสา ร่มส้มซ่า และคณะ (2564) พบว่าตัวอย่างคอมบูชาที่หมักจากชาดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.99±0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่รายงานเป็นค่าร้อยละ Scavenging activity จะลดลงเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 57.31±0.66 (เทียบกับ ascorbic acid 254.99 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) วันที่ 14 ของการหมัก ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรด สารประกอบฟีนอลิกจะมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการปลดปล่อยโปรตรอนเพื่อที่จะไปจับกับ DPPH ทำได้ยากมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ของของเครื่องดื่มคอมบูชาจากการศึกษาครั้งนี้เห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงและผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิง ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการหมักเช่นเดียวกัน ในส่วนของการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ควรคำนึงถึงลักษณะทางประสาทสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติ เพื่อให้เกิดความพึงพอใจต่อผู้บริโภค และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไปในอนาคต

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย และสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี สำหรับห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

กัญญารัตน์ จันทะมาตย์, มณทิชา ใจมั่น, สุภาดา ละครไชย์, วิลาวัลย์ บุญย์ศุภา, พันธิวา แก้วมาตย์ และสุภัทรา จินากูล. (2568). การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินปริมาณจุลินทรีย์ในคอมบูชากาแฟชนิดที่มีกาแฟมีคาเฟอีนและไม่มีคาเฟอีน. *วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 4(1), 12-20.

จุฑามาศ พรสันเทียะ, ทิพย์วรินทร์ ริมลำดวน, กุณฑิกา เวชกลาง และนิสา ร่มส้มซ่า. (2563). ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของคอมบูชาในกระบวนการหมัก. *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 7*, 12(1), 1069-1079.

ณชกนก เมธาอัครเดชา และอนงค์ ศรีโสภา. (2563). ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในชาใบหม่อนและชาผงใบหม่อนชนิดละลายน้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 9(2), 230-242.

เทียนทิพย์ กสิกรณ์, ปัญญดา ปัญญาทิพย์, ชวลิต โยงรัมย์, ดอกเกี๋ยง อรวรรณ, สังข์ทอง บรรลือ, และภูทองกิ่ง เพลินทิพย์. (2562). ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และเมลาโทนิน ของใบหม่อน 5 พันธุ์. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 17(3), 428–435.

นิสา ร่มส้มซ่า, จุฑามาศ พรสันเทียะ, ทิพยวรินทร ริมลำดวน และกุณฑิกา เวชกลาง. (2564). คุณสมบัติทาง ชีวภาพของผลิตภัณฑ์คอมบูชาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก. *วารสารนเรศวรพะเยา*, 14(1), 76-81.

ปฏิญญา มั่นเกษตรกิจ. (2560). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์คอมบูชาจากชาดาโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:184467

ประมวล ทรายทอง และธำรงศักดิ์ แก้วประดิษฐ์. (2564). ผลต่อสุขภาพของเครื่องดื่มชาหมักคอมบูชา. *วารสารอาหาร*, 51(3), 5-13.

ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2559). การหมักน้ำบีทรูทผสมด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและการรีไซเคิลสตาร์ทเตอร์. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, 15(1), 143–149. สืบค้น จาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JIE/article/view/122276

มาดีนา น้อยทับทิม, วรรษมน วัฑฒนายน, สิรินาถ ชูประจง, ตัซนีม สมวงค์ และวุฒิชัย ศรีช่วย. (2566). ผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาใบหม่อน และการผลิตชาใบหม่อนผง. *วารสารผลิตกรรมการเกษตร*, 5(2), 1–9.

วิลาวัลย์ บุณย์ศุภา, กรรณิการ์ ทองดอนเปรียง, ชลธิชา ศรีจันทร์, ธิดาธร แพงทอง และกิตติพัฒน์ อารีเอื้อ. (2023). การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคอมบูชาจากดอกอัญชันและลาเวนเดอร์. *วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2(2), 27–35. https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/jsetRMU/article/view/1213

AOAC International. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Bacteriological Analytical Manual. (2001). Chapter 3: Aerobic plate count. *U.S. Food and Drug Administration*. https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count

Wang, K., Gan, X., Tang, X., Wang, S., & Tan, H. (2010). Determination of D-saccharic acid-1,4-lactone from brewed kombucha broth by high-performance capillary electrophoresis. *Journal of chromatography. B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences*, 878(3-4), 371–374. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.12.003

Zubaidah, E., Dea, E. C., & Sujuti, H. (2022). Physicochemical and microbiological characteristics of kombucha based on various concentrations of Javanese turmeric (*Curcuma xanthorrhiza*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 44*, 102467. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102467

# ตำรับยาของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์–อัมพาต :กรณีศึกษา จังหวัดอุบลราชธานี

# Traditional Herbal Remedies for Paralysis and Hemiplegia: A Case Study in Ubon Ratchathani Province

**พิชชานันท์ เธียรทองอินทร์[1*], ปิยะพร ทรจักร์[2], รัชนี เวียงวิเศษ[3], วัฒนายุ จำปี[4]**

**Pitchanan Thiantongin[1*], Piyaporn Thorajak[2], Ratchanee Wiengwiset[3], Wattanayu Jampee[4]**

[1]อาจารย์ประจำสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[1]Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine Ubon Ratchathani Rajabhat University

E-mail: Pitchanan.t@ubru.ac.th

[2]อาจารย์ประจำสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[2]Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine Ubon Ratchathani Rajabhat University

[3,4]นักศึกษาสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[3,4]Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine Ubon Ratchathani Rajabhat University

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยเชิงคุณภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและศึกษาภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอัมพฤกษ์-อัมพาต ในจังหวัดอุบลราชธานี และค้นคว้าฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพร โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ (Judgement or purposive sampling) สัมภาษณ์โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ผลการศึกษาพบว่า หมอพื้นบ้าน 3 ราย ใช้ตำรับยาสมุนไพร 6 ตำรับ เป็นยาใช้ภายนอก 3 ตำรับ ยาใช้ภายใน 3 ตำรับ มีเป้าหมายหลักคือขับของเสียออกจากร่างกาย กระตุ้นการไหลเวียนเลือดลมและบำรุงธาตุ สมุนไพรมีทั้งหมด 32 ชนิด เป็นพืชวัตถุ 29 ชนิด ธาตุวัตถุ 2 ชนิด และสัตว์วัตถุ 1 ชนิด รสยาตามหลักเภสัชกรรมไทย พบ รสเผ็ดร้อน มากที่สุด รองลงมาคือ รสหอมเย็น วงศ์ที่พบสมุนไพรมากที่สุด คือ APIACEAE รองลงมา คือ LEGUMINOSAE และค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูอัมพฤกษ์ - อัมพาตของหมอพื้นบ้าน พบว่า ส่วนใหญ่มีฤทธิ์ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory activity) ฤทธิ์ลดความดันโลหิต (Antihypertensive effect) ลดไขมันและน้ำตาลในเลือด (Lipid and blood sugar lowering effect) ลดความวิตกกังวล (Anxiety disorder) จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรของหมอพื้นบ้าน เป็นทางเลือกในการฟื้นฟูทั้งทางร่างกายและจิตใจ ให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น แต่ควรมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการและทางคลินิก เพื่อยืนยันถึงประสิทธิผลของตำรับยาต่อไป

**คำสำคัญ:** อัมพฤกษ์–อัมพาต หมอพื้นบ้าน ตำรับยา

**Abstract**

This qualitative research aims to collect and study the wisdom of traditional herbal medicine practitioners in the rehabilitation practices of paralysis and hemiplegia. It also aims to compare their pharmacological effects, with the sample purposively selected according to a given criteria. Interviews were conducted using a semi-structured interview form. The results find that three traditional herbal medicine practitioners used six herbal formulas: three for external use and three for internal use. The primary goals of the formulas were to eliminate waste from the body, stimulate circulation, and nourish the elements. A total of 32 herbal remedies were used, including 29 plant materials, two elemental materials, and one animal material. According to traditional Thai pharmaceutical principles, the most common flavors are hot and spicy, followed by a cool, fragrant flavor. The variety most commonly found is APIACEAE, followed by LEGUMINOSAE. A comparison of reported herbal pharmacological effects of herbs in traditional herbal medicine formulas related to paralysis and hemiplegia rehabilitation revealed that most have anti-inflammatory properties, antihypertensive effect, lipid and blood sugar lowering effect, and anxiety reduction. This study shows that the wisdom of using herbs by traditional doctors is an alternative for restoring both the body and mind to enjoy a better quality of life. However, there should be further studies conducted in the laboratory and clinical practice to confirm the effectiveness of the herbal formula.

**Keywords:** Paralysis and Hemiplegia,Traditional healer, Remedies

**1. บทนำ**

โรคหลอดเลือดสมอง เป็นโรคที่มีความเสี่ยงต่อการพิการและสูญเสียชีวิตสูง ในประเทศไทยอุบัติการณ์ของโรคหลอดเลือดสมองเพิ่มขึ้นทุกปี นับเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 2 ของประเทศ จากรายงานสถิติในปี 2566 พบว่า จังหวัดอุบลราชธานีมีอัตราการเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือดสมองในผู้สูงอายุที่เข้ารักษาในโรงพยาบาลสูงที่สุดในเขตสุขภาพที่ 10 โดยมีอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 12.84 (สำนักงานสาธาณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2565) ซึ่งผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์แผนปัจจุบันว่าเป็นโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) จะก่อให้เกิดอาการอัมพาตของแขนขา อ่อนแรง พูดไม่ชัด กลืนลำบาก ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถประกอบกิจวัตรประจำวันได้อย่างปกติ ส่วนอาการอัมพฤกษ์-อัมพาตทางการแพทย์แผนไทยกล่าวถึงสาเหตุเกิดจากลมพัดไม่สมดุลกัน ก่อให้เกิดอาการแขนขาอ่อนแรง ลิ้นกระด้างคางแข็ง เป็นต้น (กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2554) ทางเลือกในวิธีการดูแลและฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ป่วยหลังจากพ้นระยะวิกฤต เพื่อลดภาวะแทรกซ้อน ส่งเสริมให้ผู้ป่วยช่วยเหลือตนเองได้ให้มากที่สุด ลดภาระของครอบครัวหรือผู้ดูแล และช่วยให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (รุ่งนภา จันทรา, 2560) คือ การฟื้นฟูด้วยภูมิปัญญาไทย และสมุนไพรไทย

การทบทวนวรรณกรรมและรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วิธีการรักษาด้วยกรรมวิธีทางแพทย์แผนไทย แพทย์พื้นบ้าน และแพทย์ทางเลือก สามารถเป็นทางเลือกในการฟื้นฟูสมรรถภาพทั้งทางร่างกายและจิตใจของผู้ป่วยโดยการศึกษาสถานการณ์การใช้แพทย์ทางเลือกในการฟื้นฟูสภาพผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในปัจจุบันได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นทั้งในระบบบริการทางสาธารณสุข เช่น การนวด การอบไอน้ำ การประคบสมุนไพร (สุภาเพ็ญ ปาณะวัฒนพิสุทธิ์, 2562) โดยเฉพาะการใช้สมุนไพรตามองค์ความรู้ภูมิปัญญาของหมอพื้นบ้าน ดังเช่น การรวบรวมตำรับยาใช้ภายในคลายเส้นเอ็น ถ่ายของเสียออกจากร่างกาย ยาลมประสาท ยาถ่ายเลือดถ่ายลม ยาง่อยเปลี้ย ยากระษัยเส้น/เหน็บชา และยาลิ้นกระด้างคางแข็ง นอกจากนี้ยังมีการใช้ยาสมุนไพรสำหรับใช้ภายนอก โดยการประคบ การอบสมุนไพร ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อให้เลือดลมสะดวก ขับของเสียออกจากร่างกาย (อรจิรา ทองสุกมาก และ อรพินท์ ครุฑจับนาค, 2557) ซึ่งการฟื้นฟูด้วยการใช้สมุนไพรในหลาย ๆ รูปแบบ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้ป่วยกลับมาสามารถประกอบกิจวัตรประจำวัน สุขภาพจิตดี และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้

ปัจจุบันกระแสการใช้ยาสมุนไพรในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งการใช้ในระบบบริการสาธารณสุขและตามภูมิปัญญาไทย ซึ่งสอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566 – 2570 ที่มีเป้าหมายในการส่งเสริมการผลิตและแปรรูปวัตถุดิบสมุนไพรที่มีคุณภาพ และมาตรฐาน การพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพของผู้ประกอบการ และที่สำคัญ พัฒนาการขยายขอบเขตการรับรู้คุณค่าของสมุนไพรผ่านอาหารและวัฒนธรรม การส่งเสริม การบริโภคผลิตภัณฑ์สมุนไพรอย่างเหมาะสม เพื่อเสริมสร้างให้คนไทยมีสุขภาวะที่ดี ผ่านการใช้สมุนไพร (คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ, 2566) ดังนั้นเพื่อตอบสนองนโยบายของแผนดังกล่าว ผนวกกับนโยบายของกรมการแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือกที่สนับสนุนการรวบรวมภูมิปัญญาไทย การอนุรักษ์และการสืบทอดองค์ความรู้หมอพื้นบ้าน คณะผู้วิจัยจึงสนใจรวบรวมตำรับยาของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์ – อัมพาตในจังหวัดอุบลราชธานี โดยจังหวัดอุบลราชธานี เป็นพื้นที่ที่อุดมไปด้วยทรัพยากรทั้งด้านบุคคล ที่ถูกเรียกว่า หมอพื้นบ้าน ที่มีความชำนาญในการดูแลสุขภาพของคนในชุมชน และทรัพยากรสมุนไพร ที่ยังมีความหลากหลายและสมบูรณ์ ซึ่งองค์ความรู้ของหมอพื้นบ้านในพื้นที่ดังกล่าว ยังขาดการบันทึกหรือการรายงานที่เป็นลายลักษณ์อักษร และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการต่อยอดการใช้ประโยชน์จากสมุนไพร การอนุรักษ์ภูมิปัญญาไทยให้คงอยู่สืบไป

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อรวบรวมและศึกษาภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรตามกรรมวิธีของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์-อัมพาต และค้นคว้าฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพร

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research)

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ หมอพื้นบ้านในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ที่ได้ขึ้นทะเบียนเป็นหมอพื้นบ้านกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 30 คน โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์หรือตามวัตถุประสงค์ (Judgement or purposive sampling) ได้จำนวน 3 คน ที่ซึ่งมีเกณฑ์การคัดเลือกตามเกณฑ์ของกรมการแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก ดังนี้ 1) หมอพื้นบ้านที่มีประสบการณ์และความชำนาญในการเป็นหมอพื้นบ้านรักษาอาการอัมพฤกษ์ - อัมพาต ไม่น้อยกว่า 10 ปี 2) มีการใช้สมุนไพรรักษาอาการอัมพฤกษ์ – อัมพาตอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และ 3) หมอพื้นบ้านอนุญาตให้ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) หมอพื้นบ้านในจังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของหมอพื้นบ้าน ภูมิหลังการเป็นหมอพื้นบ้าน องค์ความรู้การวินิจฉัยโรค กระบวนการฟื้นฟูด้วยการใช้สมุนไพร การจัดตำรับยา และข้อมูลตำรับยา ร่วมกับการสังเกตแบบมีส่วนร่วม บันทึกภาพเคลื่อนไหวภาพนิ่ง และบันทึกเสียงในระหว่างการสัมภาษณ์

3.3 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

แบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยประเด็นคำถามได้จากการศึกษาเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญด้านแพทย์พื้นบ้านและแพทย์แผนไทย จำนวน 3 ราย ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) ปรากฏว่าข้อคำถามทุกข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.60 ขึ้นไป

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยในการลงพื้นที่ มีการติดต่อประสานงานกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เพื่อขอข้อมูลหมอพื้นบ้านจากนั้นสำรวจข้อมูล และการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการสัมภาษณ์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content analysis) โดยผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้ค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัย ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ มาศึกษา ตีความ และวิเคราะห์ตามกระบวนการของงานวิจัยเชิงคุณภาพ แล้วนำเสนอข้อมูลในรูปแบบบรรยาย และวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ตำรับยาสมุนไพร มาศึกษา ตีความ กับเอกสารทางวิชาการ รวมทั้งค้นคว้าฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรแต่ละชนิดจากฐานข้อมูลต่าง ๆ เช่น PubMed Science direct และ Google scholar หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลและตีความครบถ้วน ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้กลับไปให้หมอพื้นบ้านทั้ง 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลอีกครั้ง

3.6 การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

โครงการวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี โดยยึดหลักเกณฑ์ตามคำประกาศเฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) และแนวทางการปฏิบัติการวิจัยทางคลินิกที่ดี (ICH GCP) ตามเอกสารรับรองเลขที่ HE641009 ลงวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2565

**4. ผลการวิจัย**

หมอพื้นบ้านที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 3 คน มีอายุระหว่าง 50-90 ปี มีสถานภาพสมรส ระดับการศึกษาอยู่ที่ระดับประถมศึกษา มีอาชีพเกษตรกรเป็นหลัก ส่วนใหญ่ได้รับการถ่ายทอดความรู้จากบรรพบุรุษ และมีประสบการณ์ในการรักษามากกว่า 20 ปี เมื่อศึกษารวบรวมภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรตามกรรมวิธีของหมอพื้นบ้าน พบมีการใช้สมุนไพรทั้งหมด 6 ตำรับ ประกอบด้วย ยาใช้ภายนอก 3 ตำรับ ยาใช้ภายใน 3 ตำรับ มีเป้าหมายหลักเพื่อให้เลือดลมไหลเวียนดี บำรุงเลือด ขับลม บำรุงร่างกาย ดังตารางที่ 1

4.1 การจัดกลุ่มสมุนไพรตามหลักเภสัชกรรมไทย จากการรวบรวมสมุนไพรทั้งหมด 6 ตำรับ จำนวน 32 ชนิด จำแนกตามหลักเภสัชกรรมไทย ได้ดังนี้ พบพืชวัตถุ (ส่วนต่างๆ ของพืชที่นำมาทำเป็นยารักษาโรค) ทั้งหมด 29 ชนิด ธาตุวัตถุ (ธาตุต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดขึ้นตามกรรมวิธี ที่นำมาประกอบเป็นยารักษาโรค) ทั้งหมด 2 ชนิด และสัตว์วัตถุ (ร่างกายหรืออวัยวะต่างๆ ของสัตว์ ที่นำมาประกอบเป็นยารักษาโรค) ทั้งหมด 1 ชนิด ดังตารางที่ 2

4.2 รสยา เมื่อพิจารณารสยาตามหลักเภสัชกรรมไทย พบว่า รสยาที่พบมากที่สุด คือ รสเผ็ดร้อน จำนวน 14 ชนิด (ร้อยละ 44) รองลงมาคือ รสหอมเย็น จำนวน 5 ชนิด (ร้อยละ 16) รสฝาด จำนวน 4 ชนิด (ร้อยละ 13) รสขม จำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 9) รสหวาน จำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 9) รสเมาเบื่อ 2 ชนิด (ร้อยละ 6) และรสเปรี้ยว 1 ชนิด (ร้อยละ 3) ดังแผนภูมิที่ 1

4.3 วงศ์ของพืชสมุนไพร รายงานพบพืชสมุนไพร จำนวน 29 ชนิด 20 วงศ์ วงศ์ที่พบสมุนไพรมากที่สุด คือ APIACEAE จำนวน 4 ชนิด รองลงมา คือ LEGUMINOSAE จำนวน 3 ชนิด UMBELLIFERAE จำนวน 2 ชนิด วงศ์ CALOPHYLLACEAE จำนวน 2 ชนิด EUPHORBIACEAE จำนวน 2 ชนิด และ ZINGIBERACEAE จำนวน 2 ชนิด ตามลำดับ

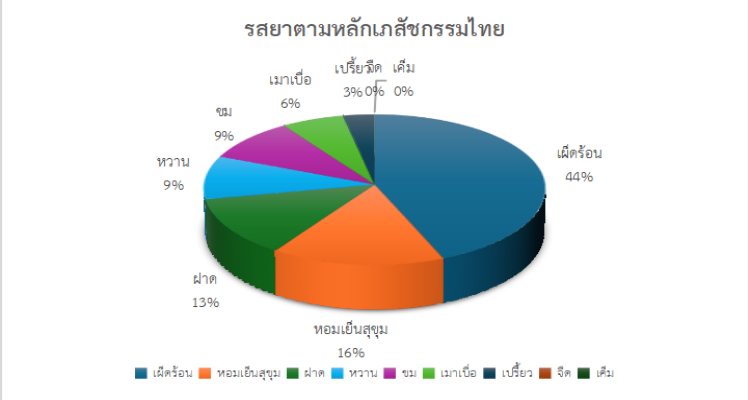
4.4 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับ การศึกษาข้อมูลที่มีรายงานเกี่ยวกับงานวิจัยที่มีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์ - อัมพาตของหมอพื้นบ้าน พบว่า ส่วนใหญ่มีรายงานการวิจัยฤทธิ์ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory activity) ฤทธิ์ลดความดันโลหิต (Antihypertensive effect) ฤทธิ์ลดไขมันและน้ำตาลในเลือด (Lipid and blood sugar lowering effect) ฤทธิ์ลดความวิตกกังวล (Anxiety disorder) ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 1** ตำรับยาทั้ง 6 ตำรับ

| หมอพื้นบ้าน | ตำรับยา | สรรพคุณ | ยาใช้ภายนอก | ยาใช้ภายใน |
|---|---|---|---|---|
| รายที่ 1 | ยาต้มแก้อัมพฤกษ์ - อัมพาต | บำรุงเลือด,ขับลม | | ✓ |
| | ยาอบสมุนไพรและประคบสมุนไพร | เลือดลมไหลเวียนดี | ✓ | |
| รายที่ 2 | น้ำมันโอสถสูตรโบราณ | กระตุ้นการตอบสนองของกล้ามเนื้อ | ✓ | |
| รายที่ 3 | รากปลาไหลเผือกดองสุรา | ช่วยบำรุงร่างกาย | | ✓ |
| | รากปลาไหลเผือกดองน้ำผึ้ง | แก้ลม ขับลม | | ✓ |
| | ยาอาบ | เลือดลมไหลเวียนดี | ✓ | |

**ตารางที่ 2** จำนวนสมุนไพรแต่ละกลุ่ม

| สมุนไพร | จำนวน (ชนิด) | ร้อยละ |
|---|---|---|
| พืชวัตถุ | 29 | 90.62 |
| ธาตุวัตถุ | 2 | 6.25 |
| สัตว์วัตถุ | 1 | 3.13 |
| รวม | 32 | 100.00 |




**ภาพที่ 1** รสยาตามหลักเภสัชกรรมไทย

**ตารางที่ 3** ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับ

| ชื่อวิทยาศาสตร์/ชื่อวงศ์ | ชื่อสมุนไพร | ส่วนที่ใช้ | ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา | อ้างอิง |
|---|---|---|---|---|
| *Nigella sativa* L. RANUNCULACEAE | เทียนดำ | เมล็ด | Cardioprotective and Antihypertensive Activity | Dalli, M et al., 2021 |
| *Lepidium sativum* L. CRUCIFERAE | เทียนแดง | เมล็ด | Cardiovasular and diuretic effect Hypolipidemic effects | Al-Snafi, A. E. 2019 |
| *Cuminum cyminum* L. APIACEAE | เทียนขาว | เมล็ด | Antidiabetic and anti-inflammatory | Allaq, A. A et al., 2020 |
| *Foeniculum vulgare* Miller subsp. var. Vulgare UMBELLIFERAE | เทียนข้าวเปลือก | เมล็ด | Hypolipidemic activity Antidepressant activity Anti-inflammatory activity | Mehra, N., et al., 2021 |
| *Anethum graveolens* L. APIACEAE | เทียนตาตั๊กแตน | เมล็ด | Anti-inflammatory and analgesic activity | Hamza, L. F. (2017). |
| *Pimpinella anisum* L. APIACEAE | เทียนสัตตบุษย์ | เมล็ด | Anti-infammatory activity Antioxidant activity Muscle relaxant activity | Ali, K. Z et al., 2017 |
| *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague UMBELLIFERAE | เทียนเยาวพาณี | เมล็ด | Anti-hyperlipidemic activity Anti-inflammatory | Goyal, S et al., 2020 |
| *Jasminum sambac* Ait OLEACEAE | มะลิ | ดอก | Vasorelaxant and cardioprotective effects | Khan, I. A., et al., 2021 |
| *Nelumbo nucifera* Gaertn NELUMBONACEAE | บัวหลวง | เกสร | Antioxidant Anti-inflammatory Anti-diabetic | Tungmunnithum, D et al 2018 |
| *Cananga odorata* (Lam.) Hook. ANNONACEAE | กระดังงาไทย | ดอก | Anxiety disorder | Maretha, T. L et al.2023 |
| *Plumbago indica* L. PLUMBAGINACEAE | เจตมูลเพลิงแดง | ดอก | Cardioprotective and Anti-inflammatory activity | Khatun, A.,2023 |
| *Salacia chinensis* L. CELASTRACEAE | กำแพงเจ็ดชั้น | เถา | Antihyperlipidemic activity Hypotensive activity | Nikule, H. A et al., 2024 |
| *Citrus hystrix* DC. RUTACEAE | มะกรูด | ผิวลูก | Neural-protective properties Anti-inflammatory activity | Zhao, Z et al., 2023 |
| *Zingiber cassumunar* Roxb. ZINGIBERACEAE | ไพล | เหง้า | Neuroprotective and Neurotrophic Activities Anti-inflammatory activity | Han, A. R et al.,2021 |
| *Eurycoma longifolia* Jack. SIMAROUBACEAE | ปลาไหลเผือก | ราก | Antioxidant activity Anti-inflammatory activity | Thu, H. E et al., 2018 |

**4. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การรวบรวมและศึกษาภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรตามกรรมวิธีของหมอพื้นบ้านในการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์-อัมพาต และค้นคว้าฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับของหมอพื้นบ้านในจังหวัดอุบลราชธานี พบหมอพื้นที่บ้านที่มีความชำนาญ รักษาด้วยการใช้สมุนไพรจนถึงปัจจุบัน และยินยอมเปิดเผยข้อมูล จำนวน 3 ราย รวบรวมตำรับยาได้ทั้งหมด 6 ตำรับ โดยส่วนใหญ่มีสรรพคุณขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย กระตุ้นเลือดลมในร่างกายให้ไหลเวียนดี และบำรุงร่างกาย เพื่อให้ฟื้นตัวจากการรักษาทางการแพทย์แผนปัจจุบัน ประกอบด้วยยาต้มรับประทาน ยาสำหรับอบ ยาอาบ ยาดอง สมุนไพรส่วนใหญ่มีรสรสเผ็ดร้อน ซึ่งสอดคล้องกับคัมภีร์ชวดาร ที่เป็นคัมภีร์หลักในการกล่าวถุงสาเหตุของการเกิดโรคอัมพาต คือ เกิดจากสมุฏฐานวาตะ ลมพัดไม่ปกติ ลมอุทธังคาวาตา และลมอโธคมาวาตาพัดระคนกัน (กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2554) ดังนั้นจึงใช้สมุนไพรที่มีรสเผ็ดร้อน ช่วยกระตุ้นลม ขับลม บำรุงธาตุให้สมดุลกัน ในช่วงการเกิดโรคช่วงแรก จากนั้นในขั้นตอนการฟื้นฟู หมอพื้นบ้านจะจ่ายยาหอมเย็น เพื่อบำรุงกำลัง บำรุงร่างกายผู้ป่วย ในรูปแบบยาต้ม ยาดอง นอกจากนี้มีการฟื้นฟูโดยการอบและอาบสมุนไพร สอดคล้องกับบันทึกการฟื้นฟูอาการอัมพฤกษ์ขอัมพาตของพระครูอุปการพัฒนกิจ (2557) ที่มีขั้นตอนการฟื้นฟูผู้ป่วย โดยเริ่มต้นจากการจ่ายยาต้ม เพื่อขับของเสียออกจากร่างกาย การนวดและประคบสมุนไพร และสุดท้ายทำการอบสมุนไพร นาน 30 นาที เพื่อช่วยให้เลือดลมเดินสะดวก กล้ามเนื้อผ่อนคลาย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสมุนไพรหรือตัวยาหลักในตำรับยาของหมอพื้นบ้าน พบว่าสอดคล้องกับตำรับยาในบัญชียาหลักแห่งชาติที่นำมาใช้ในการรักษาโรคลม อัมพฤกษ์ อัมพาต เช่น ยารักษากลุ่มอาการทางระบบไหลเวียนโลหิต (แก้ลม) ตำรับยายาหอมทิพโอสถ ยาหอมเทพจิตร ยาหอมอินทจักร์ โดยมีสมุนไพรเทียนทั้ง 7 เกสรทั้ง 5 เป็นสมุนไพรหลัก ยารักษากลุ่มอาการทางกล้ามเนื้อและกระดูก ยาแก้ลมอัมพฤกษ์ ที่มีไพลเป็นสมุนไพรหลัก (กองนโยบายแห่งชาติด้านยา, 2016)

การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสมุนไพรในตำรับ พบสมุนไพรส่วนใหญ่มีฤทธิ์ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory activity) ฤทธิ์ลดความดันโลหิต (Antihypertensive effect) เช่น สมุนไพรเทียนดำ ฤทธิ์ลดไขมันและน้ำตาลในเลือด (Lipid and blood sugar lowering effect) เช่น กำแพงเจ็ดชั้น เกสรบัวหลวง และฤทธิ์ลดความวิตกกังวล (Anxiety disorder) เช่น กระดังงาไทย สอดคล้องกับทฤษฎีผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองกล่าวถึง สาเหตุส่วนใหญ่ของการเกิดโรคนี้ คือ มีภาวะความดันโลหิตสูง เบาหวาน ไขมันในเลือดสูง ดังนั้นเมื่อใช้ยาสมุนไพรที่มีฤทธิ์ลดภาวะดังกล่าว จึงช่วยลดภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยได้ (ณฐกร นิลเนตร, 2562) นอกจากนี้ผู้ป่วยจะมีภาวะเครียด วิตกกังวล จากการที่ร่างกายไม่สามารถประกอบกิจวัตรประจำวันได้ตามปกติ เกิดการพึ่งพาคนอื่น ซึ่งสมุนไพรในตำรับที่หมอพื้นบ้านในในการอบ การอบช่วยลดอาการดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาการอบไอน้ำสมุนไพรช่วยลดความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ลดความเครียด ในผู้ป่วยที่มีความเครียด วิตกกังวล เนื่องจากการอบไอน้ำเป็นการเปิดรูขุมขน หลอดเลือดขยาย เกิดการไหลเวียนของเลือดดีขึ้น และทำให้กล้ามเนื้อที่หดเกร็งเกิดการคลายตัว ผู้ป่วยจึงสุขภาพทางกายและจิตใจดีขึ้น (ทัพพ์ขวัญ ศรีรัตยาวงค์, 2564., พงศ์มาดา ดามาพงษ์, 2562)

การนำภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยการใช้สมุนไพรตามองค์ความรู้ของหมอพื้นบ้านที่ได้รับการสั่งสมประสบการณ์มาจากบรรพบุรุษ ถือเป็นทางเลือกในการฟื้นฟูทั้งทางร่างกายและจิตใจผู้ป่วย รวมทั้งผู้ดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกรูปแบบหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาตำรับยาสมุนไพรในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้มีข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ได้รับการขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้อง รวมถึงการศึกษาในเชิงคลินิก เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผลของการรักษา และนำไปใช้ในระบบบริการสาธารณสุขต่อไป

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ขอขอบคุณสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีที่อนุเคราะห์ข้อมูลหมอพื้นบ้าน และที่สำคัญขอขอบคุณหมอพื้นบ้านทั้ง 3 ราย ที่อนุเคราะห์ถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์ในการดูแลผู้ป่วยสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.(2554). แพทย์ศาสตร์สงเคราะห์: ภูมิปัญญาทางการแพทย์และมรดกทางวรรณกรรมของชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: สกสค.ลาดพร้าว.

กองนโยบายแห่งชาติด้านยา.(2559).บัญชียาหลักแห่งชาติและหลักฐานเชิงประจักษ์. https://ndi.fda.moph.go.th/drug_national.

คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ.(2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566 – 2570. https://nph.dtam.moph.go.th/wp-content/uploads/2023/10/.pdf

ทัพพ์ขวัญ ศรีรัตยาวงค์, ดาว เวียงค า, อรฉัตร เพชรไทย & อัญชิษฐา สมวัน. (2021). ผลของการอบไอน้ำสมุนไพรไทยและการอบไอน้ำธรรมดาต่อค่าความดันโลหิตในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง. Naresuan Phayao Journal, 14(2), 51-61.

พงศ์ มา ดา ดา มา พง ษ์, & พีร ดา ดา มา พง ษ์. (2019). ประสิทธิผล ของ การ อบ สมุนไพร ต่อ การ ลด ภาวะ ความเครียด และ ความ แปรปรวน อัตรา การ เต้น ของ หัวใจ ใน ผู้ ป่วย เบาหวาน ชนิด ที่ 2: Effectiveness of Herbal Steam for Reducing Stress and Heart Rate Variability in Type 2 Diabetic Patients. วารสาร สห เวชศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏ สวนสุนันทา, 4(1), 41-53.

รุ่งนภา จันทรา, เรณู แสงสุวรรณ & ชุลีพร หีตอักษร.(2560).การดูแลผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองอุดตันด้วยทีมสหวิชาชีพ. วารสารพยาบาลทหารบก.18,49-55.

สุภาเพ็ญ ปาณะวัฒนพิสุทธิ์, มธุรดา ม่วงมัน, ฐิติรัตน์ พันธุ์เขียน &มัณฑนา สุพรรณไพบูลย์.(2562).สถานการณ์การใช้แพทย์ทางเลือกในการฟื้นฟูสภาพผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง. วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี อุตรดิตถ์, 11(1), 63-71.

สำนักงานสาธาณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ. (2565). จำนวนผู้สูงอายุป่วยในโรงพยาบาล ด้วยโรคหลอดเลือดสมอง (STROKE) เขตสุขภาพที่ 10. https://terreport.healthregion10.moph.go.th/report_strokedead.php

อรจิรา ทองสุกมาก และ อรพินท์ ครุฑจับนาค.(2557). บันทึกภูมิปัญญา : การดูแลรักษาอัมพฤกษ์ อัมพาต กรณีพระครูอุปการพัฒนกิจ วัดหนองหญ้านาง จังหวัดอุทัยธานี. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 12(2),183-188.

Al-Snafi, A. E. (2019). Chemical constituents and pharmacological effects of Lepidium sativum. Int J Curr Pharm Res, 11(6), 1-10.

Allaq, A. A., Sidik, N. J., Abdul-Aziz, A., & Ahmed, I. A. (2020). Cumin (*Cuminum cyminum* L.): A review of its ethnopharmacology, phytochemistry. Biomedical Research and Therapy, 7(9), 4016-4021.

Ali, K. Z., Hasan, A., Parray, S. A., & Ahmad, W. (2017). Anisoon (Pimpinella anisum L.): a review of pharmacological activities and clinical effects. Hippocratic Journal of Unani Medicine, 12(1), 31-46.

Dalli, M., Bekkouch, O., Azizi, S. E., Azghar, A., Gseyra, N., & Kim, B. (2021). Nigella sativa L. Phytochemistry and Pharmacological Activities: A Review (2019-2021). Biomolecules, 12(1), 20.

Goyal, S., Chaturvedi, V., Dhingra, G., Tanwar, S., Sharma, K., & Singh, S. (2022). Trachyspermum ammi: a review on traditional and modern pharmacological aspects. Biological Sciences, 2(4), 324-337.

Han, A. R., Kim, H., Piao, D., Jung, C. H., & Seo, E. K. (2021). Phytochemicals and bioactivities of Zingiber cassumunar Roxb. Molecules, 26(8), 2377.

Hamza, L. F. (2017). Anethum graveolens: Physicochemical properties, medicinal uses, antimicrobial effects, antioxidant effect, anti-inflammatory and analgesic effects: A review. world, 5(7), 88-91.

Khan, I. A., Hussain, M., Munawar, S. H., Iqbal, M. O., Arshad, S., Manzoor, A., ... & Syed, S. K. (2021). Jasminum sambac: A Potential candidate for drug development to cure cardiovascular ailments. Molecules, 26(18), 5664.

Khatun, A. (2023). Plumbago indica L.: A review of its medicinal uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology. Internat. J. Herb. Med, 11, 31-37.

Maretha, T. L., Jamil, A. S., Rofida, S., & Muchlisin, M. A. (2023, November). Network Pharmacology Analysis of Cananga odorata as a Treatment for Anxiety Disorders. In Proceedings of International Pharmacy Ulul Albab Conference and Seminar (PLANAR) (Vol. 3, pp. 137-153).

Mehra, N., Tamta, G., & Nand, V. (2021). A review on nutritional value, phytochemical and pharmacological attributes of Foeniculum vulgare Mill. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10(2), 1255-1263.

Nikule, H. A., Nikam, T. D., Borde, M. Y., Pawar, S. D., Shelke, D. B., & Nitnaware, K. M. (2024). Phytochemical and pharmacological insights into Salacia chinensis L.(Saptarangi): An underexplored important medicinal plant. Discover Plants, 1(1), 67.

Thu, H. E., Hussain, Z., Mohamed, I. N., & Shuid, A. N. (2018). Exploring dynamic biomedical algorithm of Eurycoma longifolia Jack and its bioactive phytochemicals: A review of pharmacokinetic and pharmacodynamic implications and future prospects. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 11(2), 89-97.

Tungmunnithum, D., Pinthong, D., & Hano, C. (2018). Flavonoids from Nelumbo nucifera Gaertn., a medicinal plant: Uses in traditional medicine, phytochemistry and pharmacological activities. Medicines, 5(4), 127.

Zhao, Z., Wang, Y., Nian, M., Lv, H., Chen, J., Qiao, H., ... & Wu, S. (2023). Citrus hystrix: A review of phytochemistry, pharmacology and industrial applications research progress. Arabian Journal of Chemistry, 16(11), 105236.

# การศึกษาแนวโน้มและระดับความเสี่ยงของมลพิษจากฝุ่นละอองในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

# A Study on the Trend and Risk of Particulate Pollution in Mueang Suphanburi District

**ฉัตรพล พิมพา**

**Chatpon Phimpha**

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
Faculty of industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi
Corresponding Author E-mail : Perpetually09@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลาและประเมินระดับความเสี่ยงของฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ตลอดปี พ.ศ. 2567 โดยใช้ข้อมูลรายวันจากแพลตฟอร์ม Air4Thai ของกรมควบคุมมลพิษ รวมทั้งวิเคราะห์ภาพรวมรายเดือน รายฤดูกาล และตรวจจับช่วงค่าฝุ่นที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน (37.5 µg/m³) ผลการศึกษาพบว่า PM2.5 มีแนวโน้มผันผวนตามฤดูกาล โดยฤดูหนาวและฤดูร้อนมีค่าฝุ่นเฉลี่ยสูงกว่าฤดูฝนอย่างชัดเจน เดือนมกราคมมีจำนวนวันที่ค่าฝุ่นเกินเกณฑ์มากที่สุดถึง 20 วัน ขณะที่ฤดูฝนมีระดับฝุ่นต่ำสุดและปลอดภัยที่สุด การวิเคราะห์เชิงเวลาแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 7 วัน แสดงค่าฝุ่นสูงผิดปกติ (Spikes) สัมพันธ์กับกิจกรรมเฉพาะพื้นที่ เช่น การเผาในที่โล่งและช่วงการเดินทางในเทศกาลสำคัญ สำหรับการแจกแจงข้อมูลด้วย Boxplot พบว่าค่าฝุ่นมีลักษณะเบ้ขวา ซึ่งสะท้อนว่าค่าฝุ่นส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางแต่มีบางช่วงที่มีค่าฝุ่นสูงอย่างผิดปกติ รวมถึงพบค่าฝุ่นที่สูงมากกว่า 70 µg/m³ ที่อาจส่งผลกระทบทางสุขภาพ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการแจ้งเตือนล่วงหน้าและวางแผนจัดการมลพิษในระดับพื้นที่ โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนที่มีความเสี่ยงสูง

**คำสำคัญ:** ฝุ่นละออง PM2.5 แนวโน้มเชิงเวลา ฤดูกาล มลพิษอากาศ

**Abstract**

This research aimed to analyze the temporal trend and assess the risk level of PM2.5 particulate matter in Mueang District, Suphanburi Province throughout the year 2024. Daily data were obtained from the Air4Thai platform of the Pollution Control Department. The study included analysis of monthly and seasonal overviews as well as the detection of periods when PM2.5 levels exceeded the national standard (37.5 µg/m³). The results showed that PM2.5 levels fluctuated seasonally, with winter and summer having noticeably higher average concentrations than the rainy season. January had the highest number of days exceeding the standard, with up to 20 days, while the rainy season had the lowest and safest PM2.5 levels. The 7-day moving average time-series analysis revealed abnormal spikes in PM2.5 levels that were related to specific local activities, such as open burning and holiday travel. The data distribution analysis using boxplots showed a right-skewed pattern, indicating that most PM2.5 values were in the moderate range, but some periods had unusually high

concentrations. Values exceeding 70 μg/m³ were also found, which could pose immediate health risks. The findings of this study can serve as a guideline for early warning and pollution management planning at the local level, especially during high-risk winter and summer periods.

**Keywords:** PM2.5 Particulate Matter, Temporal Trend, Seasonal, Air Pollution

**1. บทนำ**

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือที่รู้จักกันในชื่อ ฝุ่น PM2.5 ได้กลายเป็นประเด็นสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการขยายตัวของเมือง พื้นที่ที่มีกิจกรรมภาคเกษตรกรรม และบริเวณที่มีการใช้ยานพาหนะหนาแน่น ปัญหานี้มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสุขภาพของประชาชน เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตโดยรวม (Sukuman et al., 2023) โดยฝุ่น PM2.5 สามารถแทรกซึมเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนลึกซึ่งฝุ่นดังกล่าวนั้นเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและโรคหลอดเลือดสมอง (World Health Organization: WHO) (World Health Organization, 2021) ด้วยเหตุนี้ การเฝ้าระวังและวิเคราะห์แนวโน้มค่าฝุ่น PM2.5 จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการกำหนดนโยบายและมาตรการควบคุมในระดับพื้นที่ ในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐของไทย โดยกรมควบคุมมลพิษได้มีการจัดตั้งระบบเฝ้าระวังคุณภาพอากาศผ่านแพลตฟอร์ม Air4Thai ซึ่งเผยแพร่ข้อมูลรายวันและรายชั่วโมงของค่าฝุ่นละอองจากสถานีตรวจวัดทั่วประเทศในรูปแบบ Open Data (Luangwilai et al., 2025) ซึ่งเปิดโอกาสให้ภาคการศึกษา นักวิจัย และประชาชนทั่วไปสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย หนึ่งในแนวทางการใช้ข้อมูลที่มีศักยภาพ คือ การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลาในระดับท้องถิ่น เพื่อทำความเข้าใจลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นในมิติเวลา ทั้ง รายวัน รายเดือน และรายฤดูกาล ตลอดจนตรวจจับช่วงเวลาที่มีค่าฝุ่นสูงผิดปกติ (Spikes) หรือค่าฝุ่นที่สูงเกินเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลให้หน่วยงานราชการหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถแจ้งเตือนล่วงหน้ารวมถึงนำไปใช้ในการวางแผนเชิงป้องกัน

จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายทั้งในด้านเกษตรกรรม การคมนาคมและการตั้งถิ่นฐานของประชากร ซึ่งการใช้ประโยชน์จากพื้นที่นั้นส่งผลให้เกิดแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5 ทั้งแบบจงใจและไม่จงใจ เช่น การเผาในที่โล่ง การเผาฟืน การจราจรหนาแน่น กระบวนการผลิตในครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม (Kiely et al., 2024) แม้จังหวัดสุพรรณบุรีจะไม่ใช่พื้นที่ที่มีระดับฝุ่นสูงที่สุด แต่รายงานจากกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department: PCD) (Pollution Control Department, 2023) ระบุว่ามีบางช่วงของปีที่ค่าฝุ่นเกินค่ามาตรฐานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวถึงช่วงต้นของฤดูร้อน ซึ่งสภาพอากาศที่นิ่ง ลมอ่อน และอุณหภูมิผกผัน ทำให้ฝุ่นสะสมในระดับพื้นดินนานกว่าปกติ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นคือ การขาดระบบวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเวลาในระดับท้องถิ่น ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเวลาในระดับท้องถิ่นจะช่วยให้สามารถระบุช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูงได้อย่างแม่นยำ โดยในปัจจุบันการประเมินฝุ่น PM2.5 ส่วนใหญ่จะใช้อาศัยค่าเฉลี่ยของข้อมูลรายปีหรือรายวัน ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเข้าใจพฤติกรรมการเกิดค่าฝุ่นสูงผิดปกติ (Spikes) หรือสะสมฝุ่นอย่างต่อเนื่องเกินค่ามาตรฐานตลอดหลายวัน ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนไม่น้อยไปกว่าค่าระยะยาว (Ahmad et al., 2025) ดังนั้นการวิเคราะห์แนวโน้มฝุ่นรายเดือน รายฤดู และจำนวนวันที่เกินเกณฑ์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนจัดการมลพิษเชิงป้องกัน นอกจากนี้แม้ว่าข้อมูลจาก Air4Thai จะมีความละเอียดและครอบคลุม แต่ยังมีการใช้ข้อมูลในลักษณะวิเคราะห์เชิงลึกในระดับจังหวัดน้อยมาก งานวิจัยนี้จึงจะนำข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ของแพลตฟอร์ม Air4Thai มาวิเคราะห์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเฝ้าระวังและสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวโน้มและพฤติกรรมของค่าฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ตลอดปี พ.ศ. 2567 โดยใช้ข้อมูลรายวันจากแพลตฟอร์ม Air4Thai ซึ่งผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลาและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ตลอดปี พ.ศ. 2567 ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลรายวัน รายเดือน รายฤดูกาล และการใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงฝุ่นในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงการตรวจสอบจุดพุ่งสูงของฝุ่นและช่วงที่มีความเสี่ยงสูงอย่างชัดเจน และจะทำการประเมินระดับความเสี่ยงจากค่าฝุ่น PM2.5 โดยใช้เกณฑ์มาตรฐาน PM2.5 ของประเทศไทยคือไม่ควรมีฝุ่น PM2.5 สูงกว่า 37.5 µg/m³ (Kittisak & Sombat, 2024) และจำแนกความแตกต่างของระดับฝุ่นในแต่ละฤดูกาล ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์จากข้อมูล จำนวนวันที่ค่าฝุ่นเกินค่ามาตรฐาน การคำนวณค่าเฉลี่ยรายฤดู และการแจกแจงค่าฝุ่นผ่าน boxplot ซึ่งนำไปสู่ข้อค้นพบที่สามารถใช้ในการเตือนล่วงหน้า และวางแผนรับมือกับปัญหาฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูง

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

2.1 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลาและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ตลอดปี พ.ศ. 2567

2.2 เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงจากค่าฝุ่น PM2.5 โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยและจำแนกความแตกต่างของระดับฝุ่นในแต่ละฤดูกาล

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

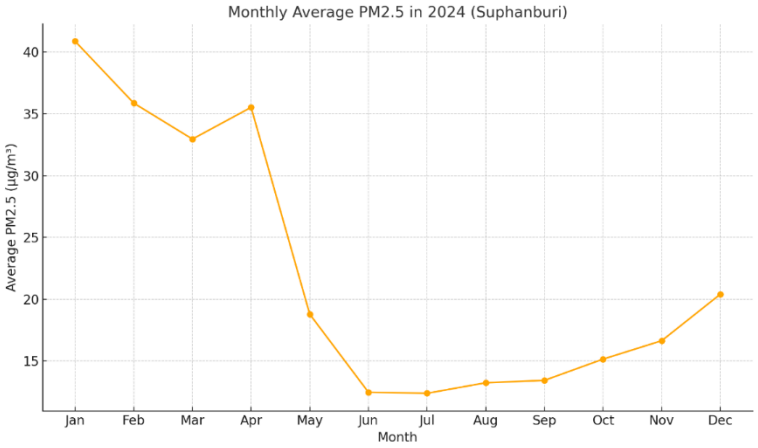
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิที่มีความน่าเชื่อถือ คือใช้ข้อมูลจากแพลตฟอร์ม Air4Thai ของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department) ซึ่งให้บริการข้อมูลคุณภาพอากาศที่ตรวจวัดจากสถานีวัดจริงทั่วประเทศ โดยงานวิจัยนี้เลือกสถานีวัดค่าฝุ่น PM2.5 ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 จำนวน 366 ข้อมูล จากนั้นจะทำการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยทั้ง 2 ข้อ โดยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวน 5 ประเภทดังนี้ 1) ค่าเฉลี่ยรายเดือน (Monthly Average) เพื่อหาค่าเฉลี่ย PM2.5 ของแต่ละเดือน 2) ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล (Seasonal Average) โดยแบ่งฤดูเป็น 3 ฤดู ประกอบด้วย ฤดูหนาว (พ.ย.–ก.พ.), ฤดูร้อน (มี.ค.–พ.ค.), ฤดูฝน (มิ.ย.–ต.ค.) 3) การวิเคราะห์จำนวนวันที่ฝุ่นมีค่าเกินเกณฑ์ของประเทศไทย 4) การวิเคราะห์เชิงเวลา (Time Series) ใช้กราฟเส้นและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 7 วัน เพื่อตรวจดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายวัน 5) การแจกแจงข้อมูล (Distribution Analysis) โดยสร้าง boxplot และ histogram โดยวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้ม ความแปรปรวน และความเสี่ยงสะสม (Chaudhry et al., 2024) ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์ที่ 1) ค่าเฉลี่ยรายเดือน และวิธีที่ 2) ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาลนั้น จะทำให้เข้าใจภาพรวมของฝุ่นในระดับเวลาต่างกันทั้งรายเดือนและรายฤดูกาล ผลที่ได้จะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 3) การวิเคราะห์จำนวนวันที่ฝุ่นมีค่าเกินเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ ผลที่ได้จะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 4) จะใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มระยะสั้นและความผันผวนของข้อมูลในช่วงต่าง ๆ โดยใช้ 7-Day Moving Average เพื่อกรองความแปรปรวนรายวันอันเกิดจากปัจจัยเฉพาะหรือกิจกรรมเฉพาะ และการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 5) จะช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายตัว ความเบ้ โดยการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทั้ง 5 แบบจึงเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ภาพรวมและการวิเคราะห์เฉพาะช่วงเวลาที่สามารถตอบวัตถุประสงค์ได้

**4. ผลการวิจัย**

4.1 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่น PM2.5

จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่นพบว่าค่าแนวโน้มของ PM2.5 รายเดือนในปี 2567 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ในช่วงไตรมาสแรกของปี (มกราคม–มีนาคม) พบค่าเฉลี่ย PM2.5 สูงต่อเนื่องทุกเดือนโดยเฉพาะเดือนมกราคมสูงกว่า 40 µg/m³ ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยที่ 37.5 µg/m³ บ่งชี้ถึงความเสี่ยงสะสมในช่วงต้นปี สาเหตุอาจมาจากสภาพอากาศนิ่งในฤดูหนาว การเผาในที่โล่งหลังเก็บเกี่ยว และกิจกรรมหนาแน่นช่วงเทศกาลปีใหม่ ต่อมาในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน–กันยายน) ค่า PM2.5 ลดลงชัดเจน เหลือต่ำกว่า 20 µg/m³ ทุกเดือน สะท้อนบทบาทของฝนที่ช่วยชะล้างฝุ่นในอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ช่วงปลายปี (พฤศจิกายน–ธันวาคม) เริ่มเห็นการปรับตัวสูงขึ้นอีกครั้ง เป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าสำหรับช่วงวิกฤตในต้นปีถัดไป นอกจากนี้กราฟยังเผยให้เห็นการผันผวนรายเดือนอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ระหว่างเดือนเมษายนถึงมิถุนายน มีการลดลงของค่าเฉลี่ยกว่า 50% ภายใน 1 เดือน สะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยแทรกซ้อน เช่น การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้รถช่วงเปิด-ปิดภาคเรียน เป็นต้น เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพรวมของค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่น PM2.5 ยังแสดงให้เห็นว่า ความถี่ของค่าฝุ่นที่เกินเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยติดต่อกันในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน ความเสี่ยงต่อสุขภาพ แม้ค่าฝุ่นจะไม่พุ่งสูงเฉียบพลัน แต่การสะสมต่อเนื่องหลายวันก็อาจส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจได้เช่นกัน ดังภาพที่ 1

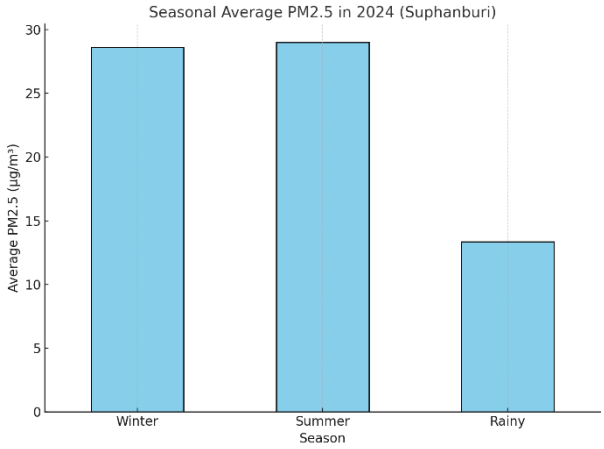



**ภาพที่ 1** ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณฝุ่น PM2.5

4.2 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล (Seasonal Average)

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย PM2.5 รายฤดูในปี 2567 สำหรับอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับฝุ่นในแต่ละช่วงฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยฤดูร้อน (มีนาคม–พฤษภาคม) มีค่าเฉลี่ย PM2.5 สูงที่สุดที่ 29.02 µg/m³ ความสูง

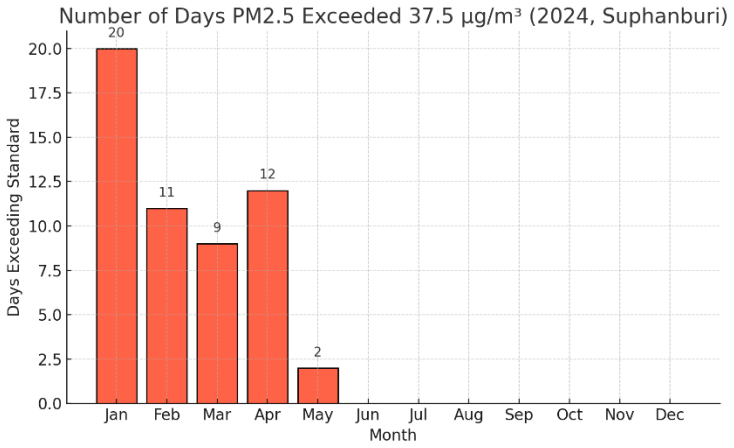
ของค่าฝุ่นในฤดูร้อนอาจเกิดจากกิจกรรมการเผาซากพืชหลังเก็บเกี่ยว ประกอบกับสภาพอากาศร้อน แห้ง และลมสงบ ส่งผลให้ฝุ่นไม่กระจายตัว ในขณะที่ฤดูหนาว (พฤศจิกายน–กุมภาพันธ์) ถึงแม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยรองลงมาอยู่ที่ 28.62 µg/m³ แต่ก็ยังถือเป็นฤดูที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ร่วมกับกิจกรรมที่หนาแน่นในช่วงเทศกาล เช่น การใช้รถยนต์ เป็นต้น ในส่วนของฤดูฝน (มิถุนายน–ตุลาคม) มีค่าฝุ่นต่ำสุดที่ 13.34 µg/m³ สะท้อนประสิทธิภาพของฝนในการชะล้างฝุ่นละออง และบ่งชี้ว่าเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพต่ำที่สุดของปี ภาพรวมของการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าทุกฤดูมีลักษณะเฉพาะของความเสี่ยงฝุ่นละออง และความผันผวนเหล่านี้ควรถูกนำมาใช้ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศในระดับท้องถิ่นอย่างเหมาะสม ดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล

4.3 การวิเคราะห์จำนวนวันที่ฝุ่นมีค่าเกินเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ

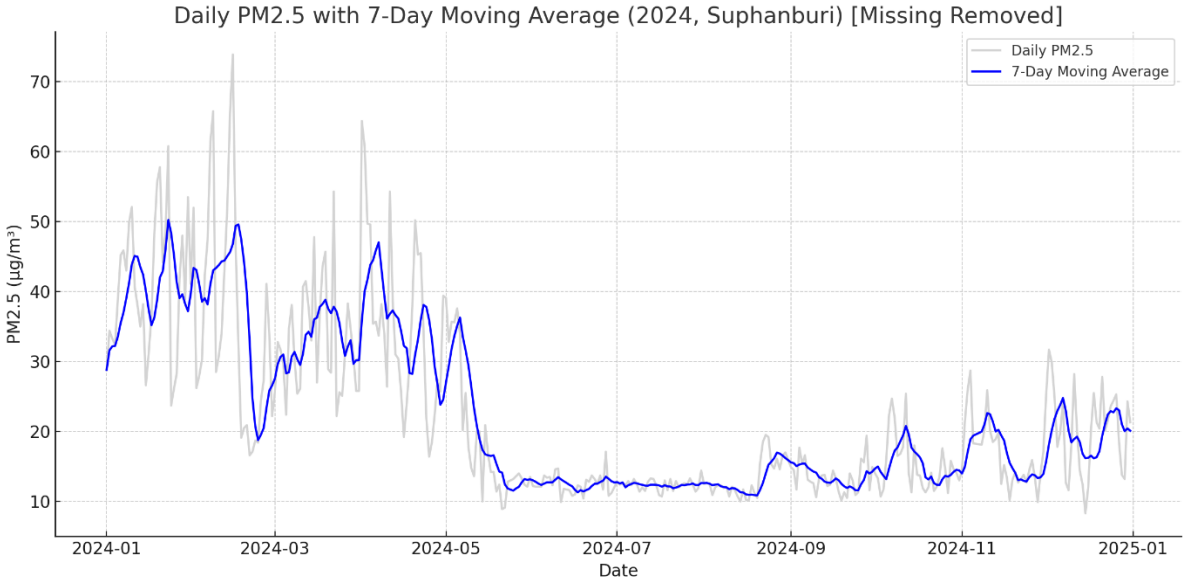
การวิเคราะห์จำนวนวันที่ค่าฝุ่นละออง PM2.5 ที่เกินมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ คือ 37.5 µg/m³ ในปี 2567 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า มีทั้งสิ้น 54 วัน โดยวันที่มีค่าฝุ่นเกินมาตรฐานอยู่ในช่วงต้นปี โดยเฉพาะเดือนมกราคมที่มีมากถึง 20 วัน กุมภาพันธ์ 11 วัน และเมษายน 12 วัน ซึ่งสะท้อนจำนวนวันที่ฝุ่นมีค่าเกินมาตรฐานนั้นแสดงถึงช่วงเวลาที่ประชาชนต้องเผชิญความเสี่ยงจากฝุ่นละอองสะสมติดต่อกันหลายวันในเดือนนั้นๆ ซึ่งลักษณะนี้อาจส่งผลร้ายต่อผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจหรือโรคหัวใจ ถึงแม้ว่าค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้จะไม่ได้มีค่าสูงมากเป็นพิเศษในแต่ละวัน แต่อย่างไรก็ดีการสะสมต่อเนื่องมีความรุนแรงในระดับสุขภาพเทียบเท่าวันที่มีค่าพุ่งสูง ในช่วงเวลาที่มีความปลอดภัยที่สุดคือเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม จากข้อมูลพบว่าไม่มีวันใดที่ค่าของฝุ่นมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** ผลการวิเคราะห์จำนวนวันที่ฝุ่นมีค่าเกินเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ

4.4 การวิเคราะห์เชิงเวลาโดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

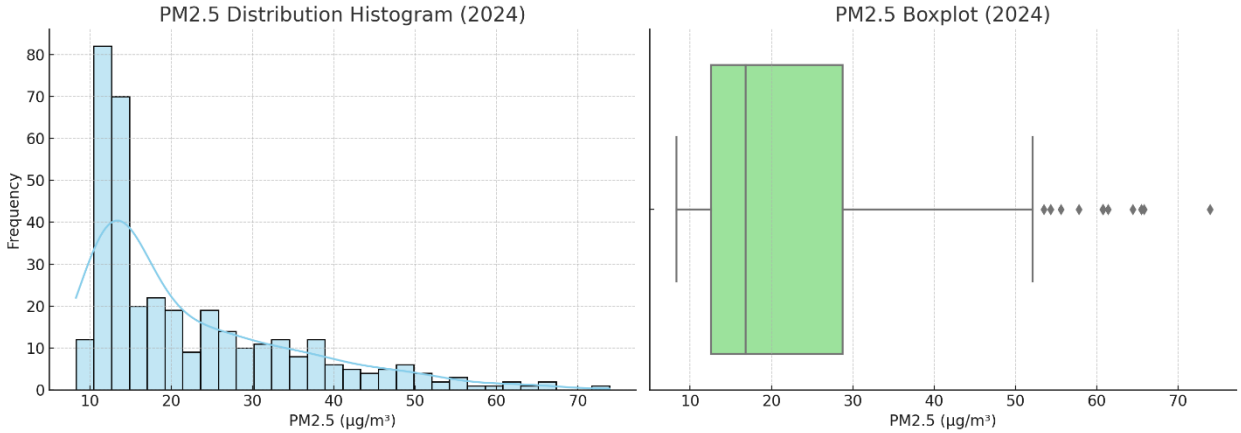
การวิเคราะห์ค่า PM2.5 รายวันพร้อมเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 7 วัน (7-Day Moving Average) สำหรับปี 2567 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงให้เห็นลักษณะของความผันผวนและแนวโน้มฝุ่นละอองอย่างชัดเจนในมิติทั้งสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรมมนุษย์ โดยช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์มีความผันผวนสูง ค่าฝุ่นบางวันพุ่งขึ้นถึง 60–70 µg/m³ แต่ลดลงอย่างรวดเร็วในวันถัดไป ขณะที่เส้นค่าเฉลี่ยยังคงอยู่ในระดับสูงต่อเนื่อง สะท้อนถึง “ความเสี่ยงสะสม” ที่อาจไม่ชัดเจนเมื่อดูจากข้อมูลรายวันเพียงอย่างเดียว จุดที่มีค่าสูงเกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคม ปลายเดือนมีนาคมและต้นเดือนเมษายน แสดงให้เห็นความสัมพันธ์กับเหตุการณ์เฉพาะ เช่น เทศกาลสำคัญและช่วงการทำนา อย่างไรก็ดีจากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน–กันยายน) ค่าของฝุ่นลดลงอย่างชัดเจนและมีความเสถียรของแนวโน้ม ก่อนจะเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งช่วงปลายปี เส้น Moving Average จึงช่วยชี้แนวโน้มก่อนวิกฤตที่จะเกิดขึ้นในช่วงต้นปี ดังภาพที่ 4




**ภาพที่ 4** ผลการวิเคราะห์เชิงเวลาโดยค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

4.5 การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

จากการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล PM2.5 Boxplot ในปี 2567 ของอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวของค่าฝุ่นที่ไม่สามารถตีความได้จากค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว โดยค่าของฝุ่นที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ประมาณ 25–30 µg/m³ หากพิจารณาแล้วจะพบว่าค่าฝุ่นอยู่ในระดับปานกลางตามเกณฑ์ของประเทศไทย อย่างไรก็ดีหากนำไปเปรียบเทียบมาตรฐานของ WHO พบว่าค่าฝุ่นในจังหวัดสุพรรณบุรีนั้นยังเกินมาตรฐาน WHO ที่แนะนำ โดยมาตรฐานของ WHO คือค่าฝุ่นไม่ควรเกิน 15 µg/m³ (WHO, 2021) จากข้อมูลดังกล่าวนั้นสะท้อนให้เห็นถึงความเสี่ยงสะสมต่อสุขภาพในระยะยาว โดยช่วงพิสัยระหว่างควอไทล์ (Interquartile Range: IQR) ช่วง Q1–Q3 มีความกว้างแสดงถึงความแปรปรวนของค่าฝุ่นรายวันที่อาจเกิดจากสภาพอากาศ การเผา หรือกิจกรรมเฉพาะพื้นที่ อีกจุดสำคัญคือพบค่าผิดปกติ (Outlier) จำนวนมากในฝั่งขวาของกราฟ (ช่วง 55–70 µg/m³) ซึ่งบ่งบอกถึงเหตุการณ์เฉพาะที่ทำให้ฝุ่นสูงผิดปกติ ขณะที่ฝั่งซ้ายไม่มีค่าผิดปกติเลย นั่นแสดงว่าค่า PM2.5 ไม่เคยต่ำมากแบบผิดปกติ นอกจากนี้ Boxplot ยังมีลักษณะเอียงขวา (Positive skew) แปลผลได้ว่าค่าฝุ่นส่วนใหญ่ไม่สูงมาก แต่มีบางช่วงที่พุ่งขึ้นเฉียบพลัน ซึ่งสะท้อนถึงรูปแบบฝุ่นที่ไม่สม่ำเสมอและควรมีระบบติดตามเชิงเหตุการณ์ ดังภาพที่ 5




**ภาพที่ 5** ผลการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

เมื่อนำข้อมูลจากการวิเคราะห์นำมาสรุปตามวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลาและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ตลอดปี พ.ศ. 2567 พบว่าแนวโน้มค่าฝุ่นมีความผันผวนตลอดทั้งปี โดยช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนเป็นช่วงที่ค่าฝุ่นเฉลี่ยอยู่ในระดับสูงที่สุด โดยเฉพาะในเดือนมกราคมที่มีค่าเฉลี่ย PM2.5 สูงกว่า 40 µg/m³ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน–ตุลาคม) เหลือเพียงประมาณ 15–20 µg/m³ เท่านั้น เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 7 วัน มาวิเคราะห์ร่วมด้วยจะแสดงให้เห็นว่า จะมีปริมาณค่าฝุ่นสูงผิดปกติ (Spikes) ในช่วงต้นปีและปลายปี ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางภูมิอากาศของฤดูหนาวและต้นฤดูร้อนที่ลมอ่อนและฝุ่นสะสมง่าย นอกจากนี้การแจกแจงข้อมูลผ่าน boxplot ยังชี้ให้เห็นถึงการกระจายตัวของค่าฝุ่นที่ค่อนข้างเบ้ขวา (Skewed right) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25–30 µg/m³ แต่ก็มีบางวันที่สูงเกิน 70 µg/m³ ซึ่งถือเป็นค่าผิดปกติที่สะท้อนถึงช่วงเวลาวิกฤตที่ควรมีการเตือนเฉพาะจุด

สำหรับวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ การประเมินระดับความเสี่ยงจากค่าฝุ่น PM2.5 โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยและจำแนกความแตกต่างของระดับฝุ่นในแต่ละฤดูกาลนั้น จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ในจังหวัดสุพรรณบุรีตลอดทั้งปี มีจำนวนวันที่

ค่าฝุ่นเกินเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยมีทั้งสิ้น 54 วัน โดยเดือนที่มีจำนวนวันเกินค่ามากที่สุดคือเดือนมกราคมจำนวน 20 วัน รองลงมาคือเดือนเมษายนและกุมภาพันธ์ ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับช่วงที่ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงที่สุด การเปรียบเทียบเชิงฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อน (มีนาคม–พฤษภาคม) มีค่าเฉลี่ยของฝุ่นสูงที่สุดคือ 29.02 µg/m³ รองลงมาคือ ฤดูหนาว (พฤศจิกายน–กุมภาพันธ์) มีค่าเฉลี่ย 28.62 µg/m³ และลำดับสุดท้ายคือ ที่สุดในฤดูฝนที่ 13.34 µg/m³ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ WHO ที่ชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิและความชื้นมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของฝุ่นอย่างมีนัยสำคัญ (WHO, 2021) การวิเคราะห์นี้ช่วยให้สามารถระบุช่วงเวลาที่ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการจัดการมลพิษและเตือนประชาชนล่วงหน้า

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการศึกษาพบว่า ค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี มีแนวโน้มผันผวนตามฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งมีค่าเฉลี่ย PM2.5 สูงที่สุดถึงประมาณ 29.02 µg/m³ และ 28.62 µg/m³ ตามลำดับ และมีจำนวนวันที่ค่าฝุ่นเกินมาตรฐานของประเทศไทย 37.5 µg/m³ มากที่สุดในปี โดยเฉพาะในเดือนมกราคมที่พบเกินค่าถึง 20 วัน การพุ่งสูงของฝุ่นในช่วงต้นปีนี้สอดคล้องกับลักษณะภูมิอากาศในฤดูร้อนและฤดูหนาวของประเทศไทย ที่มักมีลมนิ่ง ความชื้นต่ำ ซึ่งส่งผลให้ฝุ่นละอองสะสมในชั้นอากาศใกล้พื้นดินและสลายตัวได้ยากและยังเป็นช่วงเวลาเทศกาลที่มีการเดินทางและเป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมส่งผลให้มีการเผาทำให้เกิดฝุ่นและควัน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่า การจราจรเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของ PM2.5 โดยมีรูปแบบการเกิดคล้ายกันทั้งในเขตเมืองและต่างจังหวัด โดยเฉพาะการสะสมฝุ่นในช่วงฤดูร้อนที่อากาศนิ่ง (ChooChuay et al., 2020) (Kiely et al., 2025) สำหรับข้อมูลแนวโน้มรายเดือนและรายวันร่วมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 7 วัน สะท้อนให้เห็นว่าฝุ่นในพื้นที่ไม่ได้กระจายตัวแบบสม่ำเสมอแต่มีจุดที่ค่าฝุ่นสูงผิดปกติ (Spikes) ที่ควรมีการแจ้งเตือนล่วงหน้าเพื่อเตรียมรับมือในช่วงวันที่มีความเสี่ยงสูง การแจกแจงค่าฝุ่น PM2.5 ผ่านกราฟ boxplot ยังสะท้อนให้เห็นความแปรปรวนที่ค่อนข้างสูง และมีลักษณะของการกระจายตัวแบบเบ้ขวา (Positive Skewness) ซึ่งสะท้อนว่า แม้ในวันปกติค่าฝุ่นจะอยู่ในเกณฑ์ไม่สูงมาก แต่ก็มีหลายวันที่ค่าพุ่งเกินมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ โดยบางวันค่าฝุ่นสูงถึงเกือบ 80 µg/m³ ซึ่งถือว่าเป็นค่าผิดปกติ ที่ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ได้ทันที โดยเฉพาะกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็กเล็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ สอดคล้องกับงานของ (WHO, 2021) ที่ระบุว่าแม้เพียงหนึ่งวันที่ค่าฝุ่นเกินมาตรฐาน ก็สามารถกระตุ้นอาการกำเริบของโรคได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2023) ที่พบว่า แม้จังหวัดสุพรรณบุรีจะไม่ติดอันดับค่าฝุ่นสูงที่สุดในประเทศ แต่ในระดับพื้นที่เฉพาะ (ระดับอำเภอ) ก็ยังพบความเสี่ยงเชิงเวลาเฉพาะจุดที่ไม่ควรมองข้าม

ในส่วนของข้อเสนอแนะ ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย 1) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ควรจัดให้มีระบบแจ้งเตือนค่าฝุ่น PM2.5 รายเดือน โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน–มีนาคม) ผ่านช่องทางสื่อสารที่เข้าถึงประชาชน เช่น Line Official, วิทยุชุมชน หรือ Facebook Page เพื่อให้กลุ่มเสี่ยงสามารถปรับตัวและลดความเสี่ยงทางสุขภาพได้อย่างทันท่วงที 2) ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการหรืองานวิจัยในอนาคต ควรขยายการศึกษาด้วยการใช้แบบจำลองเชิงพยากรณ์ (Forecasting Models) เช่น ARIMA หรือ LSTM เพื่อคาดการณ์ค่าฝุ่นล่วงหน้า และรวมปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และกิจกรรมการเผาในที่โล่ง เพื่อสร้างโมเดลเชิงสาเหตุที่สามารถใช้วางแผนเชิงป้องกันได้ 3) ข้อเสนอแนะสำหรับประชาชนทั่วไป ควรส่งเสริมการเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่าน Air4Thai และสร้างความรู้ความเข้าใจเรื่องผลกระทบของ PM2.5 ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มเปราะบาง เพื่อให้ประชาชนสามารถป้องกันตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การสวมหน้ากากอนามัย การอยู่ในที่ร่ม และการลดกิจกรรมกลางแจ้งในวันที่มีค่าฝุ่นสูง

**6. เอกสารอ้างอิง**

Ahmad, M., Thaveevong, P., Aman, N., Ngamsritrakul, T., & Panyametheekul, S. (2025). The PM2.5-bound metals in the metropolitan area of Bangkok, Thailand: Temporal trends, sources, and human health challenges. *Environmental Challenges, 18*, 101092.

Chaudhry, S. K., Tripathi, S. N., Reddy, T. V. R., Kumar, A., Madhwal, S., Yadav, A. K., & Pradhan, P. K. (2024). Influence of seasonal variation on spatial distribution of PM2.5 concentration using low-cost sensors. *Environmental Monitoring and Assessment, 196*(12), 1234.

ChooChuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Suttinun, O., Deelaman, W., Wang, Q., ... & Cao, J. (2020). Impacts of PM2.5 sources on variations in particulate chemical compounds in ambient air of Bangkok, Thailand. *Atmospheric Pollution Research, 11*(9), 1657–1667.

Kaewneam, K., & Nopchanasupab, S. (2024). Real-time monitoring and control of indoor and outdoor air quality and particulate matter for Office of Academic Resources buildings. *PULINET Journal, 11*(1), 189–206.

Kiely, L., Neyestani, S. E., Binte-Shahid, S., York, R. A., Porter, W. C., & Barsanti, K. C. (2024). California case study of wildfires and prescribed burns: PM2.5 emissions, concentrations, and implications for human health. *Environmental Science & Technology, 58*(12), 5210–5219.

Kittisak, K., & Sombat, N. (2024). Real-time Monitoring and Control of Indoor and Outdoor Air Quality and Particulate Matter for Office of Academic Resources Buildings. *Pulinet Journal, 11*(1), 189–206.

Luangwilai, T., Kunno, J., Manomaipiboon, B., Ruamtawee, W., & Ong-Artborirak, P. (2025). Risk perception and self-monitoring of particulate matter 2.5 (PM2.5) associated with anxiety among general population in urban Thailand. *Urban Science, 9*(7), 256.

Pollution Control Department. (2023). *Air quality annual report*.

Sukuman, T., Ueda, K., Sujaritpong, S., Praekunatham, H., Punnasiri, K., Wimuktayon, T., & Prapaspongsa, T. (2023). Health impacts from PM2.5 exposure using environmental epidemiology and health risk assessment: A review. *Applied Environmental Research, 45*(3), 1–22.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228

# การปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง

# Improvement of Antioxidant Properties of Sacha Inchi Meal by Solid-State Fermentation

**วรภาณี แสงประทีป, ศนิ จิระสถิตย์***

**Worapanee Sangprateep, Sani Jirasatid***

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University, 66910082@go.buu.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการหมักต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากกากถั่วดาวอินคา (Sacha inchi meal: SM) ด้วยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง การทดลองทำการหมักกากถั่วดาวอินคาด้วย *Bacillus subtilis* ที่ 35°C นาน 48 ชั่วโมง *Rhizopus oligosporus* ที่ 25°C นาน 24 ชั่วโมง และ *Lactobacillus acidophilus* ที่ 35°C นาน 72 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และโพรไบโอติกกากถั่วดาวอินคา ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักด้วย *B. subtilis* และ *R. oligosporus* ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ขณะที่ TPC ค่อนข้างคงที่ในระหว่างการหมักด้วย *L. acidophilus* โดยนัตโตะกากถั่วดาวอินคาและเทมเป้กากถั่วดาวอินคา มี TPC เท่ากับ 7.433 และ 2.72 mg GAE/g substrate dry weight (sdw) ตามลำดับ นอกจากนี้ทุกตัวอย่างมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการหมัก ($p \leq 0.05$) โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างหมักแปรผันอยู่ระหว่าง 25.20% ถึง 73.84% และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS แปรผันอยู่ระหว่าง 68.46% ถึง 81.23% จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา (SN) เทมเป้กากถั่วดาวอินคา (ST) และสแนคกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก (SP) พบว่า SN และ SP ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.3 และ 6.4 คะแนน ตามลำดับ ($p>0.05$) ขณะที่เทมเป้กากถั่วดาวอินคาได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.3 คะแนน ผลการทดลองแนะนำได้ว่า การหมักเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกากถั่วดาวอินคา โดยเฉพาะการหมักด้วย *B. subtilis*

**คำสำคัญ:** กากถั่วดาวอินคา นัตโตะ เทมเป้ โพรไบโอติก กระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง

**Abstract**

This research aimed to investigate the effect of fermentation on the antioxidant properties and sensory characteristics of products prepared from sacha inchi meal (SM) using solid-state fermentation. The SM was fermented with *Bacillus subtilis* at 35°C for 48 hours, *Rhizopus oligosporus* at 25°C for 24 hours, and *Lactobacillus acidophilus* at 35°C for 72 hours, resulting in three products: natto sacha inchi meal, tempeh sacha inchi meal, and probiotic sacha inchi meal, respectively. The results showed that total phenolic content (TPC) increased during fermentation with *B. subtilis* and *R. oligosporus,* which was associated with the increases in enzymatic activities of protease, α-amylase, and β-glucosidase. In contrast, TPC remained relatively stable during fermentation with *L. acidophilus*. The TPC of natto sacha inchi meal and tempeh sacha inchi meal were 7.433 and 2.72 mg GAE/g substrate dry weight (sdw), respectively. All fermented samples exhibited significantly higher antioxidant activities ($p \leq 0.05$) in both DPPH and ABTS compared to the unfermented SM. DPPH antioxidant activities ranged from 25.20% to 73.84%, while ABTS antioxidant activities ranged from 68.46% to 81.23%. Sensory evaluation of snack products incorporating natto sacha inchi meal (SN), tempeh sacha inchi meal (ST), and probiotic sacha inchi meal (SP) revealed that overall acceptability scores of SN and SP were 6.3 and 6.4, respectively ($p > 0.05$), while ST was 5.3. This finding suggests that fermentation is an effective method for enhancing the antioxidant properties and sensory characteristics of sacha inchi meal, especially the fermentation with *B. subtilis.*

**Keywords:** Sacha inchi meal, Natto, Tempeh, Probiotic, Solid-state fermentation.

**1.บทนำ**

บริษัท ชาโลม เฮลท์ จำกัด เป็นผู้ผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยวิธีสกัดเย็น มีกากถั่วดาวอินคาที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตมากถึงประมาณ 70% ของวัตถุดิบทั้งหมด กากถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน (56-62%) ไขมันทั้งหมด (10-15%) และยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น ใยอาหาร (30-35%) การนำกากถั่วดาวอินคาที่เป็นวัสดุเศษเหลือมาใช้ประโยชน์จะช่วยลดปริมาณขยะจากภาคอุตสาหกรรม และเพิ่มมูลค่าวัสดุเศษเหลือ อย่างไรก็ตาม กากถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วค่อนข้างแรงและมีรสฝาดทำให้มีข้อจำกัดในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

การแปรรูปด้วยวิธีการหมักเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ โดยอาหารหมักจะมีกลิ่นและรสชาติที่เฉพาะเจาะจงซึ่งแตกต่างจากวัตถุดิบเริ่มต้น และมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการหมักสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดยเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและลดปริมาณสารต้านโภชนาการ (anti-nutrients) เช่น สารยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor: TI) มีผลเชิงบวกต่อการดูดซึมสารอาหารในร่างกาย ทั้งนี้ Dai et al. (2017) รายงานว่ากากถั่วเหลืองหมักด้วย *Bacillus subtilis* โดยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง (solid-state fermentation: SSF) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (14.7 mg/g) และฟลาวโวนอยด์ (4.9 mg/g) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการหมักนาน 24 ชั่วโมง ขณะที่สารยับยั้งทริปซิน (TI) ลดลง (1.65 mg/g) อย่างมีนัยสำคัญ

ภายหลังการหมัก (3.38 mg/g) และสารสกัดจากกากถั่วเหลืองหมักแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่าสารสกัดจากกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก

จากประโยชน์ของกระบวนการหมักจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะแปรรูปกากถั่วดาวอินคาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น นัตโตะ (กากถั่วดาวอินคาหมักด้วย *Bacillus subtilis*) เทมเป้ (กากถั่วดาวอินคาหมักด้วย *Rhizopus oligosporus*) และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก (กากถั่วดาวอินคาหมักด้วย *Lactobacillus acidophilus*) โดยคาดว่าการหมักสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกากถั่วดาวอินคาได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ กิจกรรมเอนไซม์ และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกากถั่วดาวอินคาหมักด้วย *Bacillus subtilis*, *Rhizopus oligosporus* และ *Lactobacillus acidophilus* ด้วยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกากถั่วดาวอินคาหมักด้วย *Bacillus subtilis* TISTR 001, *Rhizopus oligosporus* TISTR 3616 และ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ด้วยกระบวนการหมักอาหารแข็ง

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

กากถั่วดาวอินคา (Sacha inchi meal: SM) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทชาโลม เฮลท์ จำกัด ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดเย็น

3.1.2 สายพันธุ์จุลินทรีย์

*Bacillus subtilis* TISTR 001, *Rhizopus oligosporus* TISTR 3616 และ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ซื้อจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C ในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient agar (NA), potato dextrose ager (PDA) และ De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) agar ที่ผสมกลีเซอรอล 30% ตามลำดับ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการหมัก

เพาะเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* TISTR 001 โดยเขี่ยเชื้อ *B. subtilis* 1 ลูป ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (NB) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เขย่าที่ความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบความเข้มข้นกล้าเชื้อแบคทีเรียด้วย 0.5 McFarland standard หรือวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 600 นาโนเมตร โดยตัวอย่างมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.132 จะมีความเข้มข้นของเซลล์แบคทีเรียประมาณ $1.5 \times 10^8$ approximate bacterial suspension/mL (CFU/mL) (Dai et al., 2017; Pradhananga, 2018).

เพาะเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 โดยเขี่ยเชื้อ *L. acidophilus* 1 ลูป ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนด้วย anaerobic jai ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งจำนวนเซลล์ประมาณ $10^9$ CFU/mL โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของกล้าเชื้อแบคทีเรียด้วย 4 McFarland standard หรือวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยตัวอย่างจะมีค่าการดูดกลืนแสง 0.669 (ประมาณจำนวนเซลล์ 1.2 x $10^9$ CFU/mL) (Li et al., 2020)

เพาะเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* TISTR 3616 โดยเขี่ยเชื้อ *R. oligosporus* 1 ลูป ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมสารละลายสปอร์ด้วยการเทสารละลายเปปโตนความเข้มข้น 0.1% (w/v) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อ ทำการขูดสปอร์ โดยใช้แท่งแก้วสามเหลี่ยม วัดความเข้มข้นของสารแขวนลอยสปอร์ด้วย Haemacytometer สารละลายสปอร์ความเข้มข้นเท่ากับ 1.8 x $10^7$ spores/ml ถูกใช้เป็นหัวเชื้อ (Razak et al., 2015)

3.2.2 กระบวนการหมัก

การหมักนัตโตะกากถั่วดาวอินคา

ผสมกากถั่วดาวอินคา 200 กรัม และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร อัตราส่วน 1:1 เพื่อปรับความชื้นของซับสเตรต จากนั้นนำไปชั่งใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ ปริมาณจานละ 15 กรัม นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121°C นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมกล้าเชื้อ *B. subtilis* ประมาณ 2% (v/w) คลุกให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35°C นาน 48 ชั่วโมง (Dai et al., 2017) เก็บตัวอย่างทุก ๆ 12 ชั่วโมง ในระหว่างการหมัก

การหมักเทมเป้กากถั่วดาวอินคา

ผสมกากถั่วดาวอินคา 200 กรัม และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นชั่งใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ จานละ 15 กรัม นำไปฆ่าเชื้อที่ 121°C นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วเติมกล้าเชื้อ *R. oligosporus* ประมาณ 10% (v/w) คลุกให้เข้ากัน (Razak et al., 2015) บ่มที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้บ่มอุณหภูมิต่ำและเก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 ชั่วโมง (Frias et al., 2017)

การหมักโพรไบโอติกกากถั่วดาวอินคา

ผสมกากถั่วดาวอินคา 200 กรัม และน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร อัตราส่วน 1:1 จากนั้นนำไปชั่งใส่จานอาหารเลี้ยงเชื้อ จานละ 15 กรัม ฆ่าเชื้อที่ 121°C นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วเติมกล้าเชื้อ *L. acidophilus* ประมาณ 5% (v/w) คลุกให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มในสภาวะปราศจากออกซิเจนที่อุณหภูมิ 35°C เก็บตัวอย่างทุก ๆ 18 ชั่วโมง นาน 72 ชั่วโมง (Li et al., 2020)

3.3 วิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ ได้แก่ โปรติเอส (Chen et al., 2020), $\alpha\beta$-อะไมเลส (Chen et al., 2020) และ $\beta$-กลูโคซิเดส (Bei et al., 2018; Chen et al., 2020) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Singleton et al., 1999) ในระหว่างการหมัก และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Huang et al., 2017) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS (Bei et al., 2017) ของตัวอย่างนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และโพรไบโอติกกากถั่วดาวอินคา เปรียบเทียบกับกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการหมัก

3.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เตรียมสแนคกากถั่วดาวอินคาหมัก โดยนำผลิตภัณฑ์ ได้แก่ นัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และโพรไบโอติกกากถั่วดาวอินคา ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นน้อยกว่า 10% จากนั้นนำมาทำสแนค โดยการตั้งไฟที่อุณหภูมิ 35°C ละลายเนย 20 กรัม ใส่มาชเมโล่ 200 กรัม เมื่อมาชเมโล่ละลายใส่ตัวอย่าง 50 กรัม คลุกให้เข้ากัน แล้วใส่นมผง 30 กรัม นำไปใส่แม่พิมพ์และแช่ตู้เย็น 24 ชั่วโมง นำไปตัดแบ่งชิ้นละ 5 กรัม จากนั้นทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสแนคกากถั่วดาวอินคาหมักทั้ง 3 ตัวอย่างด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม คะแนนแปรผันตั้งแต่ 1-9 โดย 1 คะแนน = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน = ชอบมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

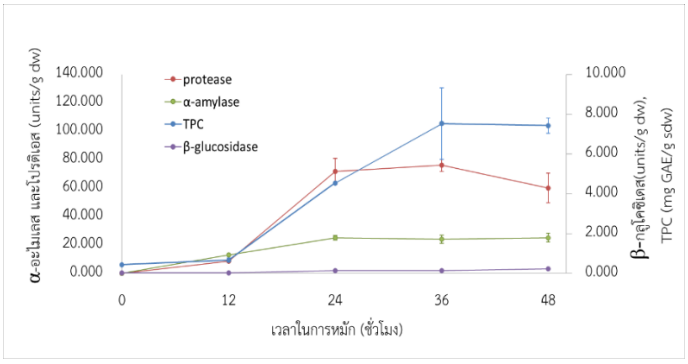
3.5 วิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ตัวอย่างอย่างน้อย 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่าง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey นัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรม Minitab 17

**4. ผลการวิจัย**

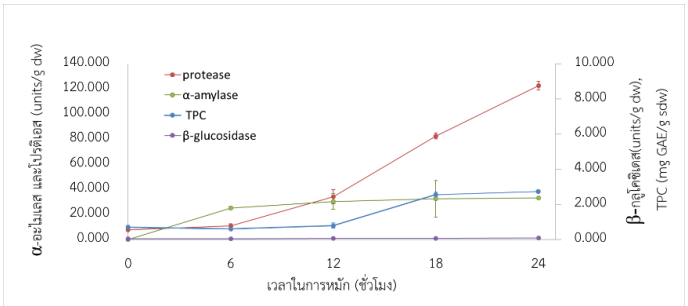
4.1 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลิก (TPC) ในระหว่างการหมักนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก

จากการทดลองหมักนัตโตะกากถั่วดาวอินคา ผลการทดลองพบว่า สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการหมัก โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.04 เป็น 7.43 mg GAE/g substrate dry weight (sdw) ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมเอนไซม์ α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.00-25.24 units/g dw และ 0.02-0.24 units/g dw ตามลำดับ ตลอดระยะเวลากระบวนการหมัก ในขณะที่เอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วง 36-48 ชั่วโมง โดยเอนไซม์โปรติเอสแปรผันอยู่ระหว่าง 0.20-60.12 units/g dw ตามลำดับ (ภาพที่ 1)



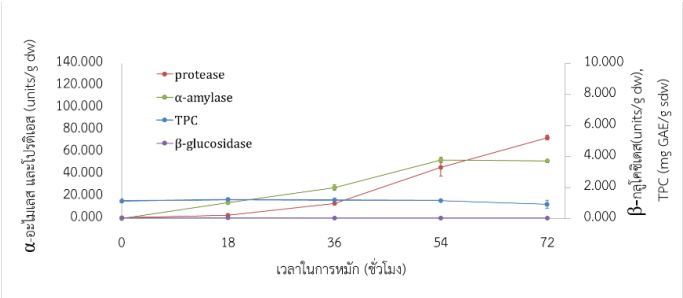

**ภาพที่ 1** การเปลี่ยนแปลง TPC และกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ในระหว่างการหมักนัตโตะกากถั่วดาวอินคา

จากการทดลองหมักเทมเป้ากากถั่วดาวอินคา ผลการทดลองพบว่า สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มอย่างต่อเนื่องในระหว่างการหมัก โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.70 เป็น 2.72 mg GAE/g sdw ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้นจาก 7.55-122.59 units/g dw, α-อะไมเลสเพิ่มขึ้นจาก 0.00-33.09 units/g dw และ β-กลูโคซิเดสเพิ่มขึ้นจาก 0.03-0.09 units/g dw ตลอดระยะเวลาการหมัก 0-24 ชั่วโมง (ภาพที่ 2)




**ภาพที่ 2** การเปลี่ยนแปลง TPC และกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ในระหว่างการหมักเทมเป้ากากถั่วดาวอินคา

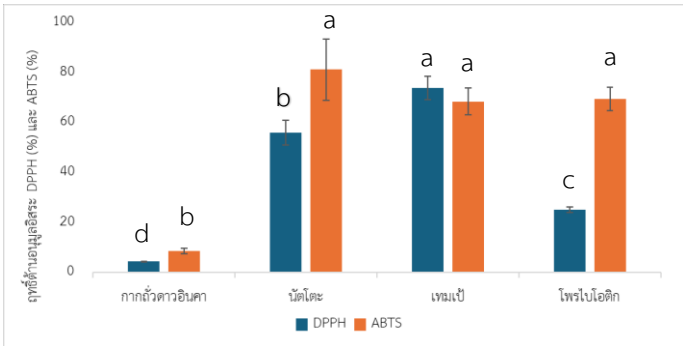
จากการทดลองหมักกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก ผลการทดลองพบว่า สารประกอบฟีนอลิกค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก โดยแปรผันอยู่ระหว่าง 1.13 ถึง 0.91 mg GAE/g sdw ขณะที่กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส และ α-อะไมเลส เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการหมัก โดยแปรผันอยู่ระหว่าง 0.59-73.07 units/g dw และ 0.00-51.96 units/g gw ตามลำดับ และกิจกรรมเอนไซม์ β-กลูโคซิเดส ค่อนข้างคงที่ในระหว่างการหมัก โดยแปรผันอยู่ระหว่าง 0.02-0.03 units/g gw ในช่วง 0-72 ชั่วโมง (ภาพที่ 3)




**ภาพที่ 3** การเปลี่ยนแปลง TPC และกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ในระหว่างการหมักกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก

4.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก

กากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการหมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เท่ากับ 4.35% และ 8.48% ตามลำดับ ภายหลังการหมักพบว่า นัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่ากากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเทมเป้กากถั่วดาวอินคาแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด เท่ากับ 73.84% รองลงมาได้แก่ นัตโตะกากถั่วดาวอินคา (DPPH เท่ากับ 56.01%) และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก (DPPH เท่ากับ 25.20%) ขณะที่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของตัวอย่างหมักทุกตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยตัวอย่างหมักทั้งสามตัวอย่างมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS แปรผันอยู่ระหว่าง 68.46% ถึง 81.23% (ภาพที่ 4)

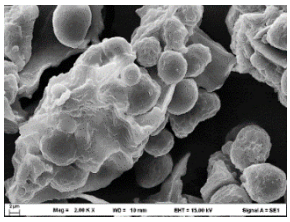
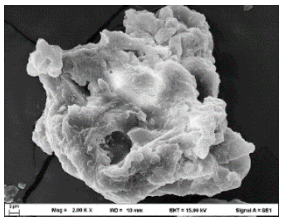


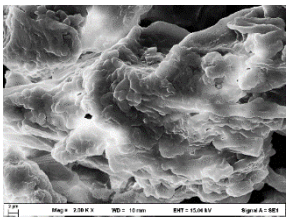
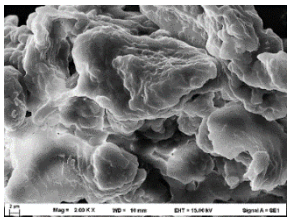

**ภาพที่ 4** ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) และ ABTS (%) ของกากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการหมักนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคาและกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติกภายหลังการหมัก

[a,b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายในฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระชนิดเดียวกัน

4.3 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของกากถั่วดาวอินคาไม่ผ่านกระบวนการหมัก และกากถั่วดาวอินคาหมักชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากภาพถ่าย SEM พบว่า กากถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (ภาพที่ 5ก) มีโครงสร้างผิวที่ค่อนข้างเรียบ ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผนังเซลล์ที่ยังไม่ถูกย่อยสลายและพบเม็ดสตาร์ช ในขณะที่กากถั่วดาวอินคาที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ต่างชนิด มีลักษณะผิวและโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน อีกทั้งไม่พบเม็ดสตาร์ช โดยเฉพาะในกลุ่มของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 5ข), เทมเป้กากถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 5ค) และโพรไบโอติกกากถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 5ง) ที่แสดงให้เห็นถึงพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเกิดการจากย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมัก

ก  ข 

ค  ง 

**ภาพที่ 5** แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของกากถั่วดาวอินคาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า โดยเปรียบเทียบตัวอย่าง 4 กลุ่ม ได้แก่ กากถั่วดาวอินคาที่ยังไม่ผ่านกระบวนการหมัก (ภาพที่ 5ก) นัตโตะกากถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 5ข) เทมเป้กากถั่วดาวอินคา (ภาพที่ 5ค) และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก (ภาพที่ 5ง)

4.4 ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาหมัก

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของสแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา (SN) สแนคที่มีส่วนผสมของเทมเป้กากถั่วดาวอินคา (ST) และสแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก (SP) จากผู้ทดสอบทั้งหมด 30 คน พบว่า ตัวอย่าง SP มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (6.4 คะแนน) รองลงมาได้แก่ SN (6.3 คะแนน) และ ST (5.3 คะแนน) ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความชอบด้านต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่าง SP และ SN มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี กลิ่นรส และรสชาติใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์สแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาหมักชนิดต่างๆ

| ผลิตภัณฑ์ | SN | ST | SP |
|---|---|---|---|
| ลักษณะปรากฏ | 6.5 ± 1.3 $^{ab}$ | 5.8 ± 1.3 $^{b}$ | 6.7 ± 1.6 $^{a}$ |
| กลิ่น | 6.3 ± 1.9 $^{ab}$ | 6.1 ± 1.9 $^{b}$ | 7.2 ± 1.6 $^{a}$ |
| สี | 6.9 ± 1.2 $^{a}$ | 5.9 ± 1.4 $^{b}$ | 6.9 ± 1.2 $^{a}$ |
| กลิ่นรส | 6.0 ± 1.2 $^{a}$ | 5.1 ± 1.6 $^{b}$ | 6.1 ± 1.6 $^{a}$ |
| รสชาติ | 6.1 ± 1.7 $^{a}$ | 4.9 ± 1.8 $^{b}$ | 5.8 ± 1.8 $^{ab}$ |
| ความชอบโดยรวม | 6.3 ± 1.6 $^{a}$ | 5.3 ± 1.3 $^{b}$ | 6.4 ± 1.6 $^{ab}$ |

$^{a,b,ab}$ คือ ค่าเฉลี่ยความชอบทางประสาทสัมผัสที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตัวอย่างแต่ละชนิด

SN คือ สแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา

ST คือ สแนคที่มีส่วนผสมของเทมเป้กากถั่วดาวอินคา

SP คือ สแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติ

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การหมักกากถั่วดาวอินคาด้วยจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* TISTR 001, *Rhizopus oligosporus* TISTR 3616 และ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ส่งผลให้เกิดการผลิตเอนไซม์ไฮโดรไลติกที่สำคัญ ได้แก่ โปรติเอส, α-อะไมเลส และ β-กลูโคซิเดส ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายสตาร์ช โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกรูปยึดเหนี่ยว (bound form) ซึ่งเป็นรูปที่ทำพันธะกับองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชเป็นรูปอิสระที่ละลายน้ำได้ (soluble free form) ทำให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นภายหลังการหมัก (Wang et al., 2021) โดยตัวอย่างนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติกมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นประมาณ 16.93, 3.88 และ 0.80 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนหมัก

นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของตัวอย่างหมักสูงขึ้น โดยนัตโตะกากถั่วดาวอินคา เทมเป้กากถั่วดาวอินคา และกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นประมาณ 12.88, 16.97 และ 5.79 เท่า ตามลำดับ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS เพิ่มขึ้นประมาณ 9.95, 8.07 และ 8.21 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนหมักผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Chen et al. (2020) ที่ระบุว่าการหมักด้วยจุลินทรีย์สามารถกระตุ้นการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกและเปปไทด์ออกมา ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระผ่านกลไกอิเล็กตรอนและจับกับสารอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS อย่างมีประสิทธิภาพ และ Reyes-Bastidas et al. (2010) รายงานว่าเทมเป้จากแป้งถั่วแขกที่หมักด้วย *Rhizopus oligosporus* มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นรวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการหมัก

จากภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นผิวของกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ต่าง ๆ มีลักษณะขรุขระและมีรูพรุน แสดงถึงการสลายตัวของผนังเซลล์อย่างชัดเจนซึ่งบ่งบอกถึงการย่อยสลายของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และโครงสร้างโปรตีนบางส่วน โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักมีบทบาทในการผลิตเอนไซม์ เช่น โปรติเอส อะไมเลส และเซลลูเลส ที่ช่วยในการทำลายโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช (Wang et al., 2021; Zhang et al., 2020)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า สแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติก สแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคา และสแนคที่มีส่วนผสมของเทมเป้กากถั่วดาวอินคาได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 5 คะแนน อย่างไรก็ตามสแนคที่มีส่วนผสมของกากถั่วดาวอินคาโพรไบโอติกและสแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคาได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อย ขณะที่สแนคที่มีส่วนผสมของเทมเป้กากถั่วดาวอินคาได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับเฉย ๆ ทั้งนี้ทุกผลิตภัณฑ์มีกลิ่นถั่วดาวอินคาค่อนข้างแรง มีรสขมและฝาด ทำให้มีผลเชิงลบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดลองสรุปได้ว่า กระบวนการหมักสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะนัตโตะกากถั่วดาวอินคามีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างหมักอื่น ๆ นอกจากนี้สแนคที่มีส่วนผสมของนัตโตะกากถั่วดาวอินคาได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ งานวิจัยนี้สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ ช่วยลดของเสียจากภาคอุตสาหกรรม และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

**6. เอกสารอ้างอิง**

Bei, W., Guo, J., & Xiang, J. (2017). Effects of fermentation on the antioxidant activity in peanut milk. *Food Science and Biotechnology, 26*(5), 1361–1367. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0191-5

Chen, H., Liu, H., Sun, L., Wu, H., Du, B., & Xu, Y. (2020). Enhancement of antioxidant activity, phenolic release, and bioaccessibility of buckwheat hull by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*. *LWT – Food Science and Technology, 127*, 109388. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109388

Dai, Y., Miao, J., Yuan, S., Zhang, Y., Li, X., & Wang, S. (2017). Improvement of nutritional and functional properties of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*. *LWT - Food Science and Technology, 86*, 597–604. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.001

Frias, J., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., & Vidal-Valverde, C. (2017). Fermented pulses in nutrition. *In Fermented foods in health and disease prevention*, 385–412. Academic Press.

Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(6), 1841–1856. https://doi.org/10.1021/jf030723c

Li, X., Wang, W., & Shi, X. (2020). Optimization of *Lactobacillus acidophilus* fermentation conditions for enhancement of antioxidant activity of wheat bran. *Journal of Food Processing and Preservation, 44*(7), e14525. https://doi.org/10.1111/jfpp.14525

Pradhananga, R. (2018). Fermentation of soybean meal with *Bacillus subtilis* to improve digestibility and nutritional value. *International Journal of Food Studies, 7*, 90–98. https://doi.org/10.7455/ijfs/7.1.2018.a7

Razak, D. L. A., Rashid, N. R. A., Jamaluddin, A., & Mahmod, N. Z. C. (2015). Fermentation of soybean meal by Rhizopus oligosporus to improve the nutrient contents. *International Food Research Journal, 22*(5), 1977–1983.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology, 299*, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Wang, K., Wu, S., Li, P., Xiao, N., Wen, J., Lin, J., Lu, S., Cai, X., Xu, Y., & Du, B. (2022). Sacha inchi oil press cake protein hydrolysates exhibit anti-hyperuricemic activity via attenuating renal damage and regulating gut microbiota. *Foods, 11*(16), 2534. https://doi.org/10.3390/foods11162534

# กลุ่มบทความที่ 4
# การสอนวิทยาศาสตร์

# การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องโมเมนตัมและการชน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

# Enhancing Physics Achievement in Momentum and Collision Topics for Secondary School Students Using STAD Cooperative Learning Integrated with Virtual Interactive Simulation

**อทิตยาภรณ์ จิตรพงษ์[1], ทิพย์วรรณ หงกะเชิญ[1]*, สุพิชชาพร ทองแกมแก้ว[2]**

**Athittayaporn Chitphong[1], Tippawan Hongkachern[1]*, Supitchaporn Tongkamkaew[2]**

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[1]Physics Program, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, athittxyxx@gmail.com, tippavan.ho@bsru.ac.th

[2]โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน

[3]Rattanakosinsompoch Bangkhen School, supitchaporn4@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน จำนวน 36 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้การวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โมเมนตัมและการชน แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบค่าที (t-test dependent sample) ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจมีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง อยู่ในระดับมาก

**คำสำคัญ:** ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

**Abstract**

The objectives of this research were to compare students' learning achievement in physics before and after participating in cooperative learning using the STAD technique combined with virtual simulation media, and to investigate students' satisfaction towards this instructional approach. The sample consisted of 36 Grade 10 students from Rattanakosinsompoch Bangkhen School, selected by cluster sampling in the second semester of the 2024 academic year. The research instruments included a cooperative learning lesson plan using the STAD technique integrated with virtual simulation media, a learning achievement test on the topic of momentum and collision, and a student satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean, standard deviation, and dependent sample t-test. The results revealed that students' post-instruction learning achievement in physics on the topic of momentum and collision, through cooperative learning with the STAD technique and virtual simulation media, was significantly higher than their pre-instruction achievement at the .05 level of significance. Furthermore, students' satisfaction with the cooperative learning approach using the STAD technique and virtual simulation media was at a high level.

**Keywords:** Academic Achievement, Cooperative Learning with the STAD Technique, Virtual Simulation Media

**1. บทนำ**

ในการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่ประสบปัญหาในการเข้าใจเนื้อหาและไม่สามารถนำความรู้มาเชื่อมโยงกับประสบการณ์จริงในชีวิตประจำวันได้ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาของนักเรียนยังอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง จากประสบการณ์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูในโรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน โดยผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 พบว่านักเรียนขาดความเข้าใจในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ รวมถึงขาดความกระตือรือร้นในการเรียน และมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ค่อนข้างต่ำ ส่วนหนึ่งมาจากโอกาสในการลงมือปฏิบัติจริงมีจำกัด เนื่องด้วยอุปกรณ์การทดลองหรือการสาธิตมีไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับจำนวนนักเรียน และกิจกรรมที่ใช้ในการทดลองยังไม่ครอบคลุมหัวข้อสำคัญที่เรียนในรายวิชา แม้ว่านักเรียนจะแสดงความสนใจอย่างชัดเจนเมื่อได้เข้าร่วมกิจกรรมทดลองหรือสาธิต แต่ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวทำให้กิจกรรมเหล่านี้เกิดขึ้นได้ไม่บ่อยครั้ง บริบทเหล่านี้ล้วนส่งผลให้การเชื่อมโยงองค์ความรู้กับสถานการณ์ในชีวิตจริงยังไม่เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ยังคงเน้นรูปแบบการบรรยายเป็นหลักเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและปริมาณเนื้อหาที่ต้องถ่ายทอด ซึ่งวิธีการสอนที่เน้นการบรรยายหน้าชั้นเรียนเป็นหลักมีข้อจำกัดต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาของผู้เรียน (Srisawasdi, 2014) ร่วมทั้งมีข้อจำกัดในการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์อยู่ในระดับที่ยังต้องพัฒนา

การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD (Student Teams-Achievement Divisions) ได้รับการยืนยันว่าเป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากส่งเสริมการมีส่วนร่วมแบบกลุ่มย่อย การช่วยเหลือร่วมกัน และความรับผิดชอบส่วนบุคคล (Slavin, 2014) กลไกหลักของ STAD ประกอบด้วยการแบ่งนักเรียนออกเป็นทีมที่มีความหลากหลายทางวิชาการ สมาชิกช่วยกันศึกษาความรู้หลัก จากนั้นทำแบบทดสอบรายบุคคลและนำคะแนนมารวมเป็นคะแนนกลุ่ม (Johnson & Johnson, 2018) ขณะเดียวกันการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง (Virtual Simulation) เป็นเครื่องมือที่ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในแนวคิดทางฟิสิกส์ได้

อย่างมีประสิทธิภาพ สื่อเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนสามารถทดลองและเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ซึ่งการออกแบบให้ผู้เรียน ได้รับประสบการณ์ตรงผ่านสถานการณ์จำลอง (Simulation Based Learning) เป็นอีกหนึ่งแนวทางการจัดการเรียนรู้ โดยการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองนี้จะช่วยให้ผู้เรียนได้ วิเคราะห์สถานการณ์ที่ครูได้จำลองขึ้นมา ผ่านบริบท ฉาก หรือสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ โดยมักจะเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง (Virtual Simulation Media) เช่น PhET Interactive Simulations ช่วยให้นักเรียนสำรวจปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่สังเกตได้ยากในห้องปฏิบัติการจริง เช่น การชนในมิติต่าง ๆ หรือการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมแบบทันทีทันใด (Dede, 2009) การวิเคราะห์อภิมานของ Antonio and Castro (2023) พบว่าสื่อจำลองเสมือนมีผลกระทบเชิงบวกขนาดใหญ่ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ (g = 0.941) โดยเฉพาะเมื่อผนวกกับกลยุทธ์การเรียนเชิงรุก การผสานเทคนิค STAD กับสื่อจำลองเสมือนจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจาก STAD สนับสนุนปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ขณะที่สื่อเสมือนเปิดโอกาสให้นักเรียนทดลองและแก้ปัญหาได้อย่างอิสระ (Hwang, Wu. & Chen, 2012) งานวิจัยของ Ghiffary (2022) ที่ใช้ STAD ร่วมกับ PhET Simulation ในหัวข้อโมเมนตัมและการชน พบว่านักเรียนมีคะแนนการเรียนรู้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (N-gain 63.87%) และมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากขึ้น แม้จะมีหลักฐานสนับสนุนประสิทธิภาพของทั้งสองแนวทาง แต่การประยุกต์ใช้ร่วมกันในบริบทการศึกษาของประเทศไทยยังมีการศึกษาค่อนข้างจำกัด โดยการเรียนรู้ฟิสิกส์ในหัวข้อ โมเมนตัมและการชน เป็นพื้นฐานสำคัญของกลศาสตร์คลาสสิก แต่นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมักประสบปัญหาการทำความเข้าใจ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ เรื่องโมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### ประชากรและการกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 397 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 1 ห้องเรียน 36 คน ได้มาจากการสุ่มแบบแบ่งกลุ่มโดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

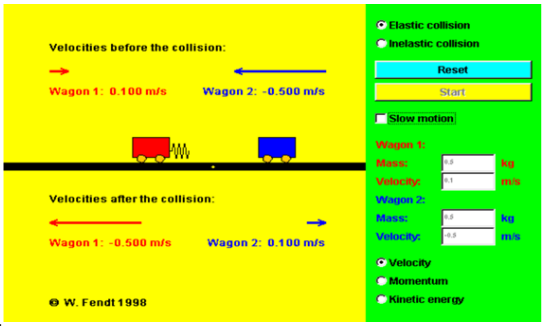
### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลอง เสมือนจริง เรื่องโมเมนตัมและการชน ในหัวข้อย่อย จำนวน 4 แผน ได้แก่ 1) โมเมนตัม 2) การดล 3) การอนุรักษ์โมเมนตัม และ 4) การชนและการดีดตัวแยกจากกัน แผนละ 2 คาบ รวมทั้งหมดจำนวน 8 คาบ ซึ่งเป็นแผนที่มีการจัดการเรียนรู้ตามลำดับ 5 ขั้นการสอน ได้แก่ 1) ขั้นนำเสนอเนื้อหา

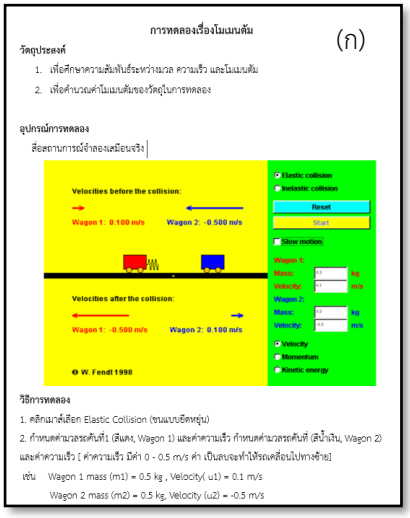
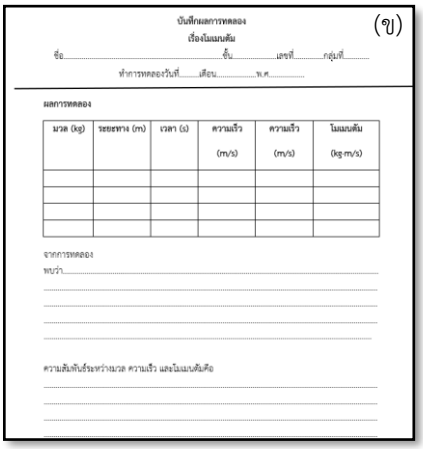
โดยครูเป็นผู้นำเสนอสิ่งที่นักเรียนต้องเรียน ไม่ว่าจะเป็นมโนทัศน์ ทักษะและ/หรือกระบวนการ การนำเสนอสิ่งที่ต้องเรียน โดยในขั้นนี้ครูจะใช้สื่อการสถานการณ์จำลองเสมือนจริงร่วมด้วย 2) ขั้นทำกิจกรรมกลุ่มย่อย โดยครูจะแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยนักเรียนประมาณ 4-5 คน ที่มีความสามารถแตกต่างกัน มีทั้งเพศหญิงและเพศชาย และมีหลายเชื้อชาติ ครูต้องชี้แจงให้นักเรียนในกลุ่มได้ทราบถึงหน้าที่ของสมาชิกในกลุ่มว่านักเรียนต้องช่วยเหลือกันเรียนร่วมกันอภิปรายปัญหาร่วมกัน ตรวจสอบคำตอบของงานที่ได้รับมอบหมายและแก้ไขคำตอบร่วมกัน โดยใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริงเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติและแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ร่วมกันเป็นกลุ่ม 3) ขั้นทดสอบย่อย โดยนักเรียนแต่ละกลุ่มทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ครูก็ทำการทดสอบย่อยนักเรียน โดยนักเรียนต่างคนต่างทำ เพื่อเป็นการประเมินความรู้ที่ นักเรียนได้เรียนมา สิ่งนี้จะเป็นตัวกระตุ้นความรับผิดชอบของนักเรียน 4) ขั้นสรุปบทเรียนและยกย่องชมเชย คะแนนพัฒนาการของนักเรียนจะเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนทำงานหนักขึ้น 5) ขั้นรับรองผลงานของกลุ่ม โดยการประกาศคะแนนของกลุ่มแต่ละกลุ่มให้ทราบพร้อมกับให้คำชมเชย หรือให้ประกาศนียบัตรหรือให้ รางวัลกับกลุ่มที่มีคะแนนพัฒนาการของกลุ่มสูงสุด โปรดจำไว้ว่า คะแนนพัฒนาการของนักเรียนแต่ละคนมีความสำคัญเท่าเทียมกับคะแนนที่นักเรียนแต่ละคนได้รับจากการทดสอบ เมื่อนำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 4 แผนให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

**ตารางที่ 1** ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนการสอนในแผนการจัดการเรียนรู้ แผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง เรื่องโมเมนตัม

| ลำดับขั้นการสอน | กิจกรรมการเรียนการสอน |
|---|---|
| 1. ขั้นนำเสนอเนื้อหา | - ครูเปิดคลิปวิดีโอสั้น ๆ เกี่ยวกับการชนกันในกีฬาหรืออุบัติเหตุ เพื่อแสดงภาพตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน และใช้คำถามเชื่อมโยงระหว่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับแนวคิดทางฟิสิกส์ เช่น "ทำไมวัตถุที่มีมวลและความเร็วมากถึงสร้างผลกระทบที่ใหญ่กว่า"<br>- ครูเปิดสื่อจำลองเสมือนจริง (Apps on Physics Walter-Fendt) ที่แสดงการชนระหว่างวัตถุสองชิ้น และให้ผู้เรียนสังเกตความแตกต่างของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงมวล พร้อมอธิบายวิธีการใช้งานสื่อ<br>- ครูอธิบายนิยามของโมเมนตัม |




**ภาพที่ 1** สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง (Apps on Physics Walter-Fendt) หัวข้อโมเมนตัม

| ลำดับขั้นการสอน | กิจกรรมการเรียนการสอน |
|---|---|
| 2. ขั้นทำกิจกรรมกลุ่มย่อย | - ครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนค้นหาคำตอบ นักเรียนคิดว่ามวลและความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อโมเมนตัมอย่างไร<br>- แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มย่อยและมอบหมายให้แต่ละกลุ่มใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง (Apps on Physics Walter-Fendt) ทำการทดลองเพื่อหาคำตอบ โดยให้แต่ละกลุ่มปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น มวล ความเร็ว และแรงกระทำ เพื่อคำนวณโมเมนตัมและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในสถานการณ์ต่าง ๆ<br>  <br>(ก)<br>  <br>(ข)<br>**ภาพที่ 2** (ก) เอกสารแนะนำการทดลอง และ (ข) ใบบันทึกผลการทดลอง<br>- นักเรียนทำการบันทึกผลจากการทดลองในสื่อจำลอง และคำนวณค่าโมเมนตัมและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม |
| 3. ขั้นทดสอบย่อย | นักเรียนทำแบบทดสอบย่อยผ่าน Google form โดยนักเรียนแต่ละคนจะทำแบบทดสอบด้วยตัวเองโดยไม่มีการช่วยเหลือกัน แบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือกจำนวน 5 ข้อ |
| 4. ขั้นสรุปบทเรียนและยกย่องชมเชย | - ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสาระสำคัญในบทเรียนลงในใบงาน<br>- ครูตรวจสอบผลการสอบของนักเรียนในการทำแบบทดสอบเป็นคะแนนรายบุคคล พร้อมแจ้งคะแนนรายบุคคล ยกย่องชมเชยคนที่มีคะแนนรายบุคคลและคะแนนพัฒนาการสูง 3 ลำดับแรก |
| 5. ขั้นรับรองผลงานของกลุ่ม | - ครูนำคะแนนพัฒนาการของสมาชิกในกลุ่มไปแปลงเป็นคะแนนกลุ่ม (Team Score)<br>- ครูประกาศคะแนนของกลุ่มแต่ละกลุ่มให้ทราบพร้อมให้คำชมเชย ยกย่องชมเชยและให้รางวัลสำหรับกลุ่มที่คะแนนพัฒนาการกลุ่มสูงที่สุดเป็นคะแนนสะสม |

2. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โมเมนตัมและการชน เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบจำนวน 30 ข้อ นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านประเมินความสอดคล้อง ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ และนำไปใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แล้วนำผลที่ได้มาพิจารณาคัดเลือกข้อสอบที่ใช้ได้จำนวน 20 ข้อ ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ค่าความยากง่าย (p) 0.20-0.80 อำนาจจำแนก (r) 0.20-0.33 และค่าความเชื่อมั่น (KR-20) 0.81

3. แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ของลิเคิร์ท (Likert Scale) จำนวน 20 ข้อ นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านประเมินความสอดคล้อง พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

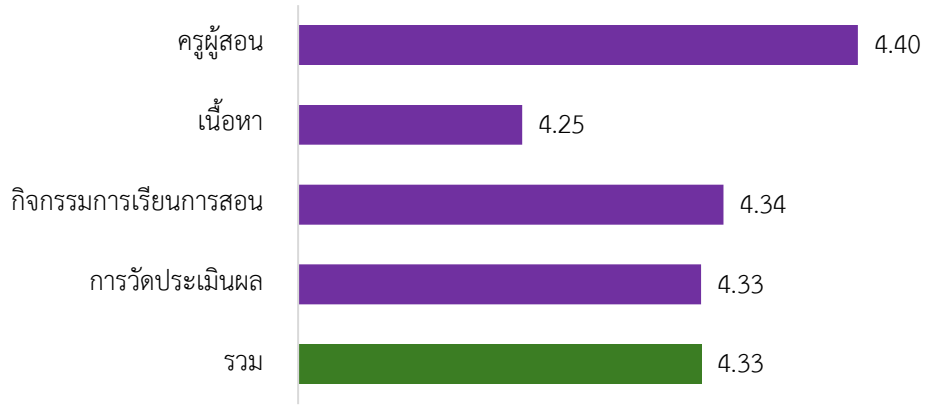
## 4. ผลการวิจัย

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ก่อนและหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

| การทดสอบ | df | $\bar{x}$ | *S.D.* | t | p-value |
|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนเรียน | 35 | 4.94 | 2.45 | -19.51* | .00 |
| หลังเรียน | | 15.50 | 4.46 | | |

* p< .05

จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังการได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง ของนักเรียนจำนวน 36 คน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน พบว่ามีค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนเท่ากับ 4.94 (S.D. = 2.45) และหลังเรียนเท่ากับ 15.50 (S.D.= 4.6) เมื่อทดสอบค่าที (t-test) พบว่าค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05




**ภาพที่ 3** ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

จากภาพที่ 3 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง โดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวม 4.33 (S.D. = 0.76) เมื่อศึกษารายด้านได้แก่ด้าน พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากทั้ง 4 ด้าน โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านครูผู้สอนมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.40 (S.D. = 0.70) รองลงมาเป็นด้าน กิจกรรมการเรียนการสอน มีค่าเฉลี่ย 4.34 (S.D. = 0.70) ด้านการวัดประเมินผล มีค่าเฉลี่ย 4.33 (S.D. = 0.76) และ ด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.25 (S.D. = 0.82) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อของแต่ละด้านแสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

| รายการ | $\overline{X}$ | S.D. | ระดับความพึงพอใจ |
|---|---|---|---|
| **ด้านครูผู้สอน** | | | |
| 1. ครูชี้แจงกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือให้นักเรียนเข้าใจอย่างชัดเจน | 4.32 | 0.69 | มาก |
| 2. ครูจัดแบ่งกลุ่มนักเรียนโดยคละความสามารถอย่างเหมาะสม | 4.24 | 0.72 | มาก |
| 3. ครูให้คำปรึกษา แนะนำ ดูแลนักเรียนในการเรียนรู้อย่างทั่วถึง | 4.48 | 0.71 | มาก |
| 4. ครูส่งเสริมให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ | 4.40 | 0.71 | มาก |
| 5. ครูให้การเสริมแรงโดยการให้รางวัลแก่กลุ่มที่ทำกิจกรรมสำเร็จสูงสุด | 4.56 | 0.65 | มากที่สุด |
| **รวมด้านครูผู้สอน** | **4.40** | **0.70** | **มาก** |
| **ด้านเนื้อหา** | | | |
| 6. ความยากง่ายของเนื้อหาเหมาะสมกับความสามารถของนักเรียน | 4.28 | 0.79 | มาก |
| 7. เนื้อหา ภาษา รูปแบบตรงกับความสามารถของนักเรียน | 4.16 | 0.80 | มาก |
| 8. เนื้อหาเรียงลำดับจากง่ายไปสู่ยาก | 4.36 | 0.91 | มาก |
| 9. การจัดเนื้อหาเหมาะสมกับเวลาเรียน | 4.20 | 0.82 | มาก |
| **รวมด้านเนื้อหา** | **4.25** | **0.82** | **มาก** |
| **ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน** | | | |
| 10. นักเรียนใช้สื่อสารการเรียนรู้ต่าง ๆ ร่วมกัน | 4.36 | 0.76 | มาก |
| 11. นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมร่วมกัน | 4.40 | 0.76 | มาก |
| 12. นักเรียนได้อธิบายความรู้ให้สมาชิกอื่น ๆ ในกลุ่มฟัง | 4.20 | 0.82 | มาก |
| 13. นักเรียนมีการแลกเปลี่ยนแสดงความคิดเห็นซึ่งกันและกัน | 4.32 | 0.75 | มาก |
| 14. นักเรียนได้ฝึกทักษะการสื่อสารระหว่างสมาชิก เช่น การเป็นผู้นำ การตัดสินใจ การแก้ปัญหา ฯลฯ | 4.40 | 0.76 | มาก |
| 15. ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมไปตามลำดับขั้นตอน | 4.36 | 0.76 | มาก |
| **รวมด้านกิจกรรมการเรียนการสอน** | **4.34** | **0.76** | **มาก** |

| รายการ | $\overline{X}$ | S.D. | ระดับความพึงพอใจ |
|---|---|---|---|
| **ด้านการวัดและประเมินผล** | | | |
| 16. การประเมินผลมีการประเมินผลการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคลและของกลุ่ม | 4.28 | 0.79 | มาก |
| 17. มีการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการเรียนรู้ | 4.16 | 0.80 | มาก |
| 18. มีการประเมินพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียน | 4.36 | 0.76 | มาก |
| 19. ผู้เรียนทราบผลการเรียนรู้ของตัวเองและของกลุ่ม | 4.40 | 0.76 | มาก |
| 20. การประเมินผลครอบคลุมเนื้อหาที่เรียน | 4.44 | 0.77 | มาก |
| **รวมด้านการวัดและประเมินผล** | **4.33** | **0.77** | **มาก** |
| **รวม** | **4.33** | **0.76** | **มาก** |

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด ในข้อ “ครูให้การเสริมแรงโดยการให้รางวัลแก่กลุ่มที่ทำกิจกรรมสำเร็จสูงสุด” ค่าเฉลี่ย 4.56 (S.D. = 0.65) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมาเป็น “ครูให้คำปรึกษา แนะนำ ดูแลนักเรียนในการเรียนรู้อย่างทั่วถึง” ค่าเฉลี่ย 4.48 (S.D. = 0.71) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และนักเรียนมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุดในข้อ “มีการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการเรียนรู้” ค่าเฉลี่ย 4.16 (S.D. = 0.80) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องโมเมนตัมและการชน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่องโมเมนตัมและการชนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง หลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยจำนวนนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนคิดเป็นร้อยละ 100 อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค STAD เน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้เป็นกลุ่มย่อยโดยคละความสามารถจากนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เก่ง ปานกลาง และอ่อนมาทำงานร่วมกันโดยสมาชิกในกลุ่มต้องช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และมีความสามัคคีกันภายในกลุ่ม ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน ความสำเร็จของกลุ่มจะขึ้นอยู่กับสมาชิกทุกคนในกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภาริตา ตันเจริญ (2561) ที่พบว่านักเรียนที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาทักษะชีวิตด้วยการใช้กิจกรรมการเรียนแบบร่วมมือเทคนิค STAD มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghiffary (2022) ที่พบว่านักเรียนระดับมัธยมกลุ่มที่ใช้การเรียนรู้ STAD พร้อมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองแบบโต้ตอบ PhET มีการพัฒนาผลการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์สูงขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ใช้วิธีการเรียนรู้แบบดังเดิม และยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการรวมเทคนิคเช่น STAD กับสื่อสถานการณ์จำลองการจำลองเสมือนจริงแบบตอบโต้ เช่น PhET Interactions ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ (Tataru et al., 2022) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ STAD ร่วมกับสื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริงช่วยให้นักเรียนได้อภิปราย ทดลอง และแก้ปัญหาร่วมกัน ซึ่งการ

ทดลองในสื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริงเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละคนในกลุ่มได้ลงมือปฏิบัติซ้ำ ๆ และสังเกตผลได้อย่างชัดเจน จึงช่วยเพิ่มความเข้าใจในการเรียนมายิ่งขึ้น โดยนักเรียนได้เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่มสามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายในกลุ่มจึงช่วยพัฒนาสัมฤทธิ์ทางการเรียนของสมาชิกภายในกลุ่มได้

ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง พบว่ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.33 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่ามีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือด้าน ครูผู้สอน โดยครูให้การเสริมแรงโดยการให้รางวัลแก่กลุ่มที่ทำกิจกรรมสำเร็จสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภานุวัฒน์ คำภู และคณะ (2567) พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือตามเทคนิค STAD ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ “ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน” และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Almasri (2022) ที่พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจต่อการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริงแบบตอบโต้ PhET ทั้งนี้อาจเนื่องมาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นแบบกระบวนการกลุ่ม ช่วยเหลือซึ่งกัน มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นตลอดจนการช่วยเหลือในการเรียนทำให้บรรยากาศในห้องเรียนเป็นกันเองและลดความตึงเครียด การเสริมแรงจากการยกย่องชมเชยและให้รางวัลทำให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นในการเรียน และการใช้สื่อช่วยให้ผู้เรียนได้ทดลองและสำรวจเนื้อหาด้วยตนเอง เพิ่มความสนุกและความตื่นเต้นในการเรียน

**ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป**

1. ควรศึกษาวิจัยตัวแปรตามอื่น ๆ เช่นความสามารถในการแก้ปัญหา การทำงานเป็นทีมหรือ เจตคติต่อการเรียนด้วยร่วมมือแบบ STAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง

2. ควรนำวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบSTAD ร่วมกับการใช้สื่อสถานการณ์จำลองเสมือนจริง ไปใช้กับหัวข้ออื่น ๆ เช่น เรื่องงานและพลังงาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหาร คณะครูและนักเรียนโรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางเขน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

พชรพร กิจพิบูลย์, ศรัณย์ ภิบาลชนม์ และ ธนาวุฒิ ลาตวงษ์. (2562). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะการแก้โจทย์ปัญหาและเจตคติที่มีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ชั้น (7E) ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. *วารสารวิชาการแสงอีสาน*, *16*(1), 168-178. https://so01.tci-thaijo.org/index.php/jsi/article/view/187059/136204

ภริตา ตันเจริญ. (2561). *ผลการใช้กิจกรรมการเรียนแบบร่วมมือเทคนิค STAD เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาทักษะชีวิตเรื่องระบบนิเวศสำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ.* [วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (หลักสูตรและการสอน)]. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภานุวัฒน์ คำภู, ทิพย์อุบล ทิพเลิศ และ วิศรุต พยุงเกียรติคุณ. (2567). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้การจัดการเรียนรู้ แบบร่วมมือตามเทคนิค STAD สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, *23*(1), 1–10. https://doi.org/10.55003/JIE.23104

Almasri, F. (2022). Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Educ Inf Technol.,* 27, 7161–7181. https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w

Antonio, R. P., & Castro, R. C. (2023). Effectiveness of virtual simulations in improving secondary students' physics achievement. *International Journal of Instruction*, *16*(2), 539–556. https://www.e-iji.net/dosyalar/iji_2023_2_29.pdf

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, *323*(5910), 66-69.

Ghiffary, Z. A. (2022). Implementing STAD cooperative learning model integrated interactive PhET simulation to enhance high school students' learning outcomes: a case of momentum-impulse concepts. *Research in Physics Education, 1*(1), 25–32. https://doi.org/10.31980/ripe.v1i1.20

Hsu, Y.-S. (2020). *STEM education: Theory and practice*. Springer.

Hwang, G.-J., Wu, P.-H., & Chen, C.-C. (2012). An online game approach for improving students' learning performance in web-based problem-solving activities. *Computers & Education*, *59*(4), 1246–1256. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.009

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2018). *Cooperative learning: The foundation for active learning*. Active Learning - Beyond the Future. https://doi.org/10.5772/intechopen.81086

Slavin, R. E. (2014). Cooperative learning and academic achievement: Why does groupwork work?. *Anales de Psicología*, *30*(3), 785–791. https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.201201

Srisawasdi, N. (2014). The role of technology in supporting students' conceptual understanding of force and motion in physics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *116*, 2153–2157. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.536

Tataru, M., Berzescu, S., Vert, S., Mihaescu, V., Stamatoiu, R., & Vasiu, R. (2022). *Designing Applications for Collaborative Learning in Virtual Reality*. 1–4. https://doi.org/10.1109/ISETC56213.2022.10010175

# การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน เพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

# The Development of a Challenge-Based Learning Model Integrated with Blended Learning to Enhance Creativity and Innovation Skills of Grade 12 Students

**อังคนา จันทรประเสริฐ**

**Angkana Chantaraprasert**

โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม

Phichit Pittayakhom School, angnanay2517@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ 2) สร้างและตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 3) ทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ และ 4) ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม จำนวน 1 ห้องเรียน 40 คน ได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประสิทธิภาพ (E1/E2) และ t-test for one sample ผลการวิจัย พบว่า 1) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ คือ 1) หลักการ 2) วัตถุประสงค์ 3) เนื้อหา 4) กระบวนการจัดการเรียนรู้ มี 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) ขั้นจุดประกายความคิด (2) ขั้นพิชิตด้วยคำถามสำคัญ (3) ขั้นนำไปสู่ความท้าทาย (4) ขั้นคลายปัญหาและลงมือปฏิบัติ (5) ขั้นวัดและประเมินผลตามจริง (6) ขั้นทุกสิ่งนำสู่สาธารณชน และ 5) การวัดและประเมินผล และการตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า มีประสิทธิภาพในภาพรวมเท่ากับ 80.48/80.30 เป็นไปตามเกณฑ์ 75/75 2) ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ พบว่า ภาพรวมมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด

**คำสำคัญ:** รูปแบบการจัดการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน การเรียนรู้แบบผสมผสาน ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม

**Abstract**

The research on Development of a challenge-based learning model integrated with blended learning to enhance creativity and innovation skills of Grade 12 students, the objective were to: 1) study basic information with learning management models, 2) create and check the quality with learning management model, 3) experiment with learning management model, and 4) assess student satisfaction with learning management. The sample group was Grade 12 students at Phichit Pittayakhom School, 1 classroom, 40 people, obtained from random group sampling, using the classroom as a random unit. The research tools included a suitability and feasibility assessment form, a creativity and innovation skills assessment form, an academic achievement test, and student satisfaction assessment forms. Data were analyzed using mean, standard deviation, efficiency ($E_1/E_2$), and one-sample *t*-test. The research found that 1) the developed learning model comprises five components: 1) principles, 2) objectives, 3) content, 4) a six step learning management; (1) proposing ideas, (2) identifying main questions, (3) completing challenges, (4) moving from action to solution, (5) evaluation and assessment, and (6) publishing; and measurement and 5) evaluation, as the overall format performance was 80.48/80.30, meeting the 75/75 criteria for creative and innovative skills. 2) the results of the experiment using the learning management model found that students had creative and innovative skills, and academic achievement were significantly higher than before for the specified criteria at the .01 level of significance, and 3) the results of the evaluation of student satisfaction with learning management found that the overall level of satisfaction was the highest.

**Keywords:** Learning management model, Challenge-based learning, Blended learning, Creative and innovative skills

## 1. บทนำ

โลกในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว จากการที่มนุษย์ประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในทุกด้านของชีวิต มนุษย์จึงต้องเรียนรู้ที่จะปรับตัวเพื่อความอยู่รอดโดยการปรับเปลี่ยนมุมมองรวมถึงการฝึกฝนทักษะต่าง ๆ เพื่อให้ตนเป็นที่ยอมรับและเป็นสมาชิกในสังคมอย่างปกติสุข การสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) จึงกลายเป็นความสามารถที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบันและอนาคต (Partnership for 21st Century Skills, 2007)

ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นหนึ่งในเป้าหมายในการพัฒนากำลังคนของประเทศ ในการพาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน สร้างคน สร้างนวัตกรรมเพื่อสร้างความพร้อมในการขับเคลื่อนองค์กรให้สอดคล้องกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งเป็นโมเดลการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม ในการพัฒนาประเทศไปสู่ความมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืน (สุวิทย์ เมษินทรีย์, 2559) ดังที่แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 – 2579 มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะศตวรรษที่ 21 ซึ่งในที่นี้รวมถึง ทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งเป็นทักษะเชิงประยุกต์ที่ต้องผสมผสานทักษะต่างๆ เข้าด้วยกัน ใช้ความรู้ จินตนาการ ความคิดสร้างสรรค์ และความร่วมมือ ทำให้เกิดนวัตกรรมที่อาจอยู่ในรูปแบบของ ความคิด วิธีการหรือสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ โดยอาจเป็นสิ่งใหม่ทั้งหมดหรือใหม่เพียงบางส่วนและอาจใหม่ในบริบทใดบริบทหนึ่ง (วิชัย วงษ์ใหญ่, 2562)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน (Challenge Based Learning) มีแนวคิดที่น่าสนใจเป็นแนวทางใหม่ ที่จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม กล่าวคือเป็นการจัดการเรียนรู้ที่กระตุ้นให้ผู้เรียนได้ใช้ความคิดและจินตนาการ มีการทำงานร่วมกันหรือลงมือปฏิบัติสิ่งใดสิ่งหนึ่งร่วมกันทุกคน ซึ่งวิธีการนี้ผู้สอนจะต้องนำเสนอแนวคิดที่สำคัญให้กับผู้เรียน โดยแนวคิดนี้จะถูกอภิปรายเพื่อค้นหาคำถามสำคัญให้ผู้เรียนวิเคราะห์คำถามและกำหนดความท้าทายซึ่งความท้าทายนั้นจะได้รับการแก้ไขปัญหาโดยตัวผู้เรียนผ่านการทำงานร่วมกันทั้งเพื่อนในห้องเรียน ผู้สอน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับบริบทนั้น ๆ (Conde-González et al., 2019) นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานเป็นการจัดการเรียนการรู้ในรูปแบบพหุวิทยาการใช้องค์ความรู้หลายสาขาวิชาหลายศาสตร์มาผสมผสานในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ให้เกิดเป็นความรู้ใหม่ ให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีมโดยมีจุดเน้นสำคัญอยู่ที่การท้าทายให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงแก้ไขปัญหาเหล่านั้นให้ได้ (Apple Inc, 2009) และการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) เป็นการเรียนที่ผสมกันระหว่างการเรียนแบบเผชิญหน้าและการเรียนออนไลน์ (Allen and Seaman, 2010) โดยนักเรียนสามารถควบคุมตัวแปรทางการเรียนรู้ด้วยตนเองทั้งในด้านเวลา สถานที่ แนวทางการเรียนรู้และอัตราการเรียนรู้ของตนเอง (Horn and Heather Staker, 2011) ทำให้การเรียนรู้แบบผสมผสานสามารถสนับสนุนและเสริมสร้างการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้นได้ ทั้งยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะด้านการปฏิบัติได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการออกแบบและพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้มากที่สุด ต้องคำนึงถึงประโยชน์สูงสุดของผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นรูปแบบที่จะสามารถใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (World Economic Forum, 2016)

หลังจากทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว ผู้วิจัยจึงดำเนินการออกแบบรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้สอดคล้องกับรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนต่อยอดเป็นองค์ความรู้ใหม่ได้ด้วยตนเอง โดยมุ่งให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาไปพร้อมกับการส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมแสดงความคิดออกมาเป็นรูปธรรม รู้สึกท้าทายและเกิดความมั่นใจในการเรียน ส่งผลให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จและดำรงชีวิตประจำวันได้อย่างปกติสุข ผู้วิจัยจึงคิดค้นการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

1. เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
2. เพื่อสร้างและตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
3. เพื่อทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
4. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการวิจัยโดยใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ใช้แบบแผนการวิจัยกลุ่มเดียวทดสอบหลังการทดลอง (One-Group Posttest Design)

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม 1 ห้องเรียน จำนวน 40 คน ที่เรียนวิชาฟิสิกส์ ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม

3.1.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

เป็นเนื้อหาในรายวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้เรื่อง ของแข็งและของไหล

3.1.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ผู้วิจัยทำการศึกษาในช่วงเดือนพฤษภาคม 2567 ถึงเดือนมิถุนายน 2568

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ การเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน

ตัวแปรตาม ได้แก่ ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.3 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ รูปแบบและคู่มือการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) แบบประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ และคู่มือการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้

2) แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4) แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้

3.4.2 ขั้นตอนที่ 2 สร้างและตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้

3.4.3 ขั้นตอนที่ 3 ทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้

3.4.4 ขั้นตอนที่ 4 ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ CB-BL Model ประกอบด้วย การวิเคราะห์เอกสารและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นสร้างแบบวิเคราะห์เอกสารเพื่อตรวจสอบความครอบคลุมของเนื้อหา แล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.80–1.00 สำหรับการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสัมภาษณ์จากประเด็นที่ได้จากการวิเคราะห์เอกสาร แล้วนำเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความสอดคล้องของคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผลการวิเคราะห์ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 แสดงว่าเครื่องมือมีความเหมาะสมในการใช้เก็บข้อมูล

3.5.2 ขั้นตอนที่ 2 การสร้างและตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ CB-BL Model โดยยกร่างรูปแบบและจัดทำคู่มือการจัดการเรียนรู้ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ด้วยแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ พบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมและความเป็นไปได้ $\overline{x}$ = 4.19, S.D. = 0.14 และคู่มือการใช้ $\overline{x}$ = 4.41, S.D. = 0.11 อยู่ในระดับมาก จากนั้นนำไปทดลองนำร่องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 3 คน เพื่อเก็บข้อมูลด้านเนื้อหา ภาษา และเวลา และ 9 คน เพื่อประเมินประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 พบว่ามีประสิทธิภาพ 79.55/79.38 ต่อมาใช้กลุ่มนักเรียน 38 คน ที่ได้จากการสุ่มแบบกลุ่มโดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม พบว่ารูปแบบมีประสิทธิภาพ 80.48/80.30 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

3.5.3 ขั้นตอนที่ 3 การทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ CB-BL Model โดยดำเนินการทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม จำนวน 1 ห้องเรียน 40 คน ที่เรียนรายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ในช่วงเดือนพฤษภาคม–มิถุนายน รวม 22 ชั่วโมง ตามแผนการจัดการเรียนรู้หน่วย “ของแข็งและของไหล” โดยมุ่งส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมผ่านการจัดการเรียนรู้แบบใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน ระหว่างและหลังการทดลองใช้ได้ประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน โดยใช้แบบประเมินที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าทุกข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 จากนั้นนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าความเที่ยง (Reliability) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.90 นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยแบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา โดยมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.80–1.00 และค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.847 ซึ่งอยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.5.4 ขั้นตอนที่ 4 การประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ CB-BL Model โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งสร้างขึ้นตามประเด็นที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่านตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.86–1.00 และเมื่อนำแบบประเมินไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เท่ากับ 0.92 แสดงว่าเครื่องมือมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิจัย

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการวิเคราะห์เอกสารและจากการสัมภาษณ์โดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis)

3.6.2 การประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้และคู่มือการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ โดยการค่าเฉลี่ย ( $\overline{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยกำหนดเกณฑ์ ดังนี้ $\overline{x}$ ≥ 3.50 และ S.D. < 1

3.6.3 การประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามเกณฑ์ 75/75

3.6.4 เปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานกับเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยการทดสอบค่าที (t-test for one sample)

3.6.5 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานกับเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยการทดสอบค่าที (t-test for one sample)

3.6.6 การประเมินความพึงพอใจของนักเรียน โดยการหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยกำหนดเกณฑ์ ดังนี้ $\bar{x}$ ≥ 3.50 และ S.D. < 1

**4. ผลการวิจัย**

1. รูปแบบการจัดการเรียนรู้ CB-BL Model มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 องค์ประกอบ คือ 1) หลักการ: เป็นกระบวนการที่อาศัยการเรียนรู้บนประเด็นปัญหาเกิดขึ้นจริงบนโลกและมีความเกี่ยวข้องกับผู้เรียน โดยผู้เรียนกำหนดความท้าทาย จากการตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหานั้นตามบริบทของผู้เรียน โดยผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้และสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองรวมถึงสร้างสรรค์ชิ้นงานอย่างหลากหลายโดยใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี 2) วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 3) เนื้อหา: เป็นเนื้อหารายวิชา ฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ของแข็งและของไหล 4) กระบวนการจัดการเรียนรู้ มี 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นจุดประกายความคิด (Trigger Ideas) ขั้นพิชิตด้วยคำถามสำคัญ (Identify main question) ขั้นนำไปสู่ความท้าทาย (Challenge) ขั้นคลายปัญหาและลงมือปฏิบัติ (Action to solution) ขั้นวัดและประเมินผลตามจริง (Evaluation and Assessment) และขั้นทุกสิ่งนำสู่สาธารณชน (Publishing) และ 5) การวัดและประเมินผล: วัดและประเมินผลจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม และความพึงพอใจ

2. ผลการประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า อยู่ในระดับมาก ( $\bar{x}$ =4.19, S.D.=0.14) และผลการประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของคู่มือการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ พบว่า อยู่ในระดับมาก ( $\bar{x}$ =4.41, S.D.=0.11)

3. ผลการหาประสิทธิภาพ ($E_1/E_2$) ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 38 คนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพ ดังตาราง 1

**ตาราง 1** แสดงผลการหาประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

| **ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยระหว่างเรียนด้วย CB-BL Model ($E_1$)** | | | | **ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วย CB-BL Model ($E_2$)** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 |
| 80.95 | 80.14 | 79.37 | 81.41 | 78.72 | 79.64 | 80.59 | 82.27 |
| ประสิทธิภาพกระบวนการ = 80.48 | | | | ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ = 80.30 | | | |
| **$E_1/E_2$ = 80.48/80.30** | | | | | | | |

จากตาราง 1 สรุปได้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยภาพรวมมีประสิทธิภาพ 80.48/80.30 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

4. ผลการเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 ดังตาราง 2

**ตาราง 2** แสดงผลการเปรียบเทียบทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75

| การทดสอบ | n | คะแนนเต็ม | $\bar{x}$ | S.D. | D | t | Sig(1-tailed) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หลังใช้รูปแบบ | 40 | 68 | 55.025 | 1.941 | 4.025 | 13.113** | 0.000 |

* มีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตาราง 2 พบว่า ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนหลังเรียนโดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.025 คะแนน ความแตกต่างของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมกับเกณฑ์ที่กำหนดเท่ากับ 4.025 เมื่อนำคะแนนทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมเทียบกับเกณฑ์ ร้อยละ 75 พบว่า ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

5. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 ดังตาราง 3

**ตาราง 3** แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75

| การทดสอบ | n | คะแนนเต็ม | $\bar{x}$ | S.D. | D | t | Sig(1-tailed) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หลังใช้รูปแบบ | 40 | 30 | 25.250 | 1.548 | 2.250 | 9.190 | 0.000 |

* มีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตาราง 3 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนโดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.25 คะแนน และความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับเกณฑ์ที่กำหนดเท่ากับ 2.250 เมื่อนำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

6. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในภาพรวมมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด ( $\bar{x}$ = 4.53, S.D.=0.14)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

**สรุปและอภิปรายผลการวิจัย**

1. จากการสร้างและตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยทำการศึกษาโดยใช้ทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐานทางการศึกษาเป็นพื้นฐานในการสร้างรูปแบบการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยงานวิจัยนี้พัฒนารูปแบบตามทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองและทฤษฎีการเรียนรู้แบบร่วมมือ จากนั้นสังเคราะห์องค์ประกอบรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ หลักการ วัตถุประสงค์ เนื้อหา กระบวนการจัดการเรียนรู้ และการวัดประเมินผล สอดคล้องกับแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของ Joyce et al. (2004) ที่กล่าวว่า การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ต้องเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐานประกอบด้วย แนวคิดและหลักการของรูปแบบ วัตถุประสงค์ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนการสอน การวัดและประเมินผล และผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำไปทดลองนำร่องกับนักเรียนที่เป็นตัวอย่าง พบว่ามีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว สามารถอธิบายได้จากการผสมผสานแนวคิดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานที่เน้นให้ผู้เรียนเผชิญกับสถานการณ์จริง มีความท้าทายและต้องใช้การคิดอย่างสร้างสรรค์เป็นระบบเพื่อแก้ปัญหาร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่รวมระหว่างการเรียนรู้แบบออนไลน์และแบบพบหน้าที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยให้อิสระในการค้นคว้า ทบทวน และทดลองคิดสร้างสรรค์อย่างเป็นอิสระในบริบทของผู้เรียนเอง (Garrison & Vaughan, 2008; Johnson et al., 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ พิชญาภัค ทองม่วง (2566) ได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบผสมผสานระหว่างแนวคิดคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบออนไลน์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาและการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 พบว่าประสิทธิภาพเท่ากับ 82.87/83.61 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 และด้วยเหตุนี้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจึงมีคุณภาพนำไปใช้ได้

2. การใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

จากการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานกับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่า ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานมีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียน ทั้งนี้การเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานนั้นเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกฝนแก้ไขกับปัญหาจริงจากชุมชนหรือในชีวิตประจำวัน กระตุ้นให้เกิดการแสวงหาความรู้ และการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทใหม่ ๆ ด้วยการวางแผน แก้ปัญหา และสร้างแนวทางที่เป็นนวัตกรรมของตนเอง เมื่อผสมผสานกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน ซึ่งนำข้อดีของการเรียนรู้แบบพบหน้ากับการเรียนรู้ออนไลน์ที่ผู้เรียนสามารถควบคุมเวลาและแหล่งเรียนรู้ได้เอง ส่งผลให้ผู้เรียนมีความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ พร้อมทั้งมีเวลาคิดอย่างละเอียดรอบคอบ ซึ่งส่งเสริมกระบวนการสร้างสรรค์และพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศุภกร พันธนภา (2564) ที่ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานในนักเรียนระดับมัธยมศึกษา พบว่า ผู้เรียนมีพัฒนาการด้านความคิดสร้างสรรค์

เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ณัฐชา จันทรมิตร (2565) พบว่า การเรียนรู้แบบผสมผสานสามารถส่งเสริมทักษะด้านนวัตกรรมของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถส่งเสริมความเข้าใจและการเรียนรู้อย่างลึกซึ้งของผู้เรียน โดยการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน มีจุดเด่นที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ลงมือแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง โดยผู้เรียนมีบทบาทในการตั้งคำถาม ค้นหาความรู้ วางแผน และสร้างแนวทางในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับบริบท และช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น ( Nicholson, 2018) ขณะเดียวกัน การเรียนรู้แบบผสมผสานเป็นแนวทางการเรียนรู้ที่หลอมรวมระหว่างการเรียนรู้แบบพบหน้า และการเรียนรู้ผ่านเทคโนโลยีซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ตามความชอบของตนเอง การเรียนรู้ในรูปแบบนี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถทบทวนเนื้อหาได้ซ้ำ ๆ ค้นคว้าด้วยตนเอง และเชื่อมโยงความรู้กับประสบการณ์ที่มี ส่งผลให้เกิดความเข้าใจอย่างแท้จริง (Garrison & Vaughan, 2008) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวัจนา จริตกาย (2564) ได้ศึกษาการพัฒนาความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรม Scratch ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 เป็นข้อบ่งชี้ว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานที่ ถือเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ตอบโจทย์การศึกษาในศตวรรษที่ 21 อย่างแท้จริง

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่า ในภาพรวมมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด อาจเนื่องมาจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์จริง โดยเฉพาะการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานที่ผู้เรียนไม่เพียงแค่รับความรู้ แต่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อสร้างทางเลือกและนวัตกรรมจากสถานการณ์ปัญหา และการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบพบหน้ากับการเรียนรู้ผ่านเทคโนโลยี ในรูปแบบการเรียนแบบผสมผสานช่วยลดความเครียดจากการเรียนในห้องเรียนแบบเดิม และเปิดโอกาสให้นักเรียนมีเวลาทบทวนหรือค้นคว้าด้วยตนเองมากขึ้น จึงเป็นไปได้ที่ผู้เรียนจะเกิดความรู้สึกเชิงบวกต่อกระบวนการเรียนรู้โดยรวม สอดคล้องกับหมอกฟ้า ที่รัก (2565) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วย SIPEP Model เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วย SIPEP Model อยู่ในระดับมากที่สุด

**ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป**

1. ควรมีการนำรูปแบบนี้ไปขยายผลกับนักเรียนชั้นอื่น ๆ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้

2. การใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ เป็นการส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งอาจนำรูปแบบไปทดลองใช้กับการพัฒนาทักษะในด้านอื่น ๆ ตามสมรรถนะสำคัญของหลักสูตร

**6. เอกสารอ้างอิง**

ณัฐชา จันทรมิตร. (2565). *ผลของการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานต่อทักษะนวัตกรรมของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/665394383

พฤกษา ดอกกุหลาบ. (2565). *การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านและเทคนิคเกมมิฟิเคชันร่วมกับการเรียนรู้โดยใช้ความท้ายเป็นฐานเพื่อเสริมสร้างความฉลาดทางอารมณ์ดิจิทัล*. [วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พิชญาภัค ทองม่วง. (2566). *การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบผสมผสานระหว่างแนวคิดคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบออนไลน์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาและการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5* [วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิชัย วงษ์ใหญ่. (2562). *การพัฒนาทักษะสร้างสรรค์นวัตกรรม*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผู้นำนวัตกรรมหลักสูตรและการเรียนรู้.

ศุภกร พันธนภา. (2564). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนด้วยการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน. *วารสารวิจัยการศึกษา*, *17*(3), 45–58.

สุวัจนา จริตกาย. (2564). การพัฒนาความสามารถในการประยุกต์ใช้โปรแกรม Scratch ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐาน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *วารสารบัณฑิตศาศ์น มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย*, *19*(2), 210-224 https://so04.tci-thaijo.org/index.php/mgsj/article/view/255951

สุวิทย์ เมษินทรีย์. (2559). Thailand 4.0: “สร้างความเข้มแข็งจากภายใน เชื่อมโยงเศรษฐกิจไทยสู่โลก”. *Eco-Challenge Magazine, 11*(3), 5–9.

หมอกฟ้า ที่รัก. (2565). *การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วย SIPEP Model เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4*. มหาวิทยาลัยนครพนม.

Apple, Inc. (2009). *Challenge Based Learning Take action and make a difference*. Retried May 15, 2021, from http://cbl.digitalpromise.org/wp content/uploads/sites/7/2016/08/CBL_Paper_2008.pdf

Conde-Gonzalez, M., Garcia-Peñalvo, F., Fernandez, C., Alves, J., Ramos, J., Celis-Tena, S., Goncalves, J., Lima, J., Reimann, D., & Jormanainen, I. (2019). RoboSTEAM – A Challenge Based Learning approach for integrating STEAM and developing computational thinking. In *Proceedings of the 7th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2019)* (pp. 763–769). León, Spain: ACM. Available at https://doi.org/10.1145/3362789.3362893

Garrison, D. R., & Vaughan, N. D. (2008). *Blended learning in higher education: Framework, principles, and guidelines*. Jossey-Bass.

Horn , M.B. & Staker , H.(2011). *The Rise of K-12 Blended Learning*. Innosight Institute, Inc, 1-17.

Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2004). *Models of teaching* (7th ed.). Allyn & Bacon.

Nicholson, S. (2018). Challenge-based learning and the development of creativity in secondary education. *Journal of Educational Research and Practice*, *8*(1), 23–35. https://doi.org/10.5590/JERAP.2018.08.1.02

Partnership for 21st Century Learning (P21). (2009). *P21’s framework for 21st century learning*. http://www.p21.org/

World Economic Forum. (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. World Economic Forum.

# การพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มสีเขียว; การออกแบบกล่องรังนก

# Promoting 1st Grade Environmental Competency Using Green STEM: A Bird nesting box design sketch

**กัลยวีร์ ธิติปวัตน์[1]*, ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง[2], พจนารถ สุวรรณรุจิ[3]**

**Kanyavee Thitipavat[1]*, Pattamapron Pimthong[2], Potjanart Suwanruji[3]**

[1]โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา

[1]Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development, kanyavee.thit@ku.th

[2]คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]Faculty of Education, Kasetsart University, fedupppi@ku.ac.th

[3]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3]Faculty of Science, Kasetsart University, fscipjs@ku.ac.th

**บทคัดย่อ**

การศึกษาเป็นส่วนสำคัญที่ควรสนับสนุนให้เยาวชนพัฒนาจิตสำนึกว่ามนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม โดยสะเต็มสีเขียวเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการ 4 ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ มุ่งเน้นการแก้ปัญหาซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มสีเขียวผ่านกิจกรรมออกแบบกล่องรังนก เป็นงานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้สะเต็ม ซึ่งนักเรียนจะได้พัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม 5 ด้าน ได้แก่ 1) สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว 2) มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว 3) มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม 4) ใช้สิ่งของอย่างประหยัดและรู้คุณค่า 5) ลดการสร้างขยะ คัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้ง ดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - เดือนตุลาคม พ.ศ.2567 กลุ่มที่ศึกษานักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 36 คน เก็บรวบรวมข้อมูลจากใบกิจกรรมแบบสังเกต แบบประเมินสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ และแบบสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการจัดกลุ่มคำตอบ และการวิเคราะห์ประเด็นหลัก ผลการวิจัยพบว่าการทำกิจกรรมย่อยสำรวจสิ่งมีชีวิตที่พบในโรงเรียน ตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ และสืบค้นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนก และออกแบบกล่องรังนก นักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะ 3 ด้าน ได้แก่ 1) สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว 2) มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว 3) มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนักเรียนวัยนี้หากได้รับการจัดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติสามารถทำงานได้ดีไม่ต่างกับวัยอื่น

**คำสำคัญ:** สมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม สะเต็มสีเขียว กระบวนการออกแบบ

**Abstract**

Education plays a vital role in nurturing young people's awareness that humans are a part of the environment. Green STEM, which integrates four disciplines (science, technology, engineering, and mathematics), emphasizes solving complex environmental problems. This study aimed to examine the environmental competencies of Grade 1 students who participated in a Green STEM learning activity through designing a bird nesting box. The research employed a classroom action research approach, incorporating STEM-based learning to enhance five key environmental competencies: 1) identifying local environmental problems, 2) participating in environmental care, 3) developing a caring attitude toward the environment, 4) using materials economically and valuing resources, and 5)reducing waste and practicing waste separation before disposal. The research was conducted from July to October 2024 with 36 Grade 1 students from a laboratory school in Bangkok. Data were collected through worksheets, observation forms, environmental competency assessment forms, teachers' logs, and informal interviews. The data were analyzed through categorization of responses and thematic analysis. The findings revealed that students developed three key competencies: 1) identifying local environmental problems, 2) participating in environmental care, and 3) developing a caring attitude toward the environment. These competencies were fostered through sub-activities such as exploring living organisms within the school, generating questions based on observed issues, investigating appropriate environmental conditions for nesting boxes, and designing their nesting boxes. The study indicates that young learners are capable of performing as effectively as older students when engaged in hands-on learning.

**Keywords:** Environmental Competency, Green STEM, Design Process

## 1. บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกปี การพัฒนาเศรษฐกิจแต่ละประเทศช่วยยกระดับผู้คนให้หลุดพ้นจากความยากจน อย่างไรก็ตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจบางครั้งไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มลพิษหรือธรรมชาติที่เสื่อมโทรม (United Nations, 2024) ดังปรากฏในรายงาน Global Environmental Outlook (GEO-6) ที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และธรรมชาติ (United Nations Environment Program, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, 2023) อย่างไรก็ตามภาครัฐไทยให้ความสำคัญกับเรื่องสิ่งแวดล้อม โดยสนับสนุนงบประมาณสำหรับบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติ, 2566) รวมถึงมีส่วนร่วมกับประชาคมโลกในการพัฒนาให้บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ขององค์การสหประชาชาติ (UN) ที่มีเป้าหมายให้พลเมืองโลกมีสุขภาวะที่ดี (well-being) มุ่งสู่ปี ค.ศ.2030

Organisation for Economic Co-operation and Development (2018) ได้ศึกษาถึงพลเมืองจะต้องมีสมรรถนะโดยคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเป็นอยู่ที่ดี จึงเห็นความสำคัญของสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมว่าเป็นสมรรถนะที่บุคคลทุกคนพึงมี ควรให้ความสำคัญไม่น้อยกว่าสมรรถนะด้านอื่น จึงได้กำหนดกรอบสมรรถนะที่เน้นย้ำ

ด้านสิ่งแวดล้อมปรากฏอยู่ในกรอบสำหรับวัดความเป็นอยู่และความก้าวหน้า สอดคล้องกับที่ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2019) ได้เน้นย้ำสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมไว้อย่างชัดเจนเช่นกัน ตามที่ปรากฏอยู่ในสมรรถนะหลักด้านการเป็นพลเมืองโลก สมรรถนะย่อยด้านการเคารพต่อสิ่งแวดล้อม ในกรอบ Transversal Competencies แสดงให้เห็นว่าองค์กรระดับนานาชาติให้ความสำคัญกับสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับสมรรถนะด้านอื่น เพื่อให้ประชาชนมีความเป็นอยู่ที่ดีตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

โรงเรียนของผู้วิจัยเป็นโรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ใช้หลักสูตรฐานสมรรถนะของสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2562) แต่จากการที่ผู้วิจัยสอนนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และเป็นครูประจำชั้น โดยบริบทครูประจำชั้นโรงเรียนนี้ ครูต้องนั่งอยู่ในห้องเรียนกับนักเรียนทุกคาบเรียน ทำให้สังเกตพฤติกรรมของนักเรียนรายบุคคลได้อย่างละเอียดและสม่ำเสมอ เป็นระยะเวลานาน ทำให้พบปัญหาว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่ตระหนักถึงเรื่องของสิ่งแวดล้อมมากพอ เนื่องจากมีฐานะทางการเงินดีจึงใช้สิ่งของอย่างไม่คุ้มค่า คิดเพียงว่าสามารถซื้อใหม่ได้ ฉีกกระดาษจากสมุดเล่มใหม่เพื่อวาดรูปเล่น เปิดน้ำทิ้งไว้เมื่อไม่ใช้น้ำ เลือกทิ้งพลาสติกที่มีตำหนิเล็กน้อยและใช้ชิ้นใหม่แทน รวมถึงชุมชนที่นักเรียนอาศัยอยู่เป็นชุมชนเมือง มีน้อยคนเลือกไปเที่ยวสถานที่ธรรมชาติในวันหยุด และอยู่ในวัยที่ยังไม่รับรู้ถึงผลกระทบในอนาคต ส่งผลให้คลุกคลีหรือใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อมน้อย จึงไม่พบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมด้วยตนเองมากนัก แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าโรงเรียนจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ แต่อาจยังไม่สามารถพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมได้เท่าที่ควร อีกทั้งในวิชาวิทยาศาสตร์ของโรงเรียนแม้ว่าจะส่งเสริมสมรรถนะการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ แต่ยังคงไม่ได้เน้นสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าหากจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมและพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมให้กับนักเรียนได้ จะทำให้นักเรียนเห็นว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สมควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน ควรตระหนักและมีส่วนร่วมกับสิ่งแวดล้อม (UNEP, 2019) สอดคล้องกับ OECD (2023) ที่ระบุถึงมิติด้านสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเป็นความสามารถของบุคคลที่แสดงถึงส่วนหนึ่งของการมีสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยพบว่าการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาเป็นส่วนสำคัญที่ควรสนับสนุนให้เยาวชนพัฒนาจิตสำนึกว่ามนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม จึงต้องอาศัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับวิชาอื่น (OECD, 2023) สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการ 4 ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ มุ่งเน้นการแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการ พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์จริงและโลกที่นักเรียนต้องเผชิญ โดยใช้การบูรณาการในการทำความเข้าใจและแก้ปัญหา (Bybee, 2013) ผู้วิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้แนวสะเต็มศึกษา และให้นักเรียนสร้างประสบการณ์การเรียนรู้เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เหมาะสมในการพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ศึกษาเอกสารเพิ่มเติมพบว่า สะเต็มสีเขียวสร้างโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมซึ่งมีประโยชน์ในโลกแห่งความเป็นจริง จะทำให้นักเรียนได้รู้จักการทำงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความรักธรรมชาติ (National Wildlife Federation, 2015) และแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยส่งเสริมให้นักเรียนมีความฉลาดรู้สะเต็มและสามารถนำทักษะทางสะเต็มไปใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในชุมชนของตนเอง (Mara, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับ Curtis-Bey (2015) ที่กล่าวว่าสะเต็มสีเขียวช่วยให้เด็กในชุมชนเมืองเชื่อมโยงธรรมชาติที่อยู่รอบตัวเป็นห้องปฏิบัติการการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศ แก้ไขปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงในชุมชนของตนเอง

Environmental Protection Agency (2019) ได้ระบุถึงพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในกิจกรรมที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับ National Association for Academic Excellence (2019) ที่กล่าวว่านักเรียนต้องแสดงความคิดเห็นของตนเองเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำงานร่วมกับผู้อื่นที่อาจมีมุมมองด้านสิ่งแวดล้อมแตกต่างจากตนเอง โดยการนี้ NAAEE ได้เพิ่มเติมเกี่ยวกับพฤติกรรมการสำรวจและระบุปัญหาสภาพแวดล้อมในชุมชนท้องถิ่นของตน มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อจะคิด

วิธีการแก้ปัญหา และออกแบบแนวทางเพื่อจัดการแก้ไขปัญหา นอกจากนี้พฤติกรรมที่แสดงถึงการมีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม ต้องแสดงถึงความสนใจ เอาใจใส่ ห่วงใย ตระหนักและรู้สึกรับผิดชอบในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และเกิดความไม่สบายใจเมื่อได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการลดลงหรือเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม (Ketsing, J., 2015) และรู้ว่าสิ่งที่ได้ทำส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร มีใจรักธรรมชาติ (NWF, 2015) รวมทั้งใช้สิ่งของในชีวิตประจำวันอย่างประหยัด รู้คุณค่าของสิ่งของ วางแผนปริมาณที่ต้องการใช้ไม่เหลือทิ้ง (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2565) ซึ่งสอดคล้องกับ Ketsing (2015) ที่กล่าวถึงพฤติกรรมลดการสร้างขยะ เช่น เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุใช้แล้ว (Recycle) คัดแยกขยะให้ถูกประเภทก่อนนำไปทิ้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่านักเรียนที่มีสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม จะแสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 5 ด้าน ได้แก่ 1) สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว 2) มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว 3) มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม 4) ใช้สิ่งของอย่างประหยัดและรู้คุณค่า และ 5) ลดการสร้างขยะ คัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้ง โดยพฤติกรรมบ่งชี้เหล่านี้สอดคล้องกับ OECD (2023) ระบุถึงนักเรียนที่มีสมรรถนะด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมจะต้องแสดงให้เห็นถึงความสามารถ ในการอธิบายผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ ประเมินหลักฐานจากข้อมูล ออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา แสดงการกระทำใส่ใจผู้อื่นรวมทั้งสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ภายใต้มนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อม มีส่วนร่วมในการสร้างความเป็นอยู่ที่ดี และหาแนวทางแก้ไขเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบ

ด้วยเหตุนี้หากนักเรียนได้มีโอกาสมีส่วนร่วม ได้ใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อม และใช้ทักษะทางสะเต็ม จะมีส่วนทำให้นักเรียนพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมทั้ง 5 ด้านได้ ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถส่งเสริมและพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการพัฒนาการพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มสีเขียว โดยได้จัดการเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม กิจกรรมการออกแบบร่างกล่องรังนก ซึ่งนักเรียนได้สำรวจ ใกล้ชิดธรรมชาติ ระบุปัญหาจากสถานการณ์จริง นำไปสู่การออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาซับซ้อน

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อศึกษาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มสีเขียวผ่านกิจกรรมออกแบบกล่องรังนก

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) นี้ ประกอบด้วย 4 แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 2 วงจรปฏิบัติการ ข้อจำกัดในการนำเสนอครั้งนี้ คือ กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก และผู้วิจัยดำเนินการเฉพาะแผนที่ 1 และ 2 ในกิจกรรมการออกแบบร่างกล่องรังนก แต่ละวงจรประกอบด้วย 1) ขั้นวางแผน (Plan) 2) ขั้นปฏิบัติการ (Act) 3) ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) และ 4) ขั้นสะท้อนความคิด (Reflect) ผ่านการจัดการเรียนรู้สะเต็มตามกระบวนการออกแบบ 6 กิจกรรม ได้แก่ 1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน สิ่งแวดล้อม ซึ่งนักเรียนจะได้พัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม 5 ด้าน ได้แก่ 1) สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว 2) มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว 3) มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม 4) ใช้สิ่งของอย่างประหยัดและรู้คุณค่า 5) ลดการสร้างขยะ คัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้ง ดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - เดือนตุลาคม พ.ศ.2567 กลุ่มที่ศึกษานักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 36 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเก็บรวบรวม

ข้อมูล ได้แก่ ใบกิจกรรม แบบสังเกต แบบประเมินสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ วีดิทัศน์บันทึกการจัดการเรียนรู้ และแบบสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ในการสร้างเครื่องมือ ผู้วิจัยเขียนโครงสร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยยึดตามสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องการให้นักเรียนพัฒนา เขียนแผนแบบละเอียดพร้อมออกแบบใบกิจกรรม แบบสังเกต และแบบประเมินสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม ให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ตรวจและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับรายละเอียดกิจกรรม จำนวนคาบแต่ละกิจกรรม การประเมิน และผู้วิจัยได้ปรับแก้เครื่องมือตามข้อแนะนำ จากนั้นสัมภาษณ์เพิ่มเติมกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน เกี่ยวกับความเข้าใจคำชี้แจงและคำถามในใบกิจกรรม ก่อนนำมาใช้จริง สรุปการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ตารางแสดงการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

| เครื่องมือ | วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล | วิธีวิเคราะห์ข้อมูล |
|---|---|---|
| - แบบสังเกต | - สังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างทำกิจกรรมและบันทึกตามรายการ | - thematic analysis (การวิเคราะห์ประเด็นหลัก) |
| - แบบประเมินสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม | - สังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างทำกิจกรรมและบันทึกตามรายการ | - thematic analysis (การวิเคราะห์ประเด็นหลัก) |
| - ใบกิจกรรม | - ตรวจใบกิจกรรม | - จัดกลุ่มคำตอบตามพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก |
| - บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ | - บันทึกเมื่อจัดการเรียนรู้เสร็จแต่ละแผน<br>- ถอดวีดิทัศน์รายคาบเพื่อสังเกตการถามตอบระหว่างครูและนักเรียน | - จัดกลุ่มคำตอบตามพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก<br>- thematic analysis (การวิเคราะห์ประเด็นหลัก) |
| - แบบสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ | - สัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมรายกลุ่มหลังการจัดการเรียนรู้ | - thematic analysis (การวิเคราะห์ประเด็นหลัก) |

## 4. ผลการวิจัย

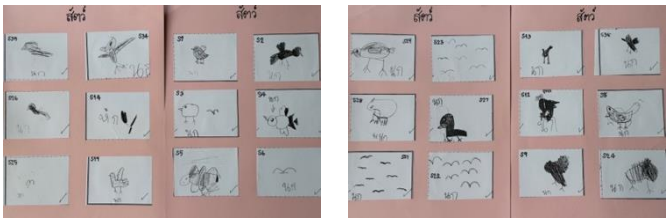
กิจกรรมกล่องรังนก แผนที่ 1 ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย ได้แก่ สำรวจสิ่งมีชีวิตที่พบในโรงเรียน ตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ และสืบค้นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนก ผู้วิจัยให้นักเรียนจำนวน 36 คน แบ่งกลุ่ม 7 กลุ่ม สมาชิก 5-6 คน

กิจกรรมย่อยสำรวจสิ่งมีชีวิตที่พบในโรงเรียน นักเรียนสำรวจสิ่งมีชีวิตและวาดภาพ จากนั้นสำรวจพัดลมเพดานใต้อาคารเรียน และเห็นหลักฐานบ่งบอกว่ามีนกมาทำรัง ดังภาพที่ 1 ทำให้นักเรียนระบุปัญหาได้และสามารถตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ ซึ่งจะทำให้นักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะด้านการสำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว และการมีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว

**ภาพที่ 1** นักเรียนสำรวจและพบหลักฐานที่บ่งบอกว่ามีนกในพัดลมเพดานใต้อาคารเรียน

นอกจากนี้นักเรียนตั้งคำถามห่วงใยนก เช่น “นกตายหรือยัง-นักเรียน 10” แสดงถึงสมรรถนะด้านการมีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนกิจกรรมย่อยสุดท้ายนักเรียนจะได้เสนอทางเลือกที่หลากหลาย โดยร่วมกันคิดว่าจะช่วยแก้ปัญหานกอาศัยในพัดลมเพราะไม่มีพื้นที่ให้นกทำรังอย่างไร เมื่อได้ข้อสรุปของห้องว่าจะสร้างกล่องรังนกแล้วร่วมกันระบุความต้อ งการในการออกแบบ (Design Brief) คือ สร้างกล่องรังนกโดยมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อให้นกมาทำรังได้จริง นักเรียนได้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาตามกระบวนการออกแบบ โดยการสืบค้นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนกในห้องสมุด กิจกรรมย่อยนี้ทำให้นักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะด้านการมีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว และการมีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม

ผลการจัดการเรียนรู้ตามแผนที่ 1 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่จำนวน 33 คน (จาก 36 คน) สังเกตเห็นและวาดภาพนกมากที่สุด ดังภาพที่ 2 ส่วนประเด็นที่นักเรียนตั้งคำถามจากปัญหาที่พบมากที่สุด คือ นักเรียนส่วนใหญ่ยอมรับว่านกสร้างรังในพัดลมจริง จึงตั้งคำถามเกี่ยวกับว่าทำไมนกจึงสร้างรังในพัดลม เช่น “ทำไมนกต้องมาทำรังในพัดลม-นักเรียน 01”



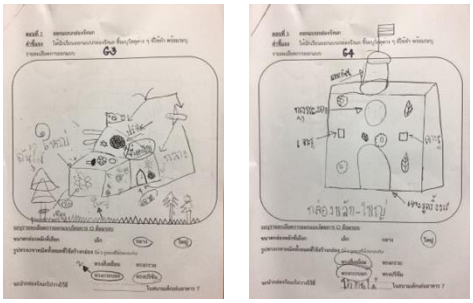
**ภาพที่ 2** ภาพวาดนกจากการสำรวจของนักเรียน

เมื่อพิจารณาการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลพบว่าทุกกลุ่มมีแนวคำตอบที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก ประเด็นที่นักเรียนเสนอมากที่สุด คือ สร้างรังนกด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น สร้างด้วยเชือกฟาง กล่อง เช่น “เอากล่องแข็ง ๆ มาทำเป็นบ้านนก-กลุ่ม 5” เป็นต้น นอกจากนี้การสืบค้นข้อมูลพบว่า นักเรียนได้คำตอบของคำถามต่าง ๆ ที่สงสัย และยังได้ข้อสรุปเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนกทั้งสิ้น 5 ประเด็นหลัก คือ 1) ใกล้แหล่งอาหารให้หากิน 2) พื้นที่และขนาดของกล่องเหมาะสม 3) กล่องรังนกไม่ถูกรุกรานได้ง่ายจากสัตว์อื่นหรือคน 4) การเลือกใช้วัสดุสร้างกล่องรังนก และ 5) การตกแต่งกล่องรังนกให้ใกล้เคียงธรรมชาติ

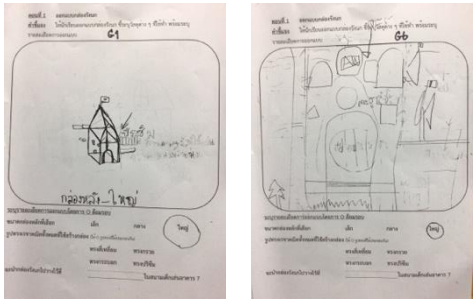
เมื่อจบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 แล้ว พบว่านักเรียนได้ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะ 3 ด้าน แม้ว่าในแผนนี้อาจยังไม่ได้พัฒนาสมรรถนะด้านการมีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัวมากนัก เนื่องจากนักเรียนได้ร่วมกันคิด และสืบค้นวิธีการโดยยังไม่ได้ลงมือออกแบบหรือสร้างชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงคาดว่านักเรียนอาจจะยังรู้สึกว่าตนเองยังไม่ค่อยได้มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมเท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงจะนำไปปรับแก้ในแผนถัดไปให้นักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะด้านนี้มากขึ้น

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 นักเรียนจะได้ทำกิจกรรมออกแบบวิธีการแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบ ด้วยการออกแบบและสร้างกล่องรังนก ผู้วิจัยและนักเรียนได้ร่วมกันระบุความต้องการในการออกแบบ (Design Brief) โดยสร้างกล่องรังนกที่นกย้ายเข้ามาทำรังได้จริง มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมโดยมีพื้นที่และขนาดของกล่องเหมาะสม ใกล้แหล่งอาหารให้หากินไม่ถูกรุกรานได้ง่ายจากสัตว์อื่นหรือคนเพื่อให้นกทำรังได้อย่างปลอดภัย ภายใต้เกณฑ์และข้อจำกัด ได้แก่ 1) กล่องหลักและส่วนเสริม 2) รูปทรงเรขาคณิต 3) การตกแต่งกล่องรังนก และ 4) บริเวณที่นำกล่องรังนกไปวาง

จากนั้นนักเรียนทำกิจกรรมเขียนแบบร่าง (Design Sketch) เริ่มจากเลือกกล่องหลักจากตัวอย่างกล่องจริงที่ครูเตรียมให้ เมื่อพิจารณาใบกิจกรรมออกแบบกล่องรังนก แบบร่างของนักเรียนจำนวน 5 กลุ่ม (จาก 7 กลุ่ม) เขียนแบบร่างและระบุรายละเอียดได้ค่อนข้างชัดเจน เข้าใจได้ง่าย ต้องการคำอธิบายเพิ่มเติมเล็กน้อย ส่วนนักเรียนจำนวน 2 กลุ่ม เขียนแบบร่างระบุรายละเอียดไม่ชัดเจน เขียนแบบร่างเข้าใจยาก ต้องการคำอธิบายเพิ่มเติมด้วยการสัมภาษณ์ เพื่อให้ทราบรายละเอียด ดังภาพที่ 3 และ 4



**ภาพที่ 3** แบบร่างกล่องรังนกของนักเรียนกลุ่ม 3 และ 4 เขียนแบบร่างและระบุรายละเอียดได้ค่อนข้างชัดเจน



**ภาพที่ 4** แบบร่างกล่องรังนกของนักเรียนแต่ละกลุ่ม คือ กลุ่ม 1 และ 6 เขียนแบบร่างระบุรายละเอียดไม่ชัดเจน

อย่างไรก็ตามการเขียนแบบร่างครั้งแรก นักเรียนหลายกลุ่มไม่ได้คำนึงถึงขนาดที่เจาะกล่องหรือทางเข้าของนก ผู้วิจัยจึงให้แต่ละกลุ่มนำเสนอหน้าชั้นเรียน เพื่อให้ได้อธิบายความต้องการของกลุ่มตนเอง และนำข้อเสนอแนะทั้งจากเพื่อนและครูแก้ไขแบบร่าง จากนั้นนักเรียนปรับแก้แบบร่างของกลุ่มตนเอง (Redesigning) ตามข้อเสนอแนะ นอกจากนี้แต่ละกลุ่มต้องการคำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้เขียนแบบร่างได้ละเอียดมากขึ้น ผู้วิจัยจึงสัมภาษณ์เพิ่มเติมรายกลุ่ม

เมื่อแต่ละกลุ่มได้รับข้อเสนอแนะและการสัมภาษณ์เพิ่มเติม ผลพบว่านักเรียนแก้แบบร่างได้ดีขึ้น ได้รายละเอียดมากขึ้น ผู้วิจัยขอนำเสนอเปรียบเทียบการเขียนแบบร่างของนักเรียนก่อนและหลังได้รับข้อเสนอแนะ ดังภาพที่ 5 และ 6 ดังนี้

การสัมภาษณ์กลุ่มที่ 4

ครู : กล่องรังนกของกลุ่มนี้ต้องการเจาะรูเพื่ออะไรคะ

กลุ่ม 4 : ให้อากาศเข้าค่ะ

ครู : ต้องการให้ครูช่วยเจาะรูขนาดไหน ให้เขียนในแบบนะคะ

กลุ่ม 4 : เจาะรูเล็กค่ะ

ครู : กลุ่มนี้อยากวางกล่องไว้ใต้ต้นไม้ใช่ไหมคะ ทำไมกลุ่มอยากเปลี่ยนจากวางใต้ต้นไม้เป็นแขวนบนต้นไม้

กลุ่ม 4 : เปลี่ยนใจไม่วางใต้ต้นไม้ได้ไหมครับอาจารย์ เพราะที่เคยดูคลิปนกเงือก ถ้าทำรังบนพื้นจะโดนสัตว์อื่นทำร้ายครับ แล้วก็กลัวพี่ ป.2 มาเล่น

ครู : ได้ค่ะ ให้เขียนแก้ด้านล่างนะคะว่าหนูอยากทำอย่างไร

การสัมภาษณ์กลุ่มที่ 7

ครู : กลุ่มนี้อยากวางกล่องรังนกไว้ที่ส่วนไหนของต้นไม้คะ

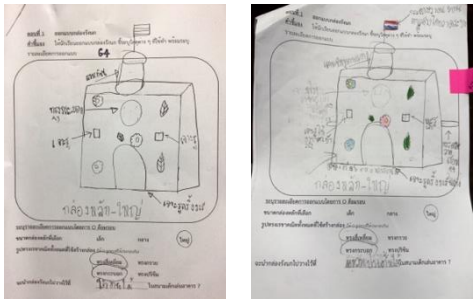
กลุ่ม 7 : อยากแขวนกับต้นไม้ครับ

ครู : เด็ก ๆ ต้องเขียนเพิ่มให้ชัดเจนนะคะว่าแขวนที่ไหน

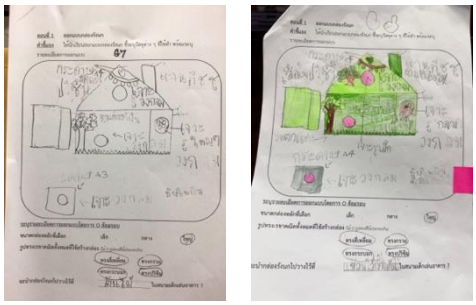
ครู : รูปสี่เหลี่ยมที่วาดแยกออกมาคืออะไรคะ

กลุ่ม 7 : อยากขยายภาพเฉย ๆ ค่ะ ว่าข้าง ๆ จะเจาะรู

(สัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ วันที่ 17 ก.ย. 67)



**ภาพที่ 5** เปรียบเทียบการเขียนแบบร่างของนักเรียนก่อนและหลังได้รับข้อเสนอแนะของกลุ่มที่ 4



**ภาพที่ 6** เปรียบเทียบการเขียนแบบร่างของนักเรียนก่อนและหลังได้รับข้อเสนอแนะของกลุ่มที่ 7

การออกแบบในใบกิจกรรมที่ 2 แสดงให้เห็นว่านักเรียนได้ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาสมรรถนะ 3 ด้าน ซึ่งในแผนนี้ นักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะด้านการมีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัวมากขึ้นกว่าแผนที่ 1 จากการได้ลงมือทำจริงด้วยตนเอง

เมื่อจบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 แล้ว พบว่านักเรียนได้พัฒนาสมรรถนะ 3 ด้าน ซึ่งอาจยังไม่ได้พัฒนาสมรรถนะครบทั้ง 5 ด้าน เนื่องจากนักเรียนยังไม่ได้ลงมือสร้างชิ้นงาน ด้วยเหตุนี้จึงประเมินระดับความสามารถสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนได้สูงสุด คือ ระดับ 2 แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ครบ 3 ด้าน อย่างไรก็ตามนักเรียนจะได้พัฒนาสมรรถนะด้าน 4) ใช้สิ่งของอย่างประหยัดและรู้คุณค่า และ 5) ลดการสร้างขยะ คัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้ง มากขึ้น เมื่อได้ทำกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้ถัดไป ผู้วิจัยสรุปสมรรถนะที่นักเรียนได้พัฒนา ดังรายละเอียดตามตารางที่ 2 และระดับความสามารถของนักเรียน ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 2** สรุปสรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมที่นักเรียนได้พัฒนา ด้วยการจัดการรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 2

| สมรรถนะ ด้านสิ่งแวดล้อม | เครื่องมือ กิจกรรม หรือใบงาน | หลักฐานหรือพฤติกรรมนักเรียนที่สนับสนุน การแสดงสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม |
|---|---|---|
| **แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1** | | |
| 1. สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว | สำรวจสิ่งมีชีวิตที่พบในโรงเรียน | - สำรวจสิ่งมีชีวิตที่พบบริเวณโรงเรียนด้วยตนเอง |
| | ตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ | - สำรวจพัดลมใต้อาคารเรียนและพบหลักฐาน<br>- ตั้งคำถามไปในแนวทางเดียวกันว่าการที่นกอยู่ในพัดลมนั้นเป็นปัญหา |
| 2. มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว | ตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ | - สำรวจพัดลมใต้อาคารเรียนและพบหลักฐาน<br>- ตั้งคำถามไปในแนวทางเดียวกันว่าการที่นกอยู่ในพัดลมนั้นเป็นปัญหา |
| 2. มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว | สืบค้นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนก | - ร่วมกันคิดวิธีแก้ปัญหานกอาศัยในพัดลมเพราะไม่มีพื้นที่ให้นกทำรัง<br>- เสนอวิธีการที่หลากหลาย และสรุปการสร้างกล่องรังนก<br>- ร่วมกันสืบค้น เพื่อหาข้อมูลแหล่งที่อยู่ของนกในธรรมชาติ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้นกทำรัง |
| 3. มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม | ตั้งคำถามจากปัญหาที่พบ | - แสดงความห่วงใยนกผ่านการตั้งคำถามในกระดาษบัตรคำ |
| | สืบค้นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกล่องรังนก | - ระบุประเด็นกล่องรังนกต้องอยู่บริเวณที่นกมีอาหาร น้ำและอากาศ<br>- ระบุประเด็นกล่องรังนกต้องแข็งแรง ไม่ถูกรุกรานได้ง่าย แสดงถึงการที่นักเรียนห่วงใยความปลอดภัยของนก |
| **แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2** | | |
| 1. สำรวจปัญหาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว | ใบกิจกรรมที่ 2 กล่องรังนกของพวกเรา | - สำรวจและระบุตำแหน่งวางกล่องรังนกโดยคำนึงถึงการถูกรุกรานจากสัตว์หรือคน |
| 2. มีส่วนร่วมในการดูแลสิ่งแวดล้อมรอบตัว | ใบกิจกรรมที่ 2 กล่องรังนกของพวกเรา (Design Sketch) | - ร่วมกันวางแผน เขียนแบบร่างกล่องรังนก<br>- แสดงความห่วงใยนก ทั้งขนาดกล่องและความปลอดภัยของนก |
| 3. มีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม | | - เลือกพื้นที่วางกล่องรังนกให้นกปลอดภัย |

**ตารางที่ 3** สรุประดับความสามารถสรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน จำนวน 36 คน ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 2

| ระดับความสามารถ / แผนการจัดการเรียนรู้ | 2<br>แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 3 ด้าน<br>จำนวน (คน) | 1<br>แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 1-2 ด้าน<br>จำนวน (คน) |
|---|---|---|
| แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 | 35<br>(97.23%) | 1<br>(2.77%) |
| แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 | 35<br>(97.23%) | 1<br>(2.77%) |

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาและเน้นการพัฒนาของนักเรียน ประเมินระดับสมรรถนะของนักเรียนด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต ระบุพฤติกรรมบ่งชี้ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการจัดกลุ่มคำตอบ และการวิเคราะห์ประเด็นหลัก ประเมินสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้วยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1-2 หากนักเรียนมีพฤติกรรมบ่งชี้ 3 ด้าน จะได้รับการประเมินความสามารถ 2 เป็นความสามารถสูงสุด และผลพบว่านักเรียนส่วนใหญ่อยู่ระดับมากที่สุด คือ ระดับ 2 คิดเป็น 97.23% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน

นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่าแม้นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จะยังเป็นวัยเด็ก แต่ได้รับการจัดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบ 6 กิจกรรม ได้ทำงานเป็นทีม พบปัญหาด้วยตนเอง และใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นกิจกรรมที่นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อน ครู และบริบทจริง ซึ่งทฤษฎีสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองนี้ให้ความสำคัญกับกระบวนการ และวิธีการ สร้างความรู้ความเข้าใจจากประสบการณ์ต่าง ๆ (ทิศนา แขมมณี และคณะ, 2544) ทำให้นักเรียนสามารถพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมได้ โดยหากครูให้คำแนะนำโดยการสัมภาษณ์รายกลุ่ม ให้เวลากับนักเรียนอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้นักเรียนวัยนี้สามารถทำงานได้ดีไม่ต่างกับวัยอื่น ทั้งนี้การพัฒนาสมร รถนะด้านเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อมนั้นต้องใช้ระยะเวลา ให้นักเรียนได้ใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสภาพแวดล้อมของโรงเรียนเต็มไปด้วยโอกาสสำหรับให้นักเรียนมีส่วนร่วมในสะเต็มศึกษาด้วยการสำรวจได้อย่างเป็นธรรมชาติ (Campbell et al., 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Simoncini, K., & Lasen, M. (2018) ที่ได้ศึกษาถึงการจัดการเรียนรู้แนวสะเต็มศึกษาเป็นสิ่งสำคัญต่อเด็กวัยนี้ โดยเชื่อว่าเด็กวัยนี้เรียนรู้จากการเล่น สร้าง เพื่อการเรียนรู้ที่สนุกสนานและน่าตื่นเต้น

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะดังนี้

1) สมรรถนะด้านการมีเจตคติห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นด้านที่ประเมินได้ค่อนข้างยาก จึงต้องให้นักเรียนสะท้อนด้านนี้ออกมา ครูควรมีกิจกรรมย่อยหลากหลายให้มากขึ้นพร้อมกับสังเกตผลซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ชัดเจน

2) การจัดการเรียนรู้ครั้งถัดไป หากครูขยายโอกาสให้บุคคลอื่น ๆ เช่น ครอบครัวของนักเรียน ครูท่านอื่น ได้ร่วมมือกับนักเรียนในการทำกิจกรรม จะทำให้ได้สร้างเครือข่ายการดูแลสิ่งแวดล้อม เพราะสะเต็มสีเขียวเป็นแนวทางการสอนบูรณาการและการทำงานร่วมกัน ส่งเสริมความร่วมมือที่นักเรียน นักการศึกษา และบุคคลอื่นที่ไม่ใช่นักการศึกษาสามารถได้รับประสบการณ์และความมั่นใจโดยการทำงานร่วมกันเพื่อออกแบบ พัฒนา และร่วมกันจัดกิจกรรมการเรียนรู้

**6. เอกสารอ้างอิง**

ทิศนา แขมมณี และคณะ. (2544). *กระบวนการเรียนรู้: ความหมาย แนวทางการพัฒนา และปัญหาข้องใจ*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2565). *(ร่าง) กรอบหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช .... ระดับประถมศึกษา.* กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติ. (2566). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2566.* กรุงเทพมหานคร: บริษัท บีทีเอส เพรส จำกัด.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2562) *แนวทางการพัฒนาสมรรถนะผู้เรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน.* กรุงเทพมหานคร: บริษัท 21 เซ็นจูรี่ จำกัด.

Bybee, R.W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. https://static.nsta.org/pdfs/samples/PB337Xweb.pdf

Campbell, C., Speldewinde, C., Howitt, C., & MacDonald, A. (2018). STEM Practice in the Early Years. *Creative Education, 9*(1), 11-25. https://doi.org/10.4236/ce.2018.91002

Collin O'Mara, C.O. *Green STEM*. https://www.nwf.org/~/media/PDFs/Ecoschools/GreenSTEM/FINAL%20GREEN%20STEM%20GUIDEBOOK%20JUNE%203%202015.pdf

Curtis-Bey, L. (2015). *Green STEM*. https://www.nwf.org/~/media/PDFs/Ecoschools/GreenSTEM/FINAL%20GREEN%20STEM%20GUIDEBOOK%20JUNE%203%202015.pdf

Environmental Protection Agency. (2019). *What is Environmental Education?*. https://www.epa.gov/education/what-environmental-education

Ketsing, J. (2015). Preservice Science Teachers' Environmental Attitudes and Behaviors. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, *36*(2), 297–307. https://so04.tci-thaijo.org/index.php/kjss/article/view/243279

National Wildlife Federation. (2015). *Green STEM*. https://www.nwf.org/~/media/PDFs/Eco-schools/GreenSTEM/FINAL%20GREEN%20STEM%20GUIDEBOOK%20JUNE%203%202015.pdf

North American Association for Environmental Education. (2019). *Guidelines for Excellence K–12 Environmental Education*. https://eepro.naaee.org/sites/default/files/2025-05/k-12_ee_guidelines_for_ excellence_2019.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2018). *The Future of Education and Skills.* https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2018/06/the-future-of-education-and- skills_5424dd26/54ac7020-en.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *PISA 2025 SCIENCE FRAMEWORK.* https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf

Simoncini, K., & Lasen, M. (2018). Ideas About STEM Among Australian Early Childhood Professionals: How Important is STEM in Early Childhood Education. *International Journal of Early Childhood, 50*, 353–369. https://doi.org/10.1007/s13158-018-0229-5

United Nations. (2015). *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development.* https://sdgs.un.org/2030agenda

United Nations. (2024). *World Population Prospects 2024*: *Summary of Results* (UN DESA/POP/2024/TR/NO.9)

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019). *Assessment of Transversal Competencies*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368479.locale=en

United Nations Environment Programme. (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6 Healthy Planet Healthy People.* Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108627146

World Meteorological Organization. (2024). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2023.* https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023

# การพัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบการฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาคของนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง

# Development of an Instructional Package on Basic Electric Circuit use for Lecture in Micro Teaching Practice of Student Teacher

**นำโชค วัฒนานัย[1*] และ ศุภประดิษฐ์ มาสงค์[2]**

**Numchoke Wattananaiya[1*] and Supapradit Marsong[2]**

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, numchoke.w@fte.kmutnb.ac.th

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

[2]Faculty of Engineering, Thonburi University, supapradit.marsong@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง และประเมินประสิทธิภาพตามเกณฑ์ (2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ (3) ประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา การวิจัยเชิงทดลองนี้มีประชากรคือนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และกลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (หลักสูตร 4 ปี) แขนงวิชาวิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลังและระบบควบคุม จำนวน 21 คน ได้มาด้วยการสุ่มแบบหลายขั้นตอนและการเลือกแบบเจาะจง ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพตามเกณฑ์การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ อย่างไรก็ตาม แม้คะแนนหลังเรียนจะสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 แต่ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) มีค่าเท่ากับ 0.016 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (<0.5) แสดงให้เห็นว่าชุดการสอนมีประสิทธิผลในการพัฒนาการเรียนรู้ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์คาดหวังไว้ แต่ทั้งนี้ นักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดการสอนในระดับมาก

**คำสำคัญ:** ชุดการสอนแบบบรรยาย วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน นักศึกษาวิชาชีพครูช่าง

**Abstract**

This research aimed to (1) develop a lecture-based instructional package on basic electrical circuits for vocational education teacher candidates and evaluate its efficiency based on a specific criterion; (2) compare academic achievement; and (3) assess student satisfaction. The experimental population for this study consisted of vocational education teacher candidates at King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The sample group was comprised of 21 undergraduate students from the Bachelor of Industrial Education Program in Electrical Engineering (4-year curriculum), with a focus on Power and Control System Engineering. The sample

was obtained using multi-stage random sampling and purposive sampling. The research findings revealed that the developed instructional package met the evaluation criteria of the experts. Although post-test scores were significantly higher than pre-test scores at the .05 level, the effectiveness index (E.I.) was only 0.016, which is lower than the set criterion (<0.5). This indicates that the instructional package was not as effective in developing learning as expected. However, students reported a high level of satisfaction with the instructional package.

**Keywords:** Lecture-based instructional package, Basic electrical circuits, Vocational teacher education students

## 1. บทนำ

กำลังคนในสายงานช่างอุตสาหกรรมถือเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยมี "ครูช่าง" ซึ่งมีบทบาทในการถ่ายทอดองค์ความรู้และทักษะทางวิศวกรรม (ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, 2551) การฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูช่างจึงเน้นกลยุทธ์เชิงประสบการณ์ที่ส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง การฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาค (Microteaching) จึงเป็นเทคนิคสำคัญที่ช่วยให้นักศึกษาสามารถฝึกทักษะการสอนในสถานการณ์จำลองขนาดเล็ก และสามารถประยุกต์ใช้วิธีการสอนที่หลากหลายได้ (ชนะ กสิภาร์, 2562) ใช้ระยะเวลาในการฝึกต่อหัวเรื่องย่อยประมาณ 20-30 นาที

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่านักศึกษาวิชาชีพครูช่างยังคงประสบปัญหาหลายประการในการฝึกปฏิบัติการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านคุณภาพของสื่อการสอน และการขาดทักษะพื้นฐานทางวิชาชีพช่างไฟฟ้า เช่น การใช้เครื่องมือวัด การต่อวงจร หรือการแก้ปัญหาด้านความปลอดภัย ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์เสียหายได้ (ขนิษฐา หินอ่อน และสุรพันธ์ ตันศรีวงษ์, 2558) ปัญหาเหล่านี้เป็นผลมาจากการเลือกใช้สื่อการสอนที่ไม่เหมาะสมหรือมีจำนวนจำกัด หรือการขาดความพร้อมก่อนการสอน การขาดทักษะการตั้งคำถาม และการสรุปเนื้อหา ล้วนทำให้ขาดความมั่นใจในการสอน (ขนิษฐา หินอ่อน และสุรพันธ์ ตันศรีวงษ์, 2558; สิริพร อั้งโสภา และคณะ, 2558)

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การพัฒนาสื่อการสอนที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (สยาม แกมขุนทด และคณะ, 2556) งานวิจัยหลายชิ้นได้เสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการค้นพบ (อารีย์ พรหมเล็ก, 2562) การพัฒนาครูผู้สอนให้สามารถสร้างสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พงษ์ธร สิงห์พันธ์, 2559) นอกจากนี้ การใช้ชุดสื่อการสอนยังแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความเข้าใจและพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในเรื่องวงจรไฟฟ้าได้ (วัชพล นาคทอง และ เสกสรรค์ พลศรี, 2553; กนกกาญจน์ เหมะ และคณะ, 2559) และการมีสื่อที่ช่วยสร้างเสริม การเรียนรู้ด้วยตนเอง ใช้ทบทวนเนื้อหาเพื่อให้สำหรับฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาคได้จะเกิดประสิทธิภาพได้เป็นอย่างยิ่ง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา ชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ซึ่งเป็นสื่อประสมเชิงระบบ (ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์, 2560) เพื่อใช้ประกอบการฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาค ชุดการสอนนี้มีเป้าหมายเพื่อช่วยเสริมสร้างความมั่นใจให้กับนักศึกษาในการถ่ายทอดเนื้อหา เชื่อมโยงทฤษฎีไฟฟ้ากับการปฏิบัติ และเติมเต็มความรู้พื้นฐานที่ขาดหายไป โดยผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าชุดการสอนนี้จะช่วยให้นักศึกษาสามารถจัดกิจกรรมฝึกสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามหลักการทางไฟฟ้าต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบการฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาคของนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

**3. สมมติฐานการวิจัย**

3.1 ชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบการฝึกปฏิบัติการสอนแบบจุลภาคของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.2 นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

**4. ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**

การวิจัยนี้ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับชุดการสอนแบบบรรยาย ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีทางการศึกษา โดยแบ่งการปริทัศน์ออกเป็น 4 หัวข้อหลัก ได้แก่ สมรรถนะการคิดทางไฟฟ้าสำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง เทคโนโลยีทางการศึกษา แนวคิดของชุดการสอน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 สมรรถนะการคิดทางไฟฟ้า (Electrical Thinking Competency) สมรรถนะนี้เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ขึ้นเพื่ออธิบายความสามารถที่จำเป็นของนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง โดยรวบรวมจากแนวคิดหลัก 3 ประการ ได้แก่ (1) ทักษะการคิดขั้นสูง เน้นการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา (Gero, Yamin, & Stav, 2017) (2) สมรรถนะทางวิชาชีพครู ครอบคลุมทักษะการสอน การใช้สื่อ และการจัดการชั้นเรียน (สมศักดิ์ ธนพุทธิวิโรจน์ และคณะ, 2563) และ (3) สมรรถนะทางเทคนิค หมายถึง ความรู้และทักษะภาคปฏิบัติที่จำเป็นต่องานช่างไฟฟ้า (Abhichat Anukulwech, 2018) ดังนั้น สมรรถนะการคิดทางไฟฟ้า จึงหมายถึง ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะเหล่านี้ เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ แก้ไขปัญหา และตัดสินใจในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 6 ด้าน ได้แก่ ความรู้พื้นฐานข ทักษะการวิเคราะห์, การออกแบบและสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา การประเมินและตัดสินใจ และการสื่อสาร การพัฒนาสมรรถนะเหล่านี้จะช่วยให้นักศึกษาวิชาชีพครูช่างมีคุณสมบัติที่พึงประสงค์ในการสอนอาชีวศึกษาได้อย่างมีคุณภาพ

4.2 เทคโนโลยีทางการศึกษา คือ ศาสตร์ที่เน้นการนำสื่อและกระบวนการอย่างเป็นระบบมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสอน (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520) โดยมีคุณลักษณะสำคัญคือการใช้แหล่งทรัพยากรที่หลากหลาย เน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง และใช้วิธีการเชิงระบบในการออกแบบและประเมินผล (เปรื่อง กุมุท, 2519) ชุดการสอนแบบบรรยายจึงเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการศึกษาที่ช่วยเปลี่ยนบทบาทของครูจาก "ผู้ถ่ายทอดความรู้" เป็น "ผู้ออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้" ซึ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 ชุดการสอน (Instructional packages) คือ สื่อประสมเชิงระบบที่ออกแบบมาเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเองและเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียน (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520) ชุดการสอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ แบบประกอบการบรรยาย แบบกลุ่ม และแบบรายบุคคล (ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์, 2560) โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นชุดการสอนแบบบรรยาย ซึ่งมี 2 รูปแบบหลัก คือ การสอนแบบเผชิญหน้าและการสอนแบบผ่านสื่อ

4.4 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับชุดการสอนเรื่องวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน พบว่าส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มแรงจูงใจและประสิทธิภาพการเรียนรู้ เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชัน (Duran et al., 2018) และการบูรณาการทฤษฎีกับการปฏิบัติ (Gero, Yamin, & Stav, 2017) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ชี้ว่าชุดการสอนมีความสำคัญในการแก้ปัญหาการขาดความเข้าใจและทักษะของผู้เรียน (Abhichat Anukulwech, 2018) รวมถึงปัญหาการขาดแคลนสื่อการสอนสำหรับครูช่าง (สมศักดิ์ ธนพุทธิวิโรจน์ และคณะ, 2563) งานวิจัยประเภทชุดการสอนแบบบรรยาย ในการฝึกปฏิบัติการสอนนักศึกษาวิชาชีพครูช่างหรือการสอนงานอาชีวศึกษา เท่าที่สืบค้นยังไม่พบงานวิจัยในแนวทางลักษณะนี้ที่จะทำให้นักศึกษาวิชาชีพครูช่างเกิดความมั่นใจในวิชาการของตนเอง

โดยสรุปแล้ว การใช้ชุดการสอนแบบบรรยายร่วมกับการฝึกปฏิบัติการสอนจะช่วยเสริมสร้างทักษะทางช่างไฟฟ้าและเพิ่มความมั่นใจในการสอน ซึ่งเป็นการพัฒนาสมรรถนะที่พึงประสงค์ของนักศึกษาวิชาชีพครูในอนาคต

**5. ระเบียบวิธีวิจัย**

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน (2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ (3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักศึกษาวิชาชีพครูช่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (หลักสูตร 4 ปี) แขนงวิชาวิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลังและระบบควบคุม จำนวน 21 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ได้มาด้วยการสุ่มแบบหลายขั้นตอนและการเลือกแบบเจาะจง

กลุ่มทดลอง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเทียบโอน สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธนบุรี จำนวน 45 คน ใช้ทดลองเครื่องมือเบื้องต้นก่อนนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

5.2 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือหลักในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่เป็นต้นแบบชิ้นงาน และเครื่องมือวัดผลลัพธ์ โดยเครื่องมือเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เพื่อประเมินคุณภาพชุดการสอนตามเกณฑ์ที่กำหนด

1) เครื่องมือที่เป็นต้นแบบชิ้นงาน คือ ชุดการสอนแบบบรรยาย โดยพัฒนาชุดการสอนแบบบรรยายตามหลักการของ ศ.ดร.ชัยยงค์ พรหมวงศ์ ประกอบด้วยเอกสารการสอน ชุดสาธิต และสไลด์คอมพิวเตอร์ ร่วมกับกรใช้โปรแกรมจำลอง ได้แก่ Thikercad และ PhET Interactive Simulations ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้ฟรี โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการดาวน์โหลดและติดตั้ง โดยต้นแบบชิ้นงานผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญและปรับปรุงก่อนนำไปทดลองใช้

2) เครื่องมือวัดผลลัพธ์ ได้แก่ (1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก (แบบคู่ขนาน) จำนวน 32 ข้อๆละ 1 คะแนน สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามอนุกรมวิธานของบลูม ผ่านการตรวจสอบความตรงโดยผู้เชี่ยวชาญและทดสอบความยากง่ายของข้อสอบ พบว่าข้อสอบก่อนเรียนอยู่ในระดับค่อนข้างยาก (p=0.357) และข้อสอบหลังเรียนอยู่ในระดับค่อนข้างง่าย (p=0.692) และ (2) แบบสอบถามความพึงพอใจ เป็นแบบมาตรประมาณค่า 5 ระดับ (Likert's scale) ครอบคลุม 2 ด้าน ได้แก่ คุณภาพของชุดการสอนและผลลัพธ์จากการเรียนรู้ ผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้

โดยผลการประเมินเครื่องมือการวิจัยและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้ (1) ผลการประเมินด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษาอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$=4.97, SD=0.09) มีความพร้อมและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน (2) ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$=4.45, SD=0.50) โดยมีข้อเสนอแนะว่าควรเพิ่มเติมตัวอย่างประกอบการคำนวณเพื่อส่งเสริมความเข้าใจและทักษะการคำนวณให้มากขึ้น (3) แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$=4.83, SD=0.38) โดยข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน แต่มีข้อเสนอแนะให้มีการปรับข้อความที่ยาวให้สั้นกระชับมีความชัดเจน หากเป็นไปได้ให้ปรับเป็น 5 ตัวเลือก เน้นการคิดวิเคราะห์มากกว่าการจำ ควรมีการจัดทำผังวิเคราะห์ข้อสอบ และการเขียนข้อคำถามไม่ควรมีเครื่องหมายคำถาม (?) หลังคำถามนั้น และ (4) คุณภาพแบบสอบถามความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$=4.83, SD=0.31) เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปรับคำที่ใช้ให้ในการสอบถามความพึงพอใจ ควรใช้คำถามที่ไม่มีทิศทาง

5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง มีขั้นตอนดังนี้ (1) ชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัย (2) ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน ตามด้วยการศึกษาชุดการสอน ศึกษาเอกสารและดูการสาธิต สังเกตการณ์สอนและตอบคำถาม และทำแบบทดสอบหลังเรียน และ (3) รวบรวมข้อมูลจากแบบทดสอบและแบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อนำไปวิเคราะห์

5.4 การประเมินและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อประเมินผลตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

1) ประสิทธิภาพของชุดการสอนแบบบรรยาย ตามแนวคิดของ ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์ (2560) ประเมินโดยผู้สอน (ประเมินตนเอง) ร่วมกับนักเรียน มีวิธีการดังนี้ คือ (1) ประเมินเอกสารการสอนและสื่อ ในด้านกายภาพและด้านเทคนิค (2) ประเมินกิจกรรมประกอบชุดการสอนแบบบรรยาย ความเหมาะสมของเรื่องที่บรรยายกับระยะเวลาและกิจกรรมที่ใช้ และ (3) ประเมินเนื้อหาสาระของการบรรยาย ความยากง่าย วัตถุประสงค์ และลำดับขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหา

1.1) เกณฑ์ด้านกระบวนการ (Process) กำหนดให้ชุดการสอนแบบบรรยายต้องผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญในระดับดีขึ้นไป (ค่าเฉลี่ย >4.00)

1.2) เกณฑ์ด้านผลลัพธ์ (Product) ประกอบด้วย (1) ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป และ (2) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้วยสถิติ t-test สำหรับกลุ่มตัวอย่างเดียว (Paired-Sample t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

2) การวิเคราะห์ความพึงพอใจ ใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อแปลความหมายตามเกณฑ์ของ Likert Rating Scale 5 ระดับ

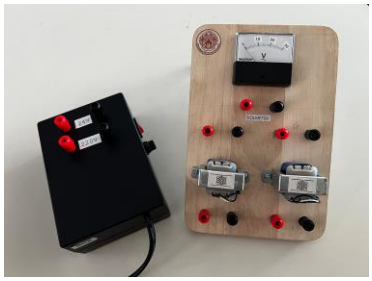
**6. ผลการวิจัย**

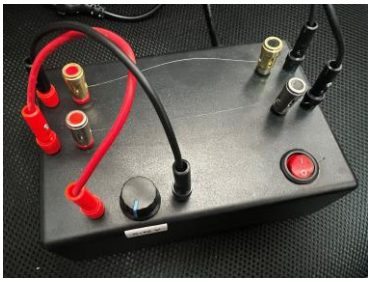
6.1 ผลการพัฒนาชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูช่าง เป็นชุดสื่อประสมที่ออกแบบอย่างเป็นระบบและผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ชุดการสอนประกอบด้วยสื่อหลัก ได้แก่ เอกสารสาระการเรียนรู้และชุดสาธิตประกอบการสอน และสื่อเสริม ได้แก่ สไลด์คอมพิวเตอร์ ใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์จำลองวงจรไฟฟ้าที่อนุญาตให้ใช้งานฟรีโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดาวน์โหลดหรือติดตั้ง ซึ่งช่วยให้นักศึกษาวิชาชีพครูช่างได้รับความรู้และประสบการณ์ที่จำเป็นต่อการพัฒนาทักษะทางช่างไฟฟ้าอย่างครบถ้วน

ก) ชุดทดลองกฎของโอห์ม

ข) ชุดทดลองกำลังไฟฟ้า

ค) ชุดทดลองการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า


ง) ชุดทดลองหม้อแปลงไฟฟ้า


จ) ชุดทดลองความร้อนในสายตัวนำไฟฟ้า

ฉ) ชุดทดลองตัวเก็บประจุไฟฟ้า

**ภาพที่ 1** สื่อภายในชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

6.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน จากการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของผู้เรียน (22.14 คะแนน) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (11.43 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งยืนยันว่าชุดการสอนมีผลต่อการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนจริง ดังตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.016 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับกันทั่วไป (<0.50) ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าชุดการสอนมีประสิทธิผลในการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนในระดับต่ำกว่าที่คาดหวังไว้

**ตารางที่ 1** ผลคะแนนของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย (n=21)

| | Mean | S.D. | ค่าเฉลี่ยของผลต่าง | S.D. ค่าเฉลี่ยผลต่าง | t | df | Sig. 1 tailed |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนเรียน | 11.43 | 2.925 | 10.71 | 3.676 | 13.356* | 20 | 0.000 |
| หลังเรียน | 22.14 | 1.957 | | | | | |

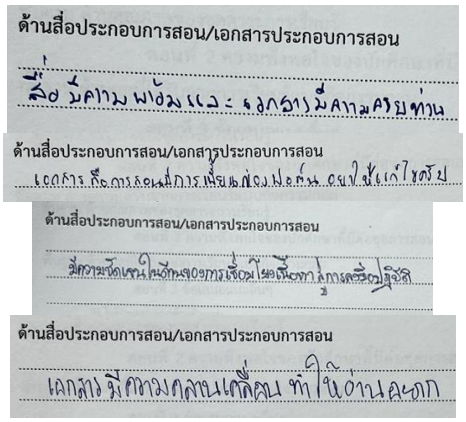
**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความพึงพอใจด้านคุณภาพของชุดการสอนแบบบรรยาย

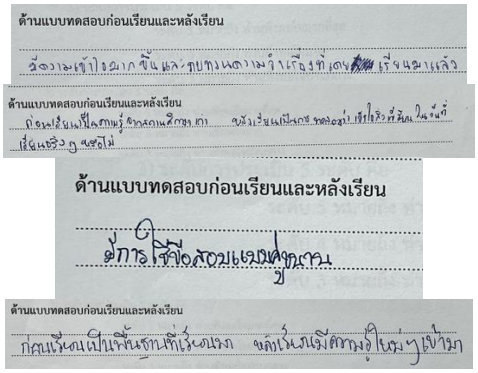
| รายการประเมิน | ระดับ |
|---|---|
| 1. คุณภาพของเอกสารประกอบการสอนแบบบรรยาย | |
| 1.1 เนื้อหาสาระในเอกสารการสอน เรื่อง ไฟฟ้าเบื้องต้น ($\bar{X}$=4.47, SD=0.51) | มาก |
| 1.2 การนำเสนอตัวอย่างในเอกสารชุดการสอนแบบบรรยาย ($\bar{X}$=4.35, SD=0.61) | มาก |
| 1.3 ภาษาที่ใช้ในเนื้อหาสาระ ($\bar{X}$=4.24, SD=0.66) | มาก |
| 1.4 ปริมาณของเนื้อหาสาระในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$=4.06, SD=0.90) | มาก |
| 1.5 การจัดเรียงลำดับการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$=4.53, SD=0.72) | มากที่สุด |
| 2. คุณภาพของสไลด์คอมพิวเตอร์ | |
| 2.1 การสรุปสาระสำคัญด้วยสไลด์คอมพิวเตอร์ในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$=4.35, SD=0.61) | มาก |
| 2.2 ข้อความในสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$=3.82, SD=0.95) | มาก |
| 2.3 ภาพในสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$=4.29, SD=0.69) | มาก |
| 2.4 การจัดเรียงลำดับและรูปแบบการนำเสนอของสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$=4.41, SD=0.71) | มาก |

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินความพึงพอใจด้านผลที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย

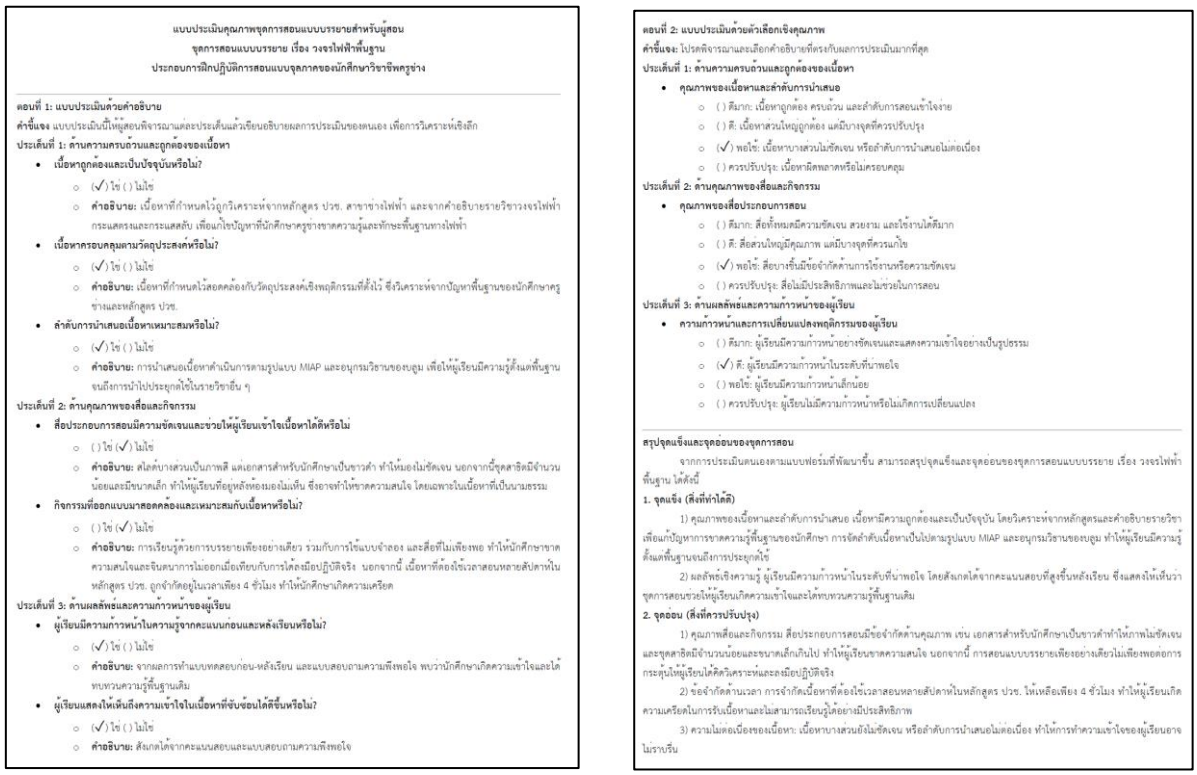
| รายการประเมิน | ระดับ |
|---|---|
| 1. ประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย ($\bar{X}$=4.35, SD=0.70) | มาก |
| 2. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ($\bar{X}$=4.53, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 3. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาตนเอง ($\bar{X}$=4.59, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 4. การมีโอกาสได้ศึกษาร่วมกันและทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม ($\bar{X}$=4.35, SD=0.70) | มาก |
| 5. การใช้ชุดการสอนแบบบรรยายในการสร้างความมั่นใจในด้านวิชาการของนักศึกษา เกี่ยวกับ วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ($\bar{X}$=4.18, SD=0.81) | มาก |
| 6. นักศึกษาพอใจที่ได้ศึกษาด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ($\bar{X}$=4.24, SD=0.66) | มาก |
| 7. นักศึกษาจะนำความรู้ที่ได้รับ ไปเผยแพร่ให้กับบุคคลอื่น ($\bar{X}$=4.24, SD=0.66) | มาก |
| 8. นักศึกษาพอใจต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ ตามที่คาดหวังไว้ ($\bar{X}$=4.41, SD=0.71) | มาก |
| 9. ควรสนับสนุนให้มีการใช้ชุดการสอนแบบบรรยาย กับรายวิชาอื่น ($\bar{X}$=4.47, SD=0.62) | มาก |
| 10. ภาพรวมของนักศึกษาที่มีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน ($\bar{X}$=4.53, SD=0.51) | มากที่สุด |

ข้อเสนอแนะอื่นๆ






**ภาพที่ 1** ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมจากแบบสอบถามความพึงพอใจ




**ภาพที่ 2** แบบประเมินคุณภาพชุดการสอนสำหรับผู้สอน

6.3 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ด้านคุณภาพของชุดสาระการเรียนรู้ ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้ และข้อเสนอแนะอื่นๆ โดยใช้มาตรวัด 5 ระดับ (5 = พึงพอใจมากที่สุด, 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด) ดังนี้

1) ด้านคุณภาพของชุดสาระการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 4.28 (S.D. 0.42) ซึ่งอยู่ในระดับพึงพอใจมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นการจัดเรียงลำดับเนื้อหาที่มีการเชื่อมโยงกัน

2) ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 4.39 (S.D. 0.43) ซึ่งอยู่ในระดับ พึงพอใจมาก โดยนักศึกษามีความพึงพอใจมากที่สุดในประเด็นการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ และการพัฒนาตนเอง

**7. อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาและประเมินคุณภาพของชุดการสอนแบบบรรยาย เรื่อง วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน อภิปรายผลได้ตามประเด็นหลักดังนี้

7.1 ประสิทธิภาพชุดการสอน ชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นได้รับการออกแบบอย่างเป็นระบบและผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ทำให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดในด้านกระบวนการ (Process) สอดคล้องกับแนวคิดของ ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และ ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์ (2560) ที่เน้นความครบถ้วนขององค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม ในด้านผลลัพธ์ (Product) พบว่าค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) มีค่าเท่ากับ 0.016 ซึ่งไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดน้อยกว่า 0.50 (<0.50) แสดงให้เห็นว่าชุดการสอนมีประสิทธิผลในการพัฒนาการเรียนรู้ในระดับต่ำกว่าที่คาดหวังไว้

สาเหตุที่ค่า E.I. ต่ำกว่าเกณฑ์สามารถวิเคราะห์ได้จากหลายปัจจัย ด้านชุดการสอนเอง เช่น สื่อที่ไม่ชัดเจน กิจกรรมไม่เพียงพอและเหมาะสมกับการประกอบการบรรยาย ด้านผู้เรียนมีพื้นฐานความรู้ไม่เท่ากัน ขาดแรงจูงใจ และด้านการจัดการเรียนรู้ ซึ่งระยะเวลาการสอนที่สั้นเกินไปเมื่อเทียบกับเนื้อหาที่ซับซ้อน สอดคล้องกับการประเมินตนเองของผู้สอนที่ระบุถึงข้อจำกัดเหล่านี้ อีกทั้งยังปรับปรุงคุณภาพข้อสอบให้มีคุณภาพเน้นการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหามากกว่าการจำ

อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งยืนยันว่าชุดการสอนมีผลต่อการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนจริง นอกจากนี้ ผู้เรียนยังมีความพึงพอใจในระดับมากต่อชุดการสอน เนื่องจากสื่อการสอนช่วยให้นักศึกษาครูช่างมีความมั่นใจในความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้าและกิจกรรมเชิงปฏิบัติ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aharon Gero et al. (2017) ที่กล่าวถึงการสร้างความสนใจในการเรียนสอดคล้องกับการประเมินตนเองของผู้วิจัย พบว่า ชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นนี้มีจุดแข็งด้านเนื้อหาที่มีความถูกต้องและจัดลำดับอย่างเป็นระบบ ทำให้ผู้เรียนมีความก้าวหน้าเชิงความรู้ที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตาม มีจุดอ่อนสำคัญด้านคุณภาพสื่อบางหัวข้อที่พอพอเพียง และกิจกรรมที่ไม่เพียงพอเนื่องจากเน้นเพียงการบรรยาย รวมถึงข้อจำกัดด้านเวลาที่สั้นเกินไปสำหรับการสอนเนื้อหาเพียงแค่ 4 ชั่วโมงขณะทดลอง ซึ่งทำให้เนื้อหาบางส่วนไม่ต่อเนื่องและผู้เรียนเกิดความเครียดในการรับเนื้อหาภายในเวลาที่จำกัด

7.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความถึงพอใจ

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนหลังเรียนของผู้เรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mircea-Emilian Ardeleanu et al. (2018) และ Abhichat Anukulwech (2018) ที่พบว่าชุดการสอน ผ่านการพัฒนาอย่างเป็นระบบช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้

2) ความพึงพอใจ ผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการจัดเรียงเนื้อหา และการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ การที่ผู้เรียนมีความพึงพอใจนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Aharon Gero et al. (2017) ที่กล่าวถึงการสร้างความสนใจในการเรียน ซึ่งนำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น

7.3 แนวทางการพัฒนาเพื่อยกระดับคุณภาพการสอน จากการสรุปผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ การประเมินตนเองของผู้วิจัย และการประเมินผลความพึงพอใจของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างที่ได้ศึกษาชุดการสอนแบบบรรยาย และข้อจำกัดที่พบในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้ชุดการสอนแบบบรรยายมีคุณภาพและเหมาะสำหรับการสอนนักศึกษาวิชาชีพครูช่างอย่างแท้จริง จึงมีข้อเสนอแนะในการดำเนินการต่อไปดังนี้ (1) ปรับปรุงคุณภาพสื่อและกิจกรรม (2) ส่งเสริมการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ (3) ขยาย

ระยะเวลาการสอน และ (4) บูรณาการกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งการดำเนินการตามข้อเสนอแนะเหล่านี้จะช่วยยกระดับคุณภาพของชุดการสอนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเป็นเครื่องมือที่ทรงคุณค่าในการพัฒนาสมรรถนะของนักศึกษาวิชาชีพครูช่างต่อไป

**8. เอกสารอ้างอิง**

กนกกาญจน์ เหมะ, มานิตย์ สิทธิชัย และธีรพงษ์ วิริยานนท์. (2559). ผลเปรียบเทียบชุดการสอนที่สร้างขึ้นกับกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ รายวิชาพื้นฐานวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า (113-32-08) หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. กรุงเทพฯ: *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม มจพ. 7*(1).

ขนิษฐา หินอ่อน และสุรพันธ์ ตันศรีวงษ์. (2558). ปัญหาและแนวทางพัฒนากระบวนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพด้านการสอน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมกล้าพระนครเหนือ. 6*(1). น.159-167.

ชนะ กสิภาร์. (2562). 50 ปี ครูช่าง พระจอมเกล้าพระนครเหนือ: ก้าวแรกของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ.2512-2522. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์, สมเชาว์ เนตรประเสริฐ และ สุดา สินสกุล. (2520). ระบบสื่อการสอน (อัดสำเนา). กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอน. *วารสารศิลปกรศึกษาศาสตร์วิจัย. นครปฐม: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 5*(1).

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่. (2551-2). หลักการจัดการเรียนการสอนช่างอุตสาหกรรม: หลักการสอนภาคทฤษฎี. กรุงเทพฯ: สนพ. บริษัท เอดิสันเพรสโพรดักส์ จำกัด.

พงษ์ธร สิงห์พันธ์. (2559). แนวทางการพัฒนาบทบาทหน้าที่และรูปแบบการพัฒนาครูของคณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ในฐานะสถาบันอุดมศึกษาของท้องถิ่นที่สอดคล้องกับความคาดหวังของสถานขั้นพื้นฐานสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา. *วารสารบริหารการศึกษาบัวบัณฑิต มหาวิทยาลัย ราชภัฏอุบลราชธานี. 16*(1). น.37-45.

วัชรพล นาคทอง และเสกสรรค์ พลศรี. (2553). การแก้ปัญหาการเรียนของนักศึกษา ปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3/4 ภาคเรียน 1 ปีการศึกษา 2553 เรื่อง การคำนวณวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับเพื่อเปรียบเทียบกับการวัดและทดสอบในวิชาปฏิบัติวงจรไฟฟ้า (Electrical circuit lab) (งานวิจัย). สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคงอีสาน.

วาสนา ทวีกุลทรัพย์. (2560). เอกสารการสอนชุดวิชา สื่อการศึกษาพัฒนสรร: หน่วยที่ 3 ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม. นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์. (2560). สื่อการศึกษาพัฒนสรร: หน่วยที่ 2 ชุดการสอนแบบบรรยาย. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สมพงษ์ แก้วหวัง, ปิยะ ประสงค์จันทร์, วิชาญ เพชรมณี, ธนัสถ์ นนทพุทธ, บุษราคัม ทองเพชร, กมลวรรณ สูตแก้ว และนภัสชญา วัตนไกรกูล. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดสาธิตการทำงานของอุปกรณ์ลอจิกเกตพื้นฐานสำหรับรายวิชาดิจิตอลพื้นฐาน เพื่อส่งเสริมทักษะการปฏิบัติ สำหรับนักศึกษาครูช่างอุตสาหกรรม. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 12 (NCTechED 12th). กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (p.239-246).

สมศักดิ์ ธนพุทธิวิโรจน์, ปาริชาติ กินรี, วิชิต สุทธิพร และจิรโรจน์ สามารถโชติพันธุ์. (2563). การศึกษาสภาพปัญหาและปัจจัยที่ใช้ในการเรียนการสอนของครูช่างอุตสาหกรรม สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 12 (NCTechED 12th). กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (p.104-109).

สยาม แกมขุนทด รัตนา ศิริพานิช และสันชัย อินทพิชัย. (2556). การสังเคราะห์งานวิจัยด้านการเรียนการสอนอาชีวศึกษาโดยการวิเคราะห์อภิมาน. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 4*(2). น.60-70.

สิริพร อั้งโสภา สุราษฎร์ พรมจันทร์ และสิริลักษณ์ หาญวัฒนานุกูล. (2558). รูปแบบการให้คำปรึกษาแนะนำนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมกล้าพระนครเหนือ. 6*(2). น.40-47.

อารีย์ พรหมเล็ก. (2562). กระบวนทัศน์การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมสมรรถนะการคิด สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครู. *วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย. 11*(2). น.65-78.

Abhichat Anukulwech. (2018). The development of Instructional Packages of Op Amps and Linear IC for Curriculum Diploma of Vocational Education Students. 3rd Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON).

Aharon Gero, Netanel Yamin, Yinnon Stav. (2016). How to increase students' interest in a basic electric circuits course?. 11th European Workshop on Microelectronics Education (EWME). IEEE.

Aharon Gero, Netanel Yamin, Yinnon Stav. (2017). Combining Real-World Examples in a Basic Electrical Engineering Course: Students’ Attitudes. 27th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE). IEEE.

M. J. Duran, A. Fernandez, I. Gonzalez, A. Gonzalez, A. Duran and L. Parras. (2018). Discovering EnjoyCircuits: the Mobile App for Fundamentals of Electric Engineering. XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE). IEEE. pp1-6.

Mircea-Emilian Ardeleanu, Dan-Gabriel Stănescu, Mădălin Drăghici, Victor Preoteasa. (2018). A Compact Experimental Device for the Study of Transient Mode in Electrical Circuits. International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE). Romania.

# การพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม

# Development of an Activities Group Instructional Package on the Induction Principle of Hydro Power Plants for Student-Teacher in Engineering Education

**นำโชค วัฒนานัย[1]*, เอกกมล บุญยะผลานันท์[2]**

**Numchoke Wattananaiya[1]*, Ekkamol Boonyapalanant[2]**

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, numchoke.w@fte.kmutnb.ac.th

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, ekkamol.b@fte.kmutnb.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนาและประเมินชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการสอนให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ (2) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอน และ (3) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดการสอน กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรเทียบโอน สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (แขนงวิชาไฟฟ้ากำลัง) จำนวน 23 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมมีประสิทธิภาพเท่ากับ 76.48/73.38 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด 70/70 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักศึกษามีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ด้วยชุดการสอนในระดับมากที่สุด

**คำสำคัญ:** ชุดการสอนแบบบกลุ่มกิจกรรม การเหนี่ยวนำไฟฟ้า โรงต้นกำลัง ครุศาสตร์วิศวกรรม

**Abstract**

This experimental research aimed to develop and evaluate a group activity-based instructional package on the principles of electrical induction in hydropower plants for engineering education student-teachers. The objectives were to (1) develop the instructional package to meet an efficiency criterion, (2) study the learning achievement of students using the package, and (3) study the satisfaction of students with the package. The sample group consisted of 23 undergraduate students in the Electrical Engineering (Power Engineering specialization) transfer program. The research findings revealed that the group activity-based instructional package had an efficiency of 76.48/73.38, which met the specified 70/70 criterion. The post-test learning achievement of the students was statistically significantly higher than the pre-test learning achievement at the .05 level, and the students expressed the highest level of satisfaction with the instructional package.

**Keywords:** Group activity instructional package, Electrical induction, Power plant, Engineering education

## 1. บทนำ

การพัฒนาวิชาชีพครูช่างในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะกลุ่มนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม (พรรณอร อุชุภาพ, 2561) ที่ต้องมีความรู้และทักษะทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ (สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์, 2526; พิสิฐ เมธาภัทร และ ธีระพล เมธีกุล, 2531) กิจกรรมการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ (Practical training) เช่น workshop, laboratory, project, industrial training และ industrial visit เป็นสิ่งสำคัญในการสร้างสมรรถนะที่สอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนในยุคปัจจุบัน (ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่, 2557) โดยสมรรถนะครูช่างควรครอบคลุมหลายด้าน เช่น การจัดการเรียนรู้ การบริหารจัดการชั้นเรียน และการทำงานเป็นทีม (ปัณยตา บัณฑิตกุล และคณะ, 2562)

อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจเบื้องต้นของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พบปัญหาสำคัญคือ นักศึกษาขาดความเข้าใจในหลักการพื้นฐานทางไฟฟ้าและความมั่นใจในการสอนเนื้อหาเกี่ยวกับแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิชาเฉพาะทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายวิชา (ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า, 2560) นอกจากนี้ยังพบปัญหาการขาดแคลนและชำรุดของสื่อการสอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ขนิษฐา หินอ่อน และ สุรพัรธ์ ตันศรีวงษ์ (2558) ที่พบว่านักศึกษามักขาดความมั่นใจและสื่อการสอน

เนื้อหาเกี่ยวกับแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเนื้อหาที่สำคัญสำหรับงานวิศวกรรม (จารุณี เนียมทอง, 2549) แต่มักถูกมองว่าเป็นเรื่องที่ยากและเป็นนามธรรม (พรรณรัตน์ อาภรณ์พิศาล, 2548; วารินี วีระสินธุ์ และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล, 2562) การเรียนรู้กฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์จำเป็นต้องมีการทดลองควบคู่ไปด้วยเพื่อเพิ่มความเข้าใจ (ธนาวุฒิ อันทะหวา, 2555)

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยเล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนา ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักศึกษามีความเข้าใจในหลักการพื้นฐาน สร้างแรงจูงใจและความมั่นใจในการสอน ตลอดจนส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าชุดการสอนที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้เนื้อหาที่ยากกลายเป็นรูปธรรมได้ง่ายขึ้น (สมมารถ ขำเกลี้ยง, 2547) และชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมจะช่วยส่งเสริมการทำงานเป็นทีมและการเรียนรู้ที่ยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (นิคม ทาแดง, 2560; วาสนา ทวีกุลทรัพย์, 2560) ชุดการสอนนี้จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดการเรียนการสอนและเตรียมความพร้อมให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรมอย่างแท้จริง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรมที่เรียนด้วยชุด การสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ

2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรมที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ

**3. สมมติฐานการวิจัย**

3.1 ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70

3.2 นักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

**4. ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม โดยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องใน 4 ด้านหลัก ได้แก่ เทคโนโลยีทางการศึกษาและสื่อสารการสอน ชุดการสอน ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 เทคโนโลยีทางการศึกษาและสื่อการสอน คือ การนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้อย่างเป็นระบบเพื่อออกแบบและพัฒนาการเรียนการสอน (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520) โดยครอบคลุมสื่อและวิธีการที่หลากหลายเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและตอบสนองความต้องการเฉพาะบุคคล การจัดการเรียนการสอนที่เน้น "การเรียนรู้จากการกระทำ" (Learning by doing) ตามแนวคิดของ John Dewey ต้องใช้สื่อการสอนที่เหมาะสมเพื่อช่วยถ่ายทอดความรู้ให้บรรลุวัตถุประสงค์ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520; นิมคม ทาแดง, 2560) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสอนเชิงวิศวกรรมที่เน้นทักษะการปฏิบัติ การเลือกใช้สื่อต้องพิจารณาจากวัตถุประสงค์และเนื้อหา เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ที่แท้จริง

4.2 ชุดการสอน (Instructional packages or Learning kits) เป็นนวัตกรรมที่นำสื่อประสมมาจัดระบบให้สอดคล้องกับเนื้อหาและประสบการณ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520) แนวคิดนี้เน้นการเรียนรู้ด้วยตนเองและเปลี่ยนบทบาทครูให้เป็นผู้จัดประสบการณ์ ชุดการสอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ชุดการสอนประกอบการบรรยาย ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม และชุดการสอนแบบรายบุคคล (ศันสนีย์ สังสรรค์อนันต์, 2560; วาสนา ทวีกุลทรัพย์, 2560) องค์ประกอบทั่วไปของชุดการสอนประกอบด้วย คู่มือและแบบฝึกปฏิบัติบัตรคำสั่ง เนื้อหา สื่อ และการประเมินผล (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520)

4.3 ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม (Instructional Group Activity Package) คือ ชุดการสอนที่ออกแบบมาเพื่อให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่มเล็ก (วาสนา ทวีกุลทรัพย์, 2560) ชุดการสอนประเภทนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการถ่ายทอดเนื้อหาที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรม เพราะช่วยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง แสดงความคิดเห็น และทำงานร่วมกัน ส่งเสริมบรรยากาศการเรียนรู้ที่ดีและสร้างทัศนคติเชิงบวกต่อวิชา (วาสนา ทวีกุลทรัพย์, 2560) องค์ประกอบสำคัญของชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมประกอบด้วย คู่มือ แบบฝึกปฏิบัติ เนื้อหา สื่อ และการประเมินผล การใช้ชุดการสอนนี้มีขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นทดสอบก่อนเรียน ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นประกอบกิจกรรม ขั้นสรุปบทเรียน และขั้นทดสอบหลังเรียน (วาสนา ทวีกุลทรัพย์, 2560) ในการผลิตชุดการสอน ผู้วิจัยได้ประยุกต์กระบวนการจาก "ระบบการผลิตชุดการสอนแผนจุฬา" (Chula Plan) ของ ศ.ดร.ชัยยงค์ พรหมวงศ์

4.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาพบว่างานวิจัยที่พัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมที่เชื่อมโยงหลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเข้ากับโรงต้นกำลังกังหันน้ำสำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรมโดยเฉพาะนั้น พบว่า ยังมีอยู่น้อยฉบับ งานวิจัยที่ค้นพบ ได้แก่

1) ด้านชุดการสอนและสิ่งประดิษฐ์เกี่ยวกับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า งานวิจัยของ นันทนัช วัฒนสุภิญโญ (2563) ชี้ให้เห็นว่าชุดทดลอง เรื่อง กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเพื่อเป็นสื่อการสอน (เดชวิชัย พิมพ์โคต และคณะ, 2561; วิชิต มาลาเวช, 2556; คมกริช ประกอบธรรม, 2555; พลังวัชร์ แพ่งธีระสุขมัย, 2554) และงานวิจัยที่พัฒนาชุดการสอนเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนสื่อ (ชาญชัย ทองประสิทธิ์ และคณะ, 2560; ศุภกร กตาธิการกุล, สุเจนต์ พรมเหมือน และปิติ พานิชายุนนท์, 2556) ซึ่งทั้งหมดนี้ยืนยันถึงความสำคัญของการมีสื่อที่เหมาะสมกับการเรียนการสอน เรื่อง การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

2) ด้านการจัดการเรียนการสอนและกิจกรรมการเรียนรู้ งานวิจัยหลายชิ้นสนับสนุนการเรียนรู้ที่เน้นกิจกรรมและกระบวนการกลุ่ม (Rajendra Pawar et al., 2019; ชุฏิภัคศ์ เขมวิมุตติวงศ์, 2560; วารินี วีระสินธุ์ และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล, 2562; สมเกียรติ ตั้งมนัสตรง, 2558; สมพร หริตกุล, 2556) ซึ่งช่วยเพิ่มความกระตือรือร้นและความมั่นใจของผู้เรียน

โดยสรุป งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสนับสนุนแนวคิดการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนเชิงสาธิตและทดลองเพื่อทำความเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์และวิศวกรรม อย่างไรก็ตาม การสืบค้นยังไม่พบงานวิจัยใดที่พัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมและมีการเชื่อมโยงหลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเข้ากับโรงต้นกำลังกังหันน้ำโดยตรง สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม การพัฒนาชุดการสอนนี้ในครั้งนี้จึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจและทักษะการประยุกต์ใช้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงและการทำงานร่วมกันเป็นทีม

**5. ระเบียบวิธีวิจัย**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาและประเมินชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2) กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 หลักสูตรเทียบโอน ชั้นปีที่ 1 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (แขนงวิชาไฟฟ้ากำลัง) (TTE 1 P) จำนวน 23 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในภาคเรียนที่ 2/2567 ได้มาโดยวิธีการ ดังนี้ (1) เลือกแบบเจาะจง และ (2) จับฉลากเลือกได้นักศึกษาหลักสูตรเทียบโอน

5.2 เครื่องมือการวิจัย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ชุดการสอน และเครื่องมือวัด

1) ชุดการสอแบบกลุ่มกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้พื้นฐานแนวคิดของศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ พรหมวงศ์ ประกอบด้วยสื่อหลัก คือ เอกสารประกอบการสอนและแบบฝึกปฏิบัติ และสื่อเสริม คือ สไลด์คอมพิวเตอร์ ตรวจสอบและปรับปรุงจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เกณฑ์ประสิทธิภาพ E1/E2 โดยตั้งค่าเป้าหมาย 70/70 (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2556)

2) เครื่องมือวัดผล คือ แบบทดสอบก่อน-หลังเรียน เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือกแบบคู่ขนาน เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบสอบถามความพึงพอใจแบบสอบถาม 3 ตอน ประกอบด้วยแบบมาตรประมาณค่า (Likert's scale) 5 ระดับ และแบบเขียนตอบ ผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

2.1) ด้านเนื้อหา คุณภาพเนื้อหาและกิจกรรมในชุดสาระอยู่ในระดับดี

2.2) ด้านเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คุณภาพของเอกสารประกอบการสอน ใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ สื่อและสไลด์อิเล็กทรอนิกส์ คุณภาพในภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีความพร้อมและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยปรับปรุงการใช้ลำดับ

ตัวเลขของหัวข้อเรื่องให้มีสัญลักษณ์เดียวกัน การใช้คำภาษาไทยทับศัพท์ชื่อนักวิทยาศาสตร์หรือผู้ค้นพบปรากฏการณ์ ปรับความคมชัดของภาพในเอกสาร และเพิ่มเติมรายละเอียดของคำสั่งในใบกิจกรรมให้ชัดเจน

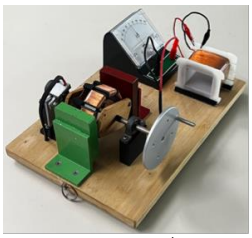
2.3) ด้านการวัดและประเมินผล คุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน แต่ควรปรับปรุงภาพถ่ายในแบบทดสอบให้คมชัด แบบทดสอบควรมี 5 ตัวเลือก มีข้อเสนอแนะให้ใช้สัญลักษณ์ตัวเลือกให้เป็นแบบเดียวกัน เช่น ก. หรือ ก) ปรับข้อคำถามให้เน้นการคิดวิเคราะห์มากกว่าความจำ

2.4) ด้านแบบสอบถามความพึงพอใจ ปรับแก้ไขคำและอักขระที่ผิด การถามความถึงพอใจควรเป็นข้อคำถามที่ไม่มีทิศทาง ถ้าเป็นคำถามที่มีทิศทางจะเป็นการถามความคิดเห็น และควรใช้ scale ระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

5.3 ลำดับการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้ (1) ขั้นเตรียมความพร้อม ผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์และวิธีการใช้ชุดการสอนแก่นักศึกษา (2) ขั้นดำเนินการทดลอง โดยให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) จากนั้นให้นักศึกษาเรียนรู้และทำกิจกรรมตามชุดการสอน (Practical training) จำนวน 7 กิจกรรม คะแนนรวมทั้งสิ้น 39 คะแนน เมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมแล้วผู้วิจัยให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) จากนั้นให้นักศึกษาตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน และ (3) ขั้นเก็บข้อมูลผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและระดับความพึงพอใจ

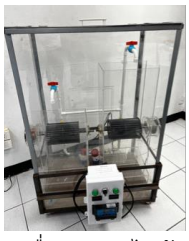
## 6. ผลการวิจัย

6.1 ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เป็นสื่อประสมที่บูรณาการวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการระบบ ประกอบด้วย แบบฝึกปฏิบัติหรือใบงาน สื่อหลักและสื่อเสริม เนื้อหาสาระ และการประเมินผล สื่อหลักสำหรับใช้สอนแบบกลุ่มกิจกรรม ได้แก่ (1) เอกสารประกอบการสอนหรือชุดสาระการเรียนรู้ และ (2) ชุดสาธิต ประกอบด้วย ชุดทดลองการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดสาธิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยมีสื่อเสริม ได้แก่ สไลด์คอมพิวเตอร์ประกอบการสอน และซอฟต์แวร์เพื่อใช้งานฟรี โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ในการดาวน์โหลดและติดตั้ง นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ การทดลองเบื้องต้นมีประสิทธิภาพ $E_1/E_2$ = 76.48/73.38 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 70/70



ก) ชุดทดลองการเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ข) แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



ค) ชุดสาธิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ

**ภาพที่ 1** สื่อการสอนของชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม

6.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรมที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ แสดงดังตารางที่ 1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการทดสอบพบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของนักศึกษาสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 24.83 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนอยู่ที่ 35.70

**ตารางที่ 1** ผลคะแนนของผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม (n=23)

| | Mean | S.D. | ค่าเฉลี่ยของผลต่าง | S.D. ค่าเฉลี่ยผลต่าง | t | df | Sig 1 tailed |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนเรียน | 24.83 | 4.324 | 10.87 | 4.930 | 10.575* | 22 | 0.000 |
| หลังเรียน | 35.70 | 4.762 | | | | | |

6.3 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ตอน โดยตอนที่ 1 สอบถามเกี่ยวกับคุณภาพของชุดสาระการเรียนรู้ ตอนที่ 2 สอบถามเกี่ยวกับผลที่ได้รับจากการเรียนรู้แบบกิจกรรมกลุ่ม และตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะอื่นๆ โดยใช้ระดับการประเมิน 5 ระดับ โดย 5 = พึงพอใจมากที่สุด และ 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา ผลการประเมินด้านคุณภาพของชุดการสอนโดยรวมอยู่ในระดับ "มากที่สุด" ด้วยค่าเฉลี่ย 4.50 โดยเฉพาะในด้านเนื้อหา การจัดเรียงลำดับ การใช้ภาษา และคุณภาพของสื่อ ดังนี้

1) ด้านคุณภาพของชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม ค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.50 ซึ่งแปลผลได้ว่านักศึกษามีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะการจัดเรียงลำดับเนื้อหาที่มีการเชื่อมโยงกันได้ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

2) ด้านผลที่ได้รับจากการเรียนรู้ด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม ค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.57 ซึ่งแปลผลได้ว่านักศึกษามีความพึงพอใจในระดับมาก นักศึกษามีความพึงพอใจมากที่สุดในเรื่องการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ การพัฒนาตนเอง และภาพรวมของความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม

3) ข้อเสนอแนะ ได้แก่ (1) ด้านสื่อประกอบการสอน/เอกสารประกอบการสอน มีความน่าสนใจ เนื้อหาการเรียนครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ สื่อสวยงาม เอกสารเนื้อหาครบถ้วน สื่อดีมาก ทำให้เห็นภาพ มีการทดลองจริง แต่ควรมีสื่อเพิ่มขึ้น เช่น วิดีโอเพื่อให้เข้าใจง่าย (2) ด้านกิจกรรมและใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ ชิ้นงานครอบคลุมเนื้อหาการเรียนรู้ กิจกรรมสอดคล้องกับงานและเนื้อหา แบบฝึกหัดเข้าใจง่ายหากเรียนตามเนื้อหาไม่ยากเกินไป เหมาะสม สนุกมีความเข้าใจไม่เครียด ใบงานกระตุ้นการคิดวิเคราะห์และเชื่อมโยงกับประเด็นที่เรียน (3) ด้านแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ครบถ้วนดีสามารถตรวจสอบพัฒนาการผู้เรียนได้ ทำให้รู้ได้ว่าก่อนเรียนและหลังเรียนเราทำให้มากน้อยแค่ไหน มีคำถามปลายเปิดเพื่อกระตุ้นการแสดงความคิดเห็นและวิเคราะห์ และ (4) ด้านอื่น ๆ ควรเพิ่มอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ สื่อบางเรื่องมีจำนวนน้อยเกินไปทำให้เพื่อนต้องมุงดูเลยมองไม่เห็น เรียนได้สนุกสนานไม่มีการตึงเครียด ทำให้บรรยากาศในห้องผ่อนคลายน่าเรียน

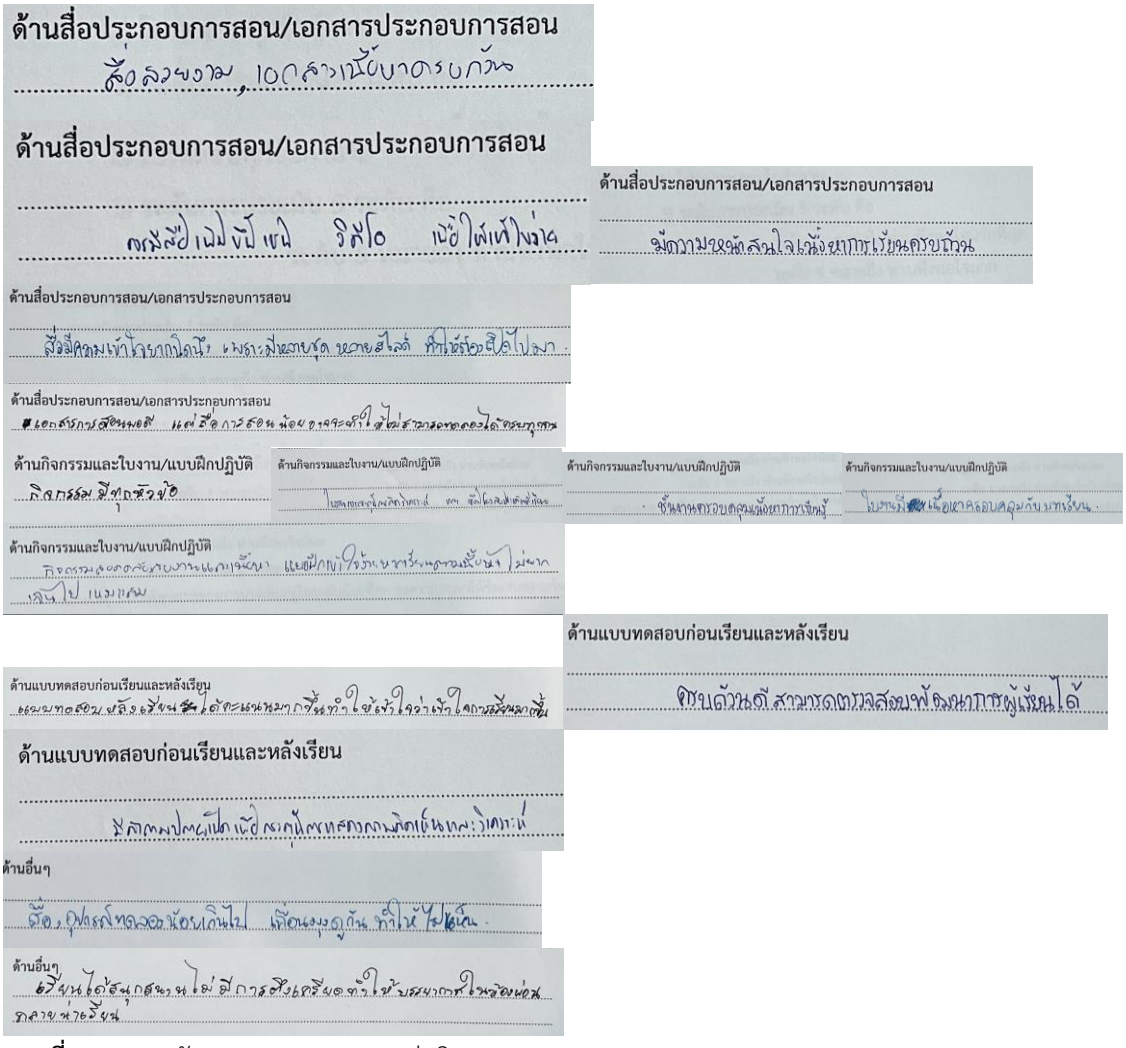
**ตารางที่ 2** ข้อคำถามตอนที่ 1 ผลการประเมินด้านคุณภาพของชุดสาระการเรียนรู้

| รายการประเมิน | ระดับ |
|---|---|
| 1. คุณภาพของชุดการสอนฯ | |
| 1.1 เนื้อหาสาระในเอกสารการสอน เรื่อง หลักการเหนี่ยวนำฟาเบ้องต้นของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ ($\bar{X}$ =4.61, SD=0.50) | มากที่สุด |
| 1.2 การนำเสนอตัวอย่างในเอกสารการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม ($\bar{X}$ =4.70, SD=0.56) | มากที่สุด |
| 1.3 ภาษาที่ใช้ในเอกสารใบเนื้อหา ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.66) | มากที่สุด |
| 1.4 ปริมาณของเนื้อหาสาระในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$ =4.48, SD=0.67) | มาก |
| 1.5 การจัดเรียงลำดับการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 2. คุณภาพของแบบใบงาน/แบบฝึกปฏิบัติ | |
| 2.1 แบบฝึกปฏิบัติทำให้เห็นแนวทางการเรียนรู้ ควบคู่กับการใช้เอกสารประกอบการสอน ($\bar{X}$ =4.61, SD=0.66) | มากที่สุด |
| 2.2 การบันทึกสาระสำคัญในแบบฝึกปฏิบัติ ทำให้มีโอกาสได้ทบทวนเนื้อหาสาระ ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 2.3 การจัดรูปแบบสาระสำคัญในแบบฝึกปฏิบัติ ($\bar{X}$ =4.74, SD=0.45) | มากที่สุด |
| 2.4 กิจกรรมและเนื้อหาสาระที่ได้เรียนรู้ในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 2.5 ปริมาณของกิจกรรมที่มอบหมาย ($\bar{X}$ =4.22, SD=0.74) | มาก |
| 2.6 แนวคำตอบในใบกิจกรรม ทำให้นักศึกษามีแนวทางในการตรวจสอบ ($\bar{X}$ =4.22, SD=0.74) | มาก |
| 3. คุณภาพของสไลด์คอมพิวเตอร์ | |
| 3.1 การสรุปสาระสำคัญด้วยสไลด์คอมพิวเตอร์ในแต่ละเรื่อง ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.59) | มากที่สุด |
| 3.2 ข้อความในสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.67) | มากที่สุด |
| 3.3 ภาพในสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.67) | มากที่สุด |
| 3.4 การจัดเรียงลำดับและรูปบบการนำเสนอของสไลด์คอมพิวเตอร์ ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.59) | มากที่สุด |
| 4. คุณภาพของสื่อประเภทอุปกรณ์ | |
| 4.1 สื่อที่ใช้ในการเรียน ($\bar{X}$ =4.22, SD=0.74) | มาก |
| 4.2 การสาธิตการทำงานร่วมกับการบรรยายและกิจกรรมกลุ่ม ($\bar{X}$ =4.43, SD=1.16) | มาก |

**ตารางที่ 3** ข้อคำถามตอนที่ 2 ผลการประเมินด้านคุณภาพของชุดสาระการเรียนรู้

| รายการประเมิน | ระดับ |
|---|---|
| 1. ประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนด้วยชุดการสอน ($\bar{X}$ =4.52, SD=0.51) | มากที่สุด |
| 2. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.59) | มากที่สุด |
| 3. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาตนเอง ($\bar{X}$ =4.65, SD=0.49) | มากที่สุด |
| 4. การมีโอกาสได้ศึกษาร่วมกันและทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม ($\bar{X}$ =4.65, SD=0.49) | มากที่สุด |
| 5. ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมสร้างความมั่นใจในด้านวิชาการ ($\bar{X}$ =4.35, SD=0.65) | มาก |
| 6. นักศึกษาพอใจที่จะศึกษาด้วยชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.66) | มากที่สุด |
| 7. นักศึกษาจะนำความรู้ที่ได้รับ ไปเผยแพร่ให้กับบุคคลอื่น ($\bar{X}$ =4.57, SD=0.66) | มากที่สุด |
| 8. นักศึกษาพอใจต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ ตามที่คาดหวังไว้ ($\bar{X}$ =4.48, SD=0.67) | มาก |
| 9. ควรสนับสนุนให้มีการใช้ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม กับรายวิชาอื่น ($\bar{X}$ =4.70, SD=0.47) | มากที่สุด |
| 10. ภาพรวมของนักศึกษาที่มีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม ($\bar{X}$ =4.65, SD=0.49) | มากที่สุด |

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ




**ภาพที่ 2** ผลการพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม

**7. อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินคุณภาพชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เรื่อง "หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของโรงต้นกำลังกังหันน้ำ" อภิปรายได้ดังนี้

7.1 ประสิทธิภาพชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม เป็นไปตามเกณฑ์ 70/70 สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ แสดงว่านักศึกษาวิชาชีพครูทางครุศาสตร์วิศวกรรม ทำคะแนนกิจกรรมระหว่างเรียนด้วยชุดการสอนและคะแนนหลังเรียนอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 70 เนื่องจากเหตุผลดังนี้

1) ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบ มีกำหนดขั้นตอนการสร้าง ผ่านการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง นำผลการประเมินมาปรับปรุงก่อนนำไปทดลองใช้ จึงทำให้ชุดการสอนชุดนี้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งคะแนนกิจกรรมระหว่างเรียนและคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน ถ่ายทอดเนื้อหาที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมด้วยการสาธิตร่วมกับใช้โปรแกรมจำลอง (Simulation) เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดีต่อวิชาเรียน สอดคล้อง

กับงานวิจัยของ ศุภกร กตาธิการกุล และคณะ (2556) ที่กล่าวว่าการใช้การสาธิตและการทดลองช่วยส่งเสริมความเข้าใจในทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า คะแนนหลังเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็นผลมาจากการพัฒนาชุดการสอนอย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมมารถ ขำเกลี้ยง (2547) และพบว่าชุดการสอนที่มีประสิทธิภาพช่วยพัฒนาศักยภาพผู้เรียนและส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น

3) ความพึงพอใจในด้านคุณภาพของชุดการสอน และด้านผลที่ได้รับจากชุดการสอนความพึงพอใจระดับสูง เกิดจากการที่ชุดการสอนช่วยให้ผู้เรียนมีความมั่นใจในความรู้พื้นฐานทางไฟฟ้า และการเรียนรู้แบบเชิงรุกผ่านการทดลองทำให้ผู้เรียนเกิดความตื่นตัวและความคิดสร้างสรรค์

7.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) ปัญหา การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นระบบในระยะแรกของการดำเนินการวิจัย ทำให้การวางแผนผิดพลาด และอุปกรณ์ทดลองมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายยาก รวมถึงมีปัญหาน้ำรั่วซึม

2) แนวทางแก้ไข ควรศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอย่างรอบด้านและรอบคอบมากขึ้น

**8. เอกสารอ้างอิง**

ขนิษฐา หินอ่อน และ สุรพัรธ์ ตันศรีวงษ์. (2558). ปัญหาและแนวทางพัฒนากระบวนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพด้านการสอน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *6*(1),

คมกริช ประกอบธรรม. (2555). นวัตกรรมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานน้ำที่ไม่ได้ใช้. วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จารุณี เนียมทอง. (2549). ความสามารถในการนำความรู้ทางฟิสิกส์ 2 ไปใช้ในชีวิตประจำวันของนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) คณะวิชาช่างไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสุพรรณบุรี. (งานวิจัย). แผนกวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสุพรรณบุรี.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์, สมเชาว์ เนตรประเสริฐ และสุดา สินสกุล. (2520). ระบบสื่อการสอน (อัดสำเนา). กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอน. *วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย. นครปฐม: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 5*(1).

ชาญชัย ทองประสิทธิ์ และคณะ. (2560). การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนการอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง ระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา. 29(102).

ชาติชาย ยมะคุปต์. (2549). กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบแสงสว่าง. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 58(19).

ชุฏิภัคศ์ เขมวิมุตติวงศ์. (2560). การวิจัยเชิงปฏิบัติการ : การพัฒนานักศึกษาออกแบบแผนกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยการเรียนรู้เชิงรุก. *วารสารพิฆเนศวร์สาร. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. 13*(2).

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่. (2557). หลักการจัดการเรียนการสอนช่างอุตสาหกรรม: หลักการสอนภาคปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สนพ. บริษัท เอดิสันเพรสโพรดักส์ จำกัด.

ดวงแข ปัญญา, สุพัตรา แพงภูงา และสุมาลี บัวพรวน. (2549). ชุดทดลองประกอบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง กระแสไฟฟ้าสลับโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า. การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา (เน้นฟิสิกส์). มหาวิทยาลัยนเรศวร.

เดชวิชัย พิมพ์โคตร, สันติ ศรีตระกูล และพนม แสงแก้ว. (2018). เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา. หนองคาย: สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1. 2*(2).

ธนาวุฒิ อันทะหวา. (2555). การพัฒนาชุดทดลองหลักการกำเนิดแรงดันจากกฎฟาราเดย์และเลนซ์. ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นันทนัช วัฒนสุภิญโญ. (2563). การพัฒนาชุดทดลอง เรื่อง กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สำหรับใช้ในการสอนวิชาฟิสิกส์เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับปริญญาตรี. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 22*(1).

นิคม ทาแดง. (2560). เอกสารการสอนชุดวิชา สื่อการศึกษาพัฒนสรร: หน่วยที่ 1 สามัญทัศน์เกี่ยวกับการศึกษาพัฒนสรร. นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

นิภาวัล หาญสันเทียะ. (2552). การพัฒนาชุดทดลอง Faraday disk. ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมกล้าธนบุรี.

นิสิต องอาจ. (2557). ชุดสาธิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาด 300 วัตต์ (งานวิจัย). สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

ปัณยตา บัณฑิตกุล, สุธาสินี บุญญาพิทักษ์ และ เมธี ดิสวัสดิ์. (2562). การพัฒนาตัวบ่งชี้สมรรถนะนักศึกษาครูในศตวรรษที่ 21. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 30*(2).

พรรณรัตน์ อาภรณ์พิศาล. (2548). การพัฒนาชุดทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม. การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พรรณอร อุชุภาพ. (2561). การศึกษาและวิชาชีพครู. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พลังวัชร์ แพ่งธีระสุขมัย. (2554). กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า (งานวิจัย). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล. (2531). ยุทธวิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า. (2560). หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า. (2561). หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการศึกษา (5 ปี). กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วารินี วีระสินธุ์ และสมศักดิ์ อรรคทิมากูล. (2562). การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาเป็นฐานสำหรับการศึกษาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์. 6*(2).

วาสนา ทวีกุลทรัพย์. (2560). เอกสารการสอนชุดวิชา สื่อการศึกษาพัฒนสรร: หน่วยที่ 3 ชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรม. นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

วาสนา ทวีกุลทรัพย์. (2560). การพัฒนาชุดฝึกอบรม เรื่อง การผลิตชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมเน้นการบูรณาการ ระหว่างกลุ่มสาระการเรียนรู้สำหรับครูประถมศึกษา โรงเรียนในจังหวัดนนทบุรี. *วารสารอิเล็กทรอนิกส์การเรียนรู้ทางไกลเชิงนวัตกรรม. 7*(2).

วิชิต มาลาเวช. (2556). ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. พัทลุง: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ. 16*(3).

ศุภกร กตาธิการกุล, สุเจนต์ พรมเหมือน และปิติ พานิชายุนนท์. (2556). ชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. พัทลุง: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ. 16*(1).

สมเกียรติ ตั้งมนัสตรง. (2558). การพัฒนาชุดการสอนแบบกลุ่มกิจกรรมเน้นการฝึกปฏิบัติ กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง วงจรไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒปทุมวัน. ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สมพร หริตกุล. (2556). การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีซิมพ์ซัน กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี เรื่อง การต่อวงจรไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สมมารถ ขำเกลี้ยง. (2547). การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่อง สนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วิชาทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (04-210-206) หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545) วิชาเอกวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชา ครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์. (2526). การสอนทักษะปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Rajendra Pawar, Rajanikant Metri, Supriya Sawant and Sushma Kulkarni. (2019). Evolving Product Development Skills Through Group Based Activity Instructions in Engineering Exploration Course. 9 th World Engineering Education Forum; WEEF 2019. ScienceDirect.

W. E. Wagener. (1975). Model for practical-education counterpart training. Germany: Bruchwiesenweg.

# การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด – เบส วิชาเคมีโดยใช้แบบฝึกทักษะด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

# The Development of Learning Achievement and Scientific Laboratory Skills on Acid–Base Topic in Chemistry Using a Skill Practice Workbook Based on the 5E Inquiry-Based Learning Model for Grade 11 Students

**วิลาสินี วรรัตนกิจ[1], วาทินี จันมี[2*], หทัยรัตน์ สุขเพรียบพร้อม[3]**

**Wilasinee Worarattanakit[1], Watinee Chanmee[2*], Hatairat Sukpreabprom[3]**

[1]สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[1] Chemistry Program, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, ainnerue@gmail.com

[2]สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[2]Chemistry Program, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, watinee.ch@bsru.ac.th

[3] สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[3] Chemistry Program, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, hatairat278@gmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ 2) วัดทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ที่เรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน จำนวน 7 คน โดยได้จากการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบฝึกทักษะ และแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานค่าที แบบ dependent samples t-test ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ มีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ระหว่าง 2.43-3.00 อยู่ในระดับดีทุกทักษะ

**คำสำคัญ:** การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) แบบฝึกทักษะ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

**Abstract**

This research aimed to develop the learning achievement and scientific laboratory skills on the topic of acid–base for Grade 11 students through the 5E inquiry-based learning model integrated with a skill practice workbook. The objectives were: (1) to compare students' learning achievement before and after learning through the 5E model integrated with the skill practice workbook, and (2) to assess students' scientific laboratory skills after learning through the skill practice workbook. The sample group consisted of seven Grade 11 students studying in the second semester of the 2023 academic year at a private school in Bangkok under the Office of the Private Education Commission. The participants were selected using cluster random sampling. Research instruments included: lesson plans, a learning achievement test, a skill practice workbook, and a scientific laboratory skills assessment form. Data were analyzed using mean, standard deviation, and dependent sample t-test. The research findings revealed that: (1) students' learning achievement after the instruction was significantly higher than before at the .05 level, and (2) students' scientific laboratory skills after learning through the 5E inquiry-based learning model with the skill practice workbook had average scores ranging from 2.43 to 3.00, which were considered good in all skill areas.

**Keywords:** 5E inquiry-based learning, Skill practice workbook, Learning achievement, Scientific laboratory skills

**1. บทนำ**

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์นั้น นอกจากการเรียนการสอนในภาคทฤษฎีแล้วภาคปฏิบัติถือว่าเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เนื่องจากจะทำให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ไปสู่ชีวิตจริง เช่น ทักษะการคิด การใช้เหตุผล ซึ่งนักเรียนสามารถนำความรู้เหล่านี้ไปใช้ชีวิตจริงได้ โดยสรุปความสำคัญของการเรียนการสอนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้เป็น 3 ด้านหลัก ๆ ด้วยกัน ได้แก่ ด้านสติปัญญา (ปรีชา อมาตยกุล, 2550) ด้านทักษะทางวิทยาศาสตร์ (มังกร ทองสุขดี, 2553) และด้านเจตคติ (สสวท, 2550) การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ควรมีทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ เพื่อเชื่อมโยงความรู้กับทักษะวิทยาศาสตร์ที่จำเป็น เช่น การคิดวิเคราะห์ การใช้เหตุผล และการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดกิจกรรมปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้รับการยืนยันจากงานวิจัยหลายชิ้นว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เนื่องจากผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงเกิดประสบการณ์ตรง และพัฒนาทักษะกระบวนการคิด (Hofstein & Lunetta, 2004; Domin, 1999) หนึ่งในแนวทางที่ช่วยพัฒนาทักษะปฏิบัติการและความเข้าใจเชิงลึก คือการใช้แบบฝึกทักษะ (practice workbook) ซึ่งเป็นสื่อการเรียนรู้ที่ผู้สอนจัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝนและทบทวนความรู้ด้วยตนเองหลังเรียนในแต่ละหน่วยเนื้อหา เป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่เรียนรู้ให้มากขึ้น โดยอาศัยการฝึกฝนหรือปฏิบัติด้วยตนเองจนเกิดความรู้ความเข้าใจเพิ่มขึ้น การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ในแบบฝึกทักษะจะเป็นปัญหาที่เสริมทักษะพื้นฐานโดยกำหนดขึ้นให้ผู้เรียนมีการเรียงลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยาก และแบบฝึกทักษะจะทำให้เข้าใจบทเรียนดีขึ้นเพราะเป็นประโยชน์ในการเรียนรู้ ทำให้ครูทราบความเข้าใจของนักเรียนที่มีต่อบทเรียน และยังฝึกให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะกระบวนการคิด กระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา รวมทั้งแบบฝึกทักษะที่จัดทำขึ้นเป็นรูปเล่มผู้เรียนสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อทบทวนด้วยตนเอง การให้ผู้เรียนทำแบบฝึกทักษะจะช่วยให้ครู

มองเห็นจุดเด่น หรือปัญหาต่าง ๆ ของนักเรียนได้ชัดเจนซึ่งครูดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหานั้น ๆ ได้ทันท่วงทีเพื่อให้เกิดทักษะ เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความชำชาญในเนื้อหาในเรื่องนั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพงานวิจัยพบว่าแบบฝึกทักษะสามารถช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการทดลองของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ (ปราณี จิณฤทธิ์, 2552)

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E inquiry-based learning model) การสอนที่เน้นพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฝึกให้ผู้เรียนรู้จักการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง สามารถแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ตัดสินใจ โดยใช้กระบวนการทางความคิดหาเหตุผลจนค้นพบความรู้ หรือแนวทางแก้ปัญหาที่ถูกต้องด้วยตนเอง ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างความสนใจ (Engage) การสำรวจและค้นหา (Explore) การอธิบายและลงข้อสรุป (Explain) การขยายความรู้ (Elaborate) และการประเมิน (Evaluate) (Bybee et al., 2006) ซึ่งมีงานวิจัยสนับสนุนว่าการใช้การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E สามารถส่งเสริมการคิดอย่างมีเหตุผล การสร้างองค์ความรู้ใหม่ และการจดจำในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Balci et al., 2006) เมื่อผสมผสานกับแบบฝึกทักษะ จะช่วยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ค้นคว้า และสะท้อนความเข้าใจด้วยตนเอง

จากการจัดการเรียนสอนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเคมี ในภาคเรียนก่อน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ขาดทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองหรือแก้โจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนได้ อีกทั้งการสอนส่วนใหญ่ยังเน้นการบรรยาย ทำให้ขาดการเชื่อมโยงความรู้สู่การปฏิบัติจริง เพื่อแก้ปัญหานี้ ผู้วิจัยจึงออกแบบการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เรื่องกรด–เบส โดยใช้การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับแบบฝึกทักษะ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการของผู้เรียน

จากการศึกษา ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสามารถในทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 7 คน ห้องเรียนขนาดเล็กมีข้อได้เปรียบคือสามารถจัดการเรียนการสอนแบบมีปฏิสัมพันธ์ใกล้ชิด ครูสามารถติดตามและให้คำแนะนำรายบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเหมาะสมกับการเรียนแบบปฏิบัติผ่านการทดลองทางเคมี และการจัดการเรียนรู้แบบ 5E ที่เน้นการสืบค้น ทดลอง และสะท้อนความเข้าใจในแต่ละขั้นตอน งานวิจัยที่ใช้การสอนแบบ 5E กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กพบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากครูสามารถปรับกิจกรรมให้เหมาะกับผู้เรียนรายบุคคล (McNeill & Krajcik, 2008) โดยผู้วิจัยพบแนวทางในการแก้ปัญหา คือ ใช้แบบฝึกทักษะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นร่วมในการทำกิจกรรมในการจัดการเรียนการสอนและการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เป็นกระบวนการค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองด้วยทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่การวางแผนออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการทดลอง โดยแบ่งเป็นเทคนิคการทดลอง ขั้นตอนการทดลอง และความคล่องแคล่วในการทำงาน การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผลข้อมูล ที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ใหม่หรือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ทำให้เกิดความรู้ และได้เห็นผู้เรียนแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เป็นทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน 4 ทักษะด้วยกัน ได้แก่ 1) การวางแผนออกแบบการทดลอง 2) การปฏิบัติการทดลอง 3) การวิเคราะห์ข้อมูล และ 4) การสรุปผลข้อมูล โดยใช้แบบประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้แบบฝึกทักษะในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังว่าผู้เรียนจะสามารถคำนวณและสังเกตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่ได้ลงมือปฏิบัติการทดลองและการทำโจทย์ได้ด้วยตนเองเพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับ เรื่อง กรด-เบส ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนแนวคิดอื่น ๆ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีที่สูงขึ้น และมีความเข้าใจต่อการจัดการเรียนรู้ รวมถึงเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับครูผู้สอนในการปรับปรุงและพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะและทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในเนื้อหาวิชาเคมีและเนื้อหาอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ 5E โดยใช้แบบฝึกทักษะ

2.2 เพื่อวัดทักษะการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์วิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะ

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยแบบทดสอบที่เรียนรู้ผ่านกระบวนการการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบสสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (One Group Pretest-Posttest Design)

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

**ประชากร** คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน จำนวนทั้งสิ้น 34 คน

**กลุ่มตัวอย่าง** คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน จำนวนทั้งสิ้น 7 คน

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย

1) แผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบ่งเนื้อหาเรื่อง กรด-เบส ออกเป็น 4 แผนย่อย คือ 1) สมบัติกรด-เบสของเกลือ 2) pH ของสารละลายกรดและเบส 3) ปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส 4) การไทเทรต ใช้เวลาในจัดการกิจกรรมการเรียนการสอนรวม 18 ชั่วโมง โดยกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ 5) ขั้นประเมิน โดยแผนการจัดการเรียนรู้ได้รับการตรวจพิจารณาความสอดคล้องโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.67 – 1.00

2) แบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 เรื่อง ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เรียงลำดับเนื้อหาจากง่ายไปยากความยากง่าย องค์ประกอบของแบบฝึกทักษะประกอบด้วย 1) ชื่อกิจกรรม 2) ผลการเรียนรู้ 3) จุดประสงค์การเรียนรู้ 4) เนื้อหาหรือใบความรู้ของกิจกรรม 5) กิจกรรมการทดลอง 6) การออกแบบการทดลอง และ 7) บันทึกผลการทดลอง แบบฝึกทักษะได้รับการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบฝึกทักษะเกี่ยวกับความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ของ Likert 5 ระดับโดยแบบฝึกทักษะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น มีค่าเกณฑ์ผ่านอยู่ที่ 5.00 หมายถึง เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งเหมาะแก่ผู้เรียน

3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง กรด-เบส เป็นแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ได้รับการประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ ดัชนีความสอดคล้องมีค่า IOC ระหว่าง 0.67-1.00 โดย Rovinelli and Hambleton (1977) แสดงว่าเนื้อหาแต่ละข้อมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ในระดับดีถึงดีมาก มีการนำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (try out) กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง

เพื่อประเมินและปรับปรุงคุณภาพเครื่องมือ ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบทดสอบ พบว่ามีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.50 - 0.71 ซึ่งอยู่ในช่วงเหมาะสม (0.20–0.80) ตามเกณฑ์ของ Nitko and Brookhart (2014) หมายความว่า ข้อสอบมีความยากง่ายปานกลางเหมาะสมสำหรับการจำแนกผู้เรียน และค่าอำนาจจำแนกมีค่าเท่ากับ 0.43 – 0.71 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ 0.20 ตามเกณฑ์ของ Ebel and Frisbie (1991) แสดงว่าข้อสอบสามารถแยกแยะผู้ที่มีความสามารถสูงและต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้วิธีของ Kuder-Richardson (KR–20) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ เท่ากับ 0.36 (Cohen, et al., 2018)

4) แบบประเมินทักษะปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นประเมินตามสภาพจริงเป็นรายบุคคล และกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก (Rubric) ซึ่งแบ่งการประเมินเป็น 4 ทักษะได้แก่ 1) ทักษะการวางแผน/ออกแบบการทดลอง 2) ทักษะการปฏิบัติการทดลอง 3) ทักษะการวิเคราะห์ข้อมูล และ 4) ทักษะการสรุปผลข้อมูล โดยประเด็นการประเมินแสดงในตารางที่ 1 แบบประเมินทักษะนี้ได้รับการตรวจสอบความสอดคล้อง โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67 – 1.00 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เกณฑ์การประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยนี้ดัดแปลงจากเกณฑ์การประเมินของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2550) ให้เหมาะสมกับเนื้อหาและบริบทของการเรียนการสอนวิชาเคมี โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** รายการประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

| รายการประเมิน | ประเด็นการประเมิน |
|---|---|
| 1. การวางแผนการทดลอง | - การวางแผนการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลอง |
| 2. การปฏิบัติการทดลอง | |
| 2.1 เทคนิคการทดลอง | - เลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องตามหลักการใช้งาน |
| 2.2 ขั้นตอนการทดลอง | - การปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่ได้วางแผน |
| | - การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง |
| 2.3 ความคล่องแคล่วในการทำงาน | - การใช้อุปกรณ์อย่างคล่องแคล่ว มั่นใจ |
| | - ปฏิบัติการทดลองเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด |
| 3. วิเคราะห์/สังเคราะห์ข้อมูล | - การวิเคราะห์ข้อมูลจากการบันทึกผลการทดลอง |
| 4. การสรุปผลข้อมูล | - การสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง |

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย กับกลุ่มตัวอย่าง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามแบบแผนการวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบส โดยมีการแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

**ระยะก่อนทดลอง**

ในระยะก่อนการทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการ ดังนี้

1. เตรียมหนังสือขอความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบการวัดผลสัมฤทธิ์ แบบฝึกทักษะ และแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

2. ชี้แจงวัตถุประสงค์ ระยะเวลา และการเตรียมตัวให้นักเรียนเข้าร่วมเป็นกลุ่มตัวอย่าง

3. ทดสอบก่อนเรียน เรื่อง กรด-เบส ใช้เวลา 30 นาที

**ระยะทดลอง**

ในระยะการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการ ดังนี้

1. ผู้วิจัยดำเนินการสอนกลุ่มตัวอย่างด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นจำนวน 4 แผนโดยให้นักเรียนเรียนและได้ปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น

2. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กำหนดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตรวจให้คะแนนในแบบฝึกทักษะเก็บรวบรวมเพื่อหาประสิทธิภาพ

**ระยะหลังการทดลอง**

ในระยะหลังการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการ ดังนี้

1. เมื่อสิ้นสุดการทดลองสอนแล้ว นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาไปทดสอบนักเรียนอีกครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

2. ให้นักเรียนทำแบบฝึกทักษะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นและการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบส ตรวจให้คะแนน เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพผลลัพธ์ จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

**การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย**

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามลำดับดังนี้

1. วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยแบบฝึกทักษะ เรื่อง กรด-เบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้สถิติ Dependent Sample t-test กำหนดค่าสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

2. วิเคราะห์เพื่อประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ โดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

**4. ผลการวิจัย**

**ตารางที่ 2** คะแนนเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

| กลุ่มตัวอย่าง | N | คะแนนเต็ม | $\bar{X}$ | S.D. | t-test |
|---|---|---|---|---|---|
| การทดสอบก่อนเรียน | 7 | 20 | 9.14 | 2.73 | 9.68* |
| การทดสอบหลังเรียน | 7 | 20 | 16.29 | 1.50 | |

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ค่าวิกฤต t = 1.94)

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง กรด – เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้คือ 9.68 มีค่ามากกว่าค่าวิกฤตของ t ในตารางคือ 1.94 แสดงว่าคะแนนการทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ

| ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ | $\bar{X}$ | *S.D.* |
|---|---|---|
| 1. ทักษะการวางแผน | 2.86 | 0.38 |
| 2. ทักษะการปฏิบัติการทดลอง | 3.00 | 0.00 |
| 2.1 เทคนิคการทดลอง | 3.00 | 0.00 |
| 2.2 ขั้นตอนการทดลอง | 3.00 | 0.00 |
| 2.3 ความคล่องแคล่วการทำการทดลอง | 2.43 | 0.53 |
| 3. ทักษะการวิเคราะห์ข้อมูล | 3.00 | 0.00 |
| 4. ทักษะการสรุปผลข้อมูล | 2.86 | 0.38 |
| โดยภาพรวม | 2.88 | 0.33 |

*หมายเหตุ* : คะแนนประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน มีคะแนนแต่ละข้อเต็ม 3 คะแนน
เกณฑ์การประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประกอบด้วยระดับคะแนนดังนี้
คะแนนค่าเฉลี่ย 1.00-1.66 หมายถึง ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง
คะแนนค่าเฉลี่ย 1.67-2.42 หมายถึง ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับ พอใช้
คะแนนค่าเฉลี่ย 2.43-3.00 หมายถึง ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับ ดี

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คะแนนประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ยคะแนนเท่ากับ 2.88 อยู่ในระดับดี เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทักษะองค์ประกอบ 4 ทักษะมีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ระหว่าง 2.43-3.00 อยู่ในระดับดีทุกทักษะ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนในทักษะการปฏิบัติการทดลองและทักษะการวิเคราะห์ข้อมูล มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\overline{X}$ = 3.00) รองลงมา คือ ทักษะการวางแผนการทดลองและทักษะการสรุปผลข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\overline{X}$ = 2.86)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ย 9.14 และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.29 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พัฒนากระบวนการคิดอย่างเต็มความสามารถและรู้จักใช้เหตุผลในการ วิเคราะห์บทเรียนรวมถึงได้ฝึกฝนกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบและทักษะต่าง ๆ ผ่านกระบวนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง อีกทั้งการสอนด้วยแบบฝึกทักษะยังช่วยเสริมสร้าง เพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนทักษะอย่างเต็มที่และทำให้ผู้เรียนเกิดความมั่นใ จในตนเอง คิดอย่างมีเหตุผลและกล้าแสดงความคิดเห็น นอกจากนี้แบบฝึกทักษะยังมีประโยชน์ต่อครูผู้สอนที่ทำให้ทราบการพัฒนาทักษะในด้านต่าง ๆ ของผู้เรียนและเห็นข้อบกพร่องในการเรียนเพื่อจะได้แก้ไขและปรับปรุงได้ทันทีช่วยให้ผู้เรียนมีผลการเรียนที่ดีขึ้น จากการที่ผู้วิจัยสังเกตผู้เรียนให้ห้องเรียน ผู้เรียนมีความสนใจการเรียนการสอนวิธีแบบปฏิบัติการทดลองมากกว่าการเรียนการสอนวิธีแบบบรรยายทำให้ผู้เรียนเกิดการอยากรู้อยากเห็นและเกิดแรงจูงใจในเรียน การที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองทำให้ผู้เรียนได้เห็นผลการทดลองจริง วิเคราะห์ผลการทดลอง หาข้อสรุปด้วยตัวเอง อีกทั้งยังได้เชื่อมโยงความรู้กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ กระบวนการจัดการเรียนการสอนที่ครูผู้สอนได้จัดขึ้นที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดความรู้ความจำในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิสมัย พานโฮม (2551) ที่พบว่า การใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และหลังเรียนของนักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คิดเป็นร้อยละ 84.01 ซึ่งสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้นด้วย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Polanin et al. (2024) ที่รายงานว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญ และ งานวิจัยของ Kaewmanee et al. (2024) ที่พบว่าการบูรณาการ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมเชิงปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนพัฒนาผลสัมฤทธิ์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น

2. ผลวิเคราะห์คะแนนประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ ผู้เรียนมีการพัฒนาทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ยคะแนนเท่ากับ 2.88 สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้แบบฝึกทักษะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นอย่างเป็นระบบได้ผ่านการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาการเรียนรู้ให้มีความสอดคล้องกับทักษะปฏิบัติการทดลองที่เหมาะสมกับผู้เรียนสามารถพัฒนาทักษะในด้านต่าง ๆ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองอย่างเต็มศักยภาพ ซึ่งได้ผ่านกระบวนการ

ประเมินความสอดคล้องจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว พบว่า แบบฝึกทักษะนี้มีการพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ที่หลากหลายและพัฒนากระบวนการคิด กระบวนการเรียนรู้ สามารถให้ผู้เรียนสรุปความคิดและหลักการสำคัญของสาระการเรียนรู้รวมทั้งทำให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบความเข้าใจในบทเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้นำแบบฝึกทักษะมาใช้กับวิธีการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าหาความรู้โดยใช้ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้มีการประเมินทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ด้วยกัน 4 ทักษะ ได้แก่ 1) ทักษะการวางแผนการทดลอง 2) ทักษะการปฏิบัติการทดลอง 3) ทักษะการวิเคราะห์ข้อมูล และ 4) ทักษะการสรุปผลข้อมูล ทั้ง 4 ทักษะนี้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการลงมือปฏิบัติจริงและการวางแผนการทดลองด้วยตนเองทำให้ผู้เรียนเกิดความสนุกสนาน ความอยากรู้อยากเห็นในการทดลองที่เชื่อมโยงกับทฤษฎีที่เรียนมาก่อน อีกทั้งทักษะ 4 ทักษะได้ฝึกฝนให้ผู้เรียนช่างสังเกต รู้จักคิดอย่างมีเหตุผล แก้ปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบและรู้จักค้นคว้าหาคำตอบ นอกจากนี้แบบฝึกทักษะที่ครูผู้สอนได้จัดทำขึ้นยังเป็นตัวช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนให้ผู้เรียนมีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมุนา คามดิษฐ์ (2546) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า แบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.01 และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังการฝึกสูงกว่าก่อนฝึกด้วยแบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yonyubon et al. (2022) ซึ่งชี้ว่าการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกิจกรรมฝึกทักษะการปฏิบัติ ช่วยให้ผู้เรียนมีพัฒนาการด้านการวางแผนการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผลอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการประยุกต์ทักษะการคิดวิเคราะห์และการคิดสังเคราะห์เข้ามาใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคการสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ

2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างนักเรียนที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับแบบฝึกทักษะ กับวิธีการสอนอื่น ๆ เพื่อเป็นการสร้างและพัฒนานวัตกรรมที่หลากหลายเพื่อแก้ไขปัญหาและส่งเสริมการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนให้สูงขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นักเรียน คณาจารย์ และ ผู้อำนวยการโรงเรียน และคณาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือ ความอนุเคราะห์อำนวยสะดวก ให้คำปรึกษาแนะนำ ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

ปราณี จิณฤทธิ์. (2552). *ผลการใช้แบบฝึกทักษะคณิตศาสตร์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์และเจตคติทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเคหะประชาสามัคคี จังหวัดนครราชสีมา* [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ปรีชา อมาตยกุล. (2550). *มิติใหม่ในการสอนวิทยาศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

พิสมัย พานโฮม. (2551). *ผลการใช้วิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เน้นผังรูปตัววีที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6* [วิทยานิพนธ์ครุศาสตร มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

มังกร ทองสุขดี. (2553). *ครูวิทยาศาสตร์.* เชียงใหม่, ฝ่ายเอกสารการพิมพ์วิทยาลัยครูเชียงใหม่.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2550). *การวัดผลประเมินผลเพื่อคุณภาพการเรียนรู้และตัวอย่างข้อสอบจากโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (PISA).* กรุงเทพฯ: เซเว่น พริ้นติ้ง กรุ๊ป.

สมุนา คามดิษฐ์. (2546). *การพัฒนาแบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษา อ.พุทไธสง จ.บุรีรัมย์* [วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์ มหาบัณฑิต]. สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Balci, S., Cakiroglu, J., & Tekkaya, C. (2006). Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E) learning cycle and conceptual change: A case of misconceptions in photosynthesis. *Journal of Science Education and Technology, 15*(5), 366–381.

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness.* Colorado Springs, CO: BSCS.

Cohen, R. J., Swerdlik, M. E., & Sturman, E. D. (2018). *Psychological testing and assessment: An introduction to tests and measurement* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education, 76*(4), 543–547.

Ebel, R. L., & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of educational measurement* (5th ed.). Prentice Hall.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88*(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Kaewmanee, T., Srisenpila, A., & Worapun, W. (2024). Integrating 5E inquiry-based learning and STEM education to enhance grade 5 students' science process skills and achievement in friction. *International Journal of Advanced and Applied Sciences, 11*(12), 207–214. https://doi.org/10.21833/ijaas.2024.12.029.

McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In J. Luft, R. L. Bell, & J. Gess-Newsome (Eds.), *Science as inquiry in the secondary setting*. Arlington, VA: NSTA Press.

Nitko, A. J., & Brookhart, S. M. (2014). *Educational assessment of students* (7th ed.). Pearson Higher Ed.

Polanin, J. R., Austin, M., Taylor, J. A., Steingut, R. R., Rodgers, M. A., & Williams, R. (2024). Effects of the 5E instructional model: A systematic review and meta-analysis. *AERA Open, 10*(1), 1–16. https://doi.org/10.1177/23328584231223467

Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion–referenced test item validity. *Dutch Journal of Educational Research, 2*, 49–60.

Yonyubon, S., Khamsong, J., & Worapun, W. (2022). The effects of 5E inquiring-based learning management on grade 7 students' science learning achievement. *Journal of Educational Issues, 8*(2), 193–201. https://doi.org/10.5296/jei.v8i2.20082

# การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

# The development of flipped classroom learning management activities to enhance learning achievement on IPv4 address allocation for second-year Information Technology students at the Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

**อิทธิชัย อินลุเพท[1*], จิตราภา คนฉลาด[2]**

**Ittichai Inlupet[1*], Jittrapa Konchalard[2]**

[1]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

[1]Department of Information Technology, Loei Rajabhat University, Ittichai.inl@lru.ac.th

[2]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

[2]Department of Information Technology, Loei Rajabhat University, jittrapa.kon@lru.ac.th

**บทคัดย่อ**

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีเป็นส่วนสำคัญของการศึกษา การจัดการเรียนการสอนจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบให้สอดคล้องกับความก้าวหน้าและความต้องการของผู้เรียน การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุกและเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อหาที่ซับซ้อน จึงทำให้เกิดการพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนจากการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน โดยกลุ่มเป้าหมายได้แก่ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา 4132701 ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน โดยเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน และแบบประเมินความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบ t-test dependent ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่าหลังการเรียนผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 56.74 ดัชนีประสิทธิผล 0.5674 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 2) นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศชั้นปีที่ 2 ที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน ในรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มีความพึงพอใจระดับมาก

**คำสำคัญ:** ห้องเรียนกลับด้าน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การจัดสรรที่อยู่ IPv4

**Abstract**

In the digital era, technology has become an integral part of education, necessitating adaptations in instructional methods to align with both technological advancements and learners' needs. The flipped classroom model is an educational innovation that promotes active learning and enhances instructional effectiveness, especially for complex content. Consequently, this study developed flipped classroom learning activities to improve the academic achievement of second-year students in the Information Technology Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, specifically on the topic of IPv4 address allocation. The objectives were: 1) to develop a set of flipped classroom activities, 2) to compare students' academic achievement before and after participating in the flipped classroom activities, and 3) to examine students' satisfaction towards these activities. The target group consisted of seven students enrolled in the 4132701 Data Communication and Computer Networks course in the first semester of the 2023 academic year, selected purposively. The research instruments included a pre-test, a post-test, and a satisfaction questionnaire, and data were analyzed using percentage, mean, standard deviation, and dependent t-test. The results showed that 1) after participating in the activities, students' scores increased by 56.74 percent, with an effectiveness index of 0.5674 and post-test scores significantly higher than pre-test scores at the 0.01 statistical level; and 2) the second-year Information Technology students expressed a high level of satisfaction with the flipped classroom learning activities.

**Keywords:** Flipped classroom, learning achievement, IPv4 address allocation

**นิยามคำศัพท์เฉพาะ**

ห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) คือ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เปลี่ยนบทบาทจากการบรรยายหรือถ่ายทอดเนื้อหาของผู้สอนในห้องเรียน มาเป็นการที่ผู้เรียนศึกษาความรู้เบื้องต้นจากสื่อการสอน ในงานวิจัยนี้มีการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เอกสารประกอบการสอนของบทเรียนเรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4

บทเรียนเรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 คือ สื่อการเรียนในรูปแบบเอกสารประกอบการสอน ประกอบไปด้วย 2 หัวข้อ ได้แก่ การจัดสรรที่อยู่ IPv4 (IPv4 Addressing) และการแบ่งกลุ่มเครือข่าย (Subnetting)

## 1. บทนำ

การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เกิดขึ้นในยุคดิจิทัลที่มีการเชื่อมต่ออย่างกว้างขวาง และมีการศึกษาขนาดใหญ่ (Massive) ที่เปิดโอกาสให้ผู้คนได้แลกเปลี่ยนความรู้กันอย่างอิสระโดยไร้ขีดจำกัด ด้วยบริบทดังกล่าวการเรียนการสอนในระดับอุดมศึกษาจึงจำเป็นต้องปรับตัว เพื่อให้สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ และตอบสนองต่อการเรียนรู้ในโลกยุคใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปกรณ์ สุปินานนท์, 2558) การก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 นำมาซึ่งความเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวิถีชีวิตอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้การเตรียมผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตในยุคนี้กลายเป็นความท้าทายสำคัญของผู้สอน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถปรับตัวและเติบโตได้ในโลกยุคใหม่ ผู้สอนจำเป็นต้องพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทักษะที่สำคัญที่สุดคือทักษะการเรียนรู้ (Learning Skills) ซึ่งเป็นพื้นฐานให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้ ความสามารถ

และทักษะอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนในยุคนี้จึงต้องมุ่งเน้นการสร้างกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และปรับตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมสู่ชีวิตและการทำงานในศตวรรษที่ 21

ในบริบทของศตวรรษที่ 21 ที่เน้นการพัฒนาทักษะแห่งอนาคต การปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ทางการศึกษาได้กลายเป็นประเด็นสำคัญที่สังคมทั่วโลกให้ความสนใจ โดยห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) ถือเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ที่ตอบโจทย์แนวคิดนี้ โดยออกแบบให้ห้องเรียนเป็นพื้นที่สำหรับการฝึกปฏิบัติและประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริง แนวทางนี้ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้แบบ "รู้จริง" (Mastery Learning) ผ่านกระบวนการลงมือทำและการแก้ปัญหาในชั้นเรียน ในขณะที่การรับความรู้พื้นฐานเกิดขึ้นผ่านสื่อดิจิทัลนอกเวลาเรียน โดยเปลี่ยนบทบาทผู้สอน จากผู้บรรยายมาเป็นผู้ชี้แนะและออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้ รูปแบบดังกล่าวไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ แต่ยังพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เช่น การคิดวิเคราะห์ การทำงานร่วมกัน และการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของโลกยุคใหม่ที่ความรู้และเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (วิวัฒน์ มีสุวรรณ์, 2561) การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านเป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ผู้สอนจัดกระบวนการนำเสนอเนื้อหานอกชั้นเรียนหรือนอกเวลาเรียน โดยใช้สื่อและวัสดุการเรียนหลากหลายรูปแบบ เพื่อให้ผู้เรียนศึกษาและเรียนรู้เนื้อหาก่อนเข้าชั้นเรียน จากนั้นใช้เวลาในชั้นเรียนสำหรับการทำกิจกรรมปฏิบัติ การอภิปราย และการแก้ปัญหา โดยเน้นการนำความรู้ที่ผู้เรียนได้ศึกษาล่วงหน้ามาประยุกต์ใช้ บทบาทของผู้สอนในรูปแบบนี้จะเปลี่ยนไปเป็นผู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือผู้เรียนเป็นรายบุคคล โดยเฉพาะเมื่อพบข้อสงสัยหรือปัญหาในการเรียนรู้ ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและพัฒนาทักษะต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปรัชญ์ วีสเพ็ญ และ ชมพูนุท เมฆเมืองทอง, 2565) ห้องเรียนกลับด้านเป็นวิธีการเรียนรู้ที่ได้รับความนิยมในการศึกษาในหลายประเทศ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยสามารถส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น และผู้เรียนสามารถฝึกทักษะการทำงานร่วมกัน นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านยังสามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้และเตรียมความพร้อมในการเรียนเพิ่มขึ้น (Bergmann & Sams, 2012)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงวิธีการและกระบวนการเรียนการสอนที่ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียนกับเนื้อหา เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง และมุ่งเน้นผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักศึกษา ด้วยการพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

1) พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนจากการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

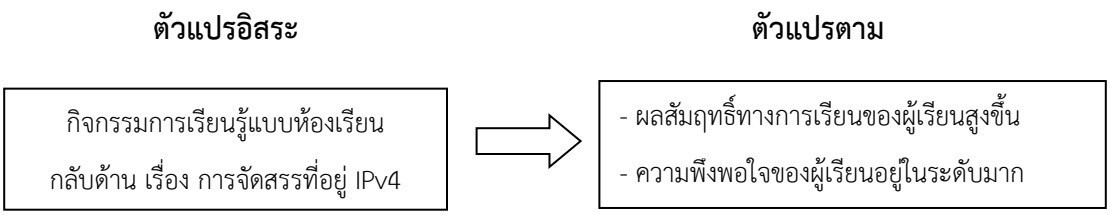
3) ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแบบแผนการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แบบแผนการทดลอง

การวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยทำการสร้างกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งคาดว่ากิจกรรมที่พัฒนาขึ้นจะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนสูงขึ้นตามกรอบแนวความคิดการวิจัย ดังภาพประกอบที่ 1




**ภาพที่ 1** กรอบแนวความคิดการวิจัย

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน

กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขั้นสูง ในภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย

1) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

(1) การจัดสรรที่อยู่ IPv4 (IPv4 Addressing)

(2) การแบ่งกลุ่มเครือข่าย (Subnetting)

2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยใช้แบบทดสอบเลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยกำหนดรูปแบบประเมินความพึงพอใจ โดยสร้างแบบสอบถามแบบวัด ที่เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยได้ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยมีตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1) พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เนื้อหา เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 แล้วส่งเนื้อหาให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข นำเนื้อหามาผลิตสื่อเพื่อดำเนินการจัดทำสื่อการสอนออนไลน์ และนำบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นสู่ Google Classroom

2) จัดทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์จำนวน 3 ท่าน พิจารณาความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) แล้วนำผลการพิจารณามาวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ด้วยวิธีการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างรายการข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัยด้วย ค่า IOC (Index of Item Objective Congruence) พิจารณาผลจากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ โดยข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.60 - 1.00 สามารถใช้ข้อคำถามในการประเมินได้หาต่ำกว่า 0.60 จะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขข้อคำถามให้มีความสมบูรณ์ชัดเจนยิ่งขึ้น

3) ทดสอบก่อนเรียน (t-test) ทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนของกิจกรรมการเรียนรู้รายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

4) ดำเนินการจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้วิธีการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

5) ทดสอบหลังเรียน (Post-test) เมื่อนักศึกษาเสร็จสิ้นการจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งเป็นแบบทดสอบเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบก่อนเรียน

6) ตรวจและเก็บบันทึกคะแนนการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังเรียน นำคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย หาค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

7) เมื่อเสร็จสิ้นการเรียนรู้ นักศึกษาทำแบบสอบถามความพึงพอใจ ที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

8) วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษา โดยนำคะแนนที่ได้จากแบบสอบถาม ความพึงพอใจ มาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**4. ผลการวิจัย**

ผลการวิจัย เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ประกอบไปด้วยหัวข้อ ผลสัมฤทธิ์ของการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน และผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษา ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ผลจากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่า IOC เท่ากับ 1.00 โดยชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มีเนื้อหาและกิจกรรม ดังนี้

1) การจัดสรรที่อยู่ IPv4 (IPv4 Addressing)

ชั่วโมงที่ 1-2: พื้นฐาน IPv4 Address

อธิบายโครงสร้างที่อยู่ IPv4

อธิบายคลาส IPv4 และแสดงตัวอย่าง

กิจกรรมทดลองจับคู่ IP กับคลาส

ชั่วโมงที่ 3-4: Subnet Mask, Prefix Length และชนิดของ IP

อธิบายความหมาย Subnet Mask, Prefix Length

กิจกรรมฝึกแปลง Subnet Mask และ Prefix Length

อธิบายชนิดของ IP Unicast, Broadcast และ Multicast

กิจกรรมฝึกแยกชนิดของ IP

ชั่วโมงที่ 5-6: การกำหนดที่อยู่, ประเภทของที่อยู่ และ NAT

อธิบายแนวคิดการกำหนดที่อยู่ Network, Host, Broadcast

กิจกรรมหา Network, Host, Broadcast

อธิบาย Private/Public IP, ยกตัวอย่าง NAT

กิจกรรมฝึกแยกประเภท Private/Public IP

2) การแบ่งกลุ่มเครือข่าย (Subnetting)

ชั่วโมงที่ 7-8: Network Segmentation และ Subnetting

อธิบายแนวคิดแบ่งเครือข่าย (Network Segmentation)

อธิบายหลักการ Subnetting และฝึกคำนวณ subnet

2. ผลสัมฤทธิ์ของการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

ผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา 4132701 ระบบการสื่อสารข้อมูลและ

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน พบว่า หลังการเรียนผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 56.74 ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) 0.5674 มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียน

| นักศึกษาคนที่ | คะแนนก่อนเรียน | คะแนนหลังเรียน | ร้อยละเพิ่มขึ้น | ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 22 | 57.89 | 0.5789 |
| 2 | 9 | 23 | 66.67 | 0.6667 |
| 3 | 8 | 18 | 45.45 | 0.4545 |
| 4 | 10 | 23 | 65.00 | 0.6500 |
| 5 | 9 | 20 | 52.38 | 0.5238 |
| 6 | 12 | 24 | 66.67 | 0.6667 |
| 7 | 10 | 19 | 45.00 | 0.4500 |
| คะแนนรวม | | | 56.74 | 0.5674 |

ผลการทดสอบคะแนนของผู้เรียนมีคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 9.86 คะแนน และมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 21.29 คะแนน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนสอบทั้งสองครั้ง พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 รายละเอียดดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การทดสอบคะแนนของผู้เรียน

| | Mean | S.D. | ค่าเฉลี่ยผลต่าง | S.D. ค่าเฉลี่ยผลต่าง | t | df |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนเรียน | 9.86 | 1.345 | 11.43 | 1.718 | 17.598* | 6 |
| หลังเรียน | 21.29 | 2.289 | | | | |

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียน

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนหลังเรียนในการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ในภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน วิเคราะห์โดยใช้ค่าค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อใช้แปลความหมายข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจของผู้เรียน ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.26, S.D.=0.10) รายละเอียดดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

| รายการประเมิน | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | แปลผล |
|---|---|---|---|
| 1. การจัดกิจกรรมการเรียน มีความเหมาะสมต่อการเรียนการสอน | 4.50 | 0.55 | มาก |
| 2. รูปแบบของกิจกรรมการเรียนรู้กระตุ้นความสนใจผู้เรียน | 4.00 | 0.63 | มาก |
| 3. ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองตามกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้สอนได้จัดเตรียมไว้ | 4.17 | 0.41 | มาก |
| 4. การเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ ฝึกให้ผู้เรียนมีความรับผิดชอบในการเรียนรู้ และมีวินัยในตนเอง | 4.33 | 0.52 | มาก |
| 5. ชุดกิจกรรมช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์จากการทำกิจกรรม | 4.17 | 0.75 | มาก |
| 6. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถทำกิจกรรมร่วมกับผู้อื่น | 4.33 | 0.52 | มาก |
| 7. การเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมฝึกทักษะ | 4.50 | 0.55 | มาก |
| 8. กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับจุดประสงค์การเรียนรู้ | 4.17 | 0.75 | มาก |
| 9. ลำดับขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้เข้าใจง่ายและชัดเจน | 4.33 | 0.52 | มาก |
| 10. กิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องตามขั้นตอน | 4.50 | 0.55 | มาก |
| 11. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ครอบคลุมสาระการเรียนรู้ | 4.00 | 0.63 | มาก |
| 12. ความน่าสนใจโดยรวมของของชุดกิจกรรม | 4.17 | 0.41 | มาก |
| **รวม** | **4.26** | **0.10** | **มาก** |

จากตารางที่ 3 พบว่าผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน สามอันดับแรกที่มีคะแนนค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ การจัดกิจกรรมการเรียนมีความเหมาะสมต่อการเรียนการสอน มีความความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.50, S.D.=0.55) และการเรียนด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมฝึกทักษะ มีความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.50, S.D.= 0.55) และกิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องตามขั้นตอน มีความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.50, S.D.=0.55)

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

**อภิปรายผลการวิจัย**

จากการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ผลการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มีผลจากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่า IOC เท่ากับ 1.00 โดยมีองค์ประกอบเนื้อหา ได้แก่ 1) การจัดสรรที่อยู่ IPv4 (IPv4 Addressing) 2) การแบ่งกลุ่มเครือข่าย (Subnetting)

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ของนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน พบว่า หลังการเรียนผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 56.74 ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) 0.5674 และพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยผลการทดสอบคะแนนของผู้เรียนมีคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 9.86 คะแนน และมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 21.29 คะแนน ซึ่งหากเปรียบเทียบกับนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในภาคเรียนที่ 1/2565 จำนวน 13 คน ที่เรียนรู้โดยแบบปกติและไม่มีกิจกรรมการเรียนรู้ มีคะแนนหลังการเรียนเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.84 ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) 0.3684 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยผลการทดสอบคะแนนของผู้เรียนมีคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 9.54 คะแนน และมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยเท่ากับ 17.08 คะแนน สอดคล้องกับศิริพล แสนบุญส่ง (2560) ที่ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคอมพิวเตอร์สำหรับครูของนักศึกษาปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.54, S.D. = 0.50) และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังเรียนในการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ของนักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในภาคเรียนที่ 1/2566 จำนวน 7 คน มีความพึงพอใจของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.26, S.D.=0.10) สอดคล้องกับปรัชญ์ วีสเพ็ญ และชมพูนุท เมฆเมืองทอง (2565) ที่ได้พัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องสถิติวิจัยในชั้นเรียนของนักศึกษาสาขาภาษาไทยเพื่อการสื่อสาร ผลการประเมินความพึงพอใจหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดห้องเรียนกลับด้านส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสถิติวิจัยหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก ($\bar{X}$= 4.04, SD= 0.72)

**ข้อเสนอแนะงานวิจัย**

3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำวิจัยไปใช้

1) ควรนำเทคนิคกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ฯ ซึ่งเป็นผลจากการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้เป็นแนวทางพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องอื่นในปีต่อ ๆ ไป และสามารถใช้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นได้

2) ข้อจำกัดของการวิจัยที่อาจมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ ขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นด้วย เช่น ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ความตั้งใจหรือแรงจูงใจของนักศึกษาแต่ละคน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมการเรียน

3.2 ข้อเสนอแนะสำหรักการทำวิจัยครั้งต่อไป

1) การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบห้องเรียนกลับด้าน ควรปรับกิจกรรมให้เหมาะสมกับเวลา และคำนึงถึงความสามารถของผู้เรียนสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนนำมาปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2) ควรมีการวิจัยโดยใช้แนวคิด ห้องเรียนกลับด้านกับเทคนิควิธีสอนอื่น ๆ เช่น วิจัยเป็นฐาน การเรียนรู้ด้วยตนเอง เป็นต้น

**6. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจัดสรรที่อยู่ IPv4 ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

บุญชม ศรีสะอาด. (2554). *การวิจัยเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 9.* กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปกรณ์ สุปินานนท์. (2558). การพัฒนาบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับนักศึกษาในรายวิชา FEM313 การพัฒนาหลักสูตร โดยใช้วิธีการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน. *วารสารราชพฤกษ์*, *13*(3), 51-56.

ปรัชญ์ วีสเพ็ญ และ ชมพูนุท เมฆเมืองทอง. (2565). การพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องสถิติวิจัยในชั้นเรียนของนักศึกษาสาขาภาษาไทยเพื่อการสื่อสาร. *วารสารสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, *6*(1), 80-89.

วิวัฒน์ มีสุวรรณ์. (2561). ผลการใช้เครือข่ายสังคมออนไลน์ เพื่อส่งเสริมทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศ ด้วยกระบวนการห้องเรียนกลับด้าน. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, *20*(3), 162-172.

Bergmann J., and Sams, A. (2012). *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day.* Washington DC: International Society for Technology in Education.

ศิริพล แสนบุญส่ง. (2560). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคอมพิวเตอร์สำหรับครูของนักศึกษาปริญญาตรี. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, *11*, 133-146.

# การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

# Development of learning achievement in Physics on the Mechanical Energy of 10th Grade Student by Snakes and Ladders Board Game learning Managemen

**ศรราม รุ่งสว่าง[1*], นันทนัช วัฒนสุภิญโญ[2]**

**Sornram Roongsawang[1*], Nuntanut Wattanasupinyo[2]**

[*1]นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[1] Physics student Bachelor of Education Program Department of Physics, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, fsrrsw13@gmail.com

[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[2]Department of Physics, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Nuntanut.wa@bsru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อเปรียบเทียบ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้รับการจัดการเรียนโดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู ก่อนและหลังเรียน 2) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู ประชากรคือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียน ธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 4 ห้องเรียน ทั้งหมด 75 คน กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 17 คน โดยได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม รูปแบบงานวิจัยแบบหนึ่งกลุ่มทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พลังงานกล มีค่าประสิทธิภาพเป็น 72.95/73.55 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 3) แบบประเมินความพึงพอใจ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.25-0.42 มีค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.33-0.50 และมีค่าความเชื่อมั่น ($r_{tt}$ - KR20) เท่ากับ 0.89 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ และการทดสอบค่าทีแบบไม่เป็นอิสระจากกัน ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยพัฒนาการสัมพัทธ์อยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 62.57) และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) นักเรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X}$ = 4.38/5.00, S.D. = 0.71)

**คำสำคัญ:** บอร์ดเกมบันไดงู ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พลังงานกล

**Abstract**

The purpose of this research were 1) to compare the achievement in the topic Mechanical Energy of 10th Grade students by Snakes and Ladders Board Game learning Managemen before and after classes 2) To study the students' satisfaction by Snakes and Ladders Board Game learning Managemen. The Population consisted of 75 ten-grade students from Thanaburi Woratheppiphalarak School and samples consisted of 17 ten-grade students from Thanaburi Woratheppiphalarak School, Thonburi District, Bangkok, consisting, during the second semester of the 2024 academic year. The sample group was obtained by cluster random sampling. The one-group pretest-posttest design and t – test for dependent sample statistics were used in this study. The research instruments included: (1) lesson plans on Mechanical Energy with an efficiency of 72.95/73.55, (2) achievement test; and (3) a student satisfaction questionnaire. The instrument used to store the data consists of a learning performance test model, with a difficulty value between 0.25-0.42, a rating power value between 0.33-0.50, and a confidence value equal to 0.89 The data were statistically analyzed by mean, standard deviation, percentage and a t-test for the dependent samples. The results showed that: 1) students demonstrated a high level of relative improvement (62.57%), and their post-test scores were significantly higher than their pre-test scores at the 0.05 level; and 2) students' satisfaction toward the learning management using the Snakes and Ladders board game was at a very high level ($\bar{X}$ = 4.38/5.00, S.D. = 0.71)

**Keywords:** Snakes and Ladders board game, learning achievement, mechanical energy

## 1. บทนำ

รายวิชาฟิสิกส์เป็นหนึ่งในวิชาหลักของกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้นและการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม ฟิสิกส์เป็นวิชาที่ประกอบด้วยเนื้อหาทางทฤษฎีและการคำนวณที่มีความซับซ้อนสูง ส่งผลให้ผู้เรียนจำนวนมากประสบปัญหาในการทำความเข้าใจและเกิดความท้อแท้ต่อการเรียน (ศรบรม กุลลาวัณย์ และ สิรินธร สินจินดาวงศ์, 2566) ความซับซ้อนของเนื้อหาดังกล่าวส่งผลให้ผู้เรียนขาดความสนใจและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ต่ำกว่าความคาดหวัง (จตุพล จตุรภัทร และ สุพัตรา ชะมะบูรณ์, 2566) จากการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน ผู้วิจัยพบว่านักเรียนในระดับมัธยมศึกษาขาดความกระตือรือร้น เนื่องจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ยังเน้นการบรรยายและการถ่ายทอดเนื้อหาเพียงอย่างเดียว โดยขาดกิจกรรมที่กระตุ้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียนอย่างแท้จริง ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมและความสนใจของนักเรียนในยุคปัจจุบันที่มีแนวโน้มสนใจเทคโนโลยีและเกมออนไลน์เป็นอย่างมาก (Wang et al., 2023) ในบริบทนี้ การเรียนรู้ผ่านเกม หรือ Game-Based Learning (GBL) ได้รับการยอมรับว่าเป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มแรงจูงใจและการมีส่วนร่วมของผู้เรียน รวมถึงส่งเสริมพัฒนาการทางปัญญาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Sánchez et al., 2022) เกมกระดาน หรือบอร์ดเกม นับเป็นหนึ่งในรูปแบบของ GBL ที่มีข้อได้เปรียบในด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าและความสะดวกในการพกพาเมื่อเทียบกับเกมดิจิทัล อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และบริบทของการเรียนรู้ที่หลากหลายได้ง่าย (วรพล ยวงเงิน, 2564) บอร์ดเกมจึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้แบบ Active Learning ที่เน้นการปฏิบัติและการมีส่วนร่วมของ

ผู้เรียนอย่างจริงจัง ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาพฤติกรรมและทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21 เช่น การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหาและการทำงานร่วมกับผู้อื่น (ธีระวุฒิ ศรีมังคละ, 2565; วราภรณ์ ลิ้มเปรมวัฒนา และ กันตภณ ธรรมวัฒนา, 2560) การใช้บอร์ดเกมในการเรียนการสอนนอกจากจะช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และสมาธิของนักเรียนแล้ว ยังช่วยเพิ่มบรรยากาศในการเรียนรู้ให้มีความสนุกสนานและท้าทาย ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมมากขึ้น (ลักคะณา เสโนฤทธิ์, 2551; เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ, 2559) แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่แสดงถึงประสิทธิภาพของเกมกระดานในด้านการส่งเสริมการเรียนรู้ทั่วไป แต่ยังมีงานวิจัยน้อยที่เจาะจงศึกษาผลของการใช้บอร์ดเกมในรายวิชาฟิสิกส์ โดยเฉพาะในหัวข้อพลังงานกล ที่เป็นเนื้อหาสำคัญในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งมีความซับซ้อนและต้องการความเข้าใจเชิงลึก นอกจากนี้ การใช้เกมบันไดงูในบริบทการเรียนฟิสิกส์ยังเป็นแนวทางที่ใหม่และน่าสนใจ เนื่องจากเกมบันไดงูมีโครงสร้างที่เรียบง่ายแต่สามารถปรับแต่งเนื้อหาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ได้อย่างยืดหยุ่น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่องพลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้ผ่านการใช้บอร์ดเกมบันไดงู เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมและสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมาย โดยหวังว่าผลการวิจัยจะเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับครูผู้สอนและนักการศึกษาที่ต้องการนำเกมการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในห้องเรียน เพื่อพัฒนาคุณภาพการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์และยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้ โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พลังงานกล โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินงานและจัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าโดยมีขั้นตอนดังนี้

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 4 ห้องเรียน ทั้งหมด 75 คน

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 1 ห้องเรียน ทั้งหมด 17 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling)

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ บอร์ดเกมบันไดงูเรื่อง พลังงานกล และแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง พลังงานกล

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พลังงานกล และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกม

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูเพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้และขั้นตอนการดำเนินการสอน

2) ศึกษารายละเอียดเนื้อหาที่จะใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จากคู่มือครู และหนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พลังงานกล ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย

3) จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล รวมเวลาที่ใช้สอน 8 ชั่วโมง

4) จัดทำบอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล โดยจัดทำเป็นเกมบันไดงู ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับ พลังงานศักย์ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น และพลังงานจลน์

5) จัดทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียน-หลังเรียน รายวิชาฟิสิกส์ 2 เรื่อง พลังงานกล แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ

6) จัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูเป็นแบบทดสอบแบบวัดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยใช้การวัด 4 ด้าน คือ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน 3) ด้านผู้เรียน 4) ด้านคุณภาพของเกมการศึกษา

7) นำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู บอร์ดเกมบันไดงู เรื่องพลังงานกล แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบแก้ไขและให้ข้อเสนอแนะก่อนที่จะให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน

8) นำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู บอร์ดเกมบันไดงู เรื่องพลังงานกล แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกาจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกม ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่านตรวจสอบเกี่ยวกับความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ และความสอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่จัดทำขึ้น แล้วนำไปปรับปรุง แก้ไขตามคำแนะนำและนำบอร์ดเกมบันไดงูที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม และความถูกต้องเที่ยงตรงเนื้อหา

9) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่ได้ปรับปรุง และแก้ไขไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

10) นำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูบอร์ดเกม เรื่องพลังงานกล แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูที่ได้คุณภาพแล้วไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างจริงต่อไป

**การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้**

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าร้อยละ (P) และใช้การทดสอบค่าทีแบบไม่เป็นอิสระจากกัน (t-test for Dependent sample) และคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์

โดยบรรยากาศการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล โดยเริ่มแรก ผู้วิจัยจะเป็นผู้ดำเนินเกมก่อนเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงแนวทางในการเป็นผู้ดำเนินเกม โดยหลังจากครั้งแรกผ่านไป ผู้วิจัยจะเริ่มให้นักเรียนเป็นผู้ดำเนินเกมโดยผู้วิจัยจะมีหน้าที่ในการควบคุม ดูแลนักเรียนแต่ละกลุ่ม บรรยากาศในห้องเรียนมีสีสันขึ้น มีการแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นมีการถกเถียงในคำตอบ ทำให้เห็นถึงพัฒนาการที่ได้จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู (ดังรูปที่ 1)

**รูปภาพ 1** บรรยากาศการจัดการเรียนรู้ โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

**4. ผลการวิจัย**

1) ผลการวิเคราะห์ความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล จำนวน 20 ข้อ เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก

**ตารางที่ 1** แสดงผลการวิเคราะห์ความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นโดยใช้ สูตร KR-20 ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์

| แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ | p | r | $r_{tt}$ | การพิจารณาใช้ได้ |
|---|---|---|---|---|
| **ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์** | 0.25-0.42 | 0.33-0.50 | 0.89 | |

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล พบว่ามีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.25-0.42 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.33-0.50 และมีค่าความเชื่อมั่น โดยใช้สูตรของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เท่ากับ 0.89 ดังนั้นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล จำนวน 20 ข้อ เป็นแบบทดสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จึงมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ได้จริง

2) ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล

**ตารางที่ 2** แสดงผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล

| รายการ | จำนวน | คะแนนเต็ม | คะแนนเฉลี่ย | ร้อยละ | ประสิทธิภาพ E1/E2 |
|---|---|---|---|---|---|
| **ประสิทธิภาพกระบวนการ** | 17 | 20 | 14.59 | 72.95 | 72.95/73.55 |
| **ประสิทธิภาพผลลัพธ์** | 17 | 20 | 14.71 | 73.55 | |

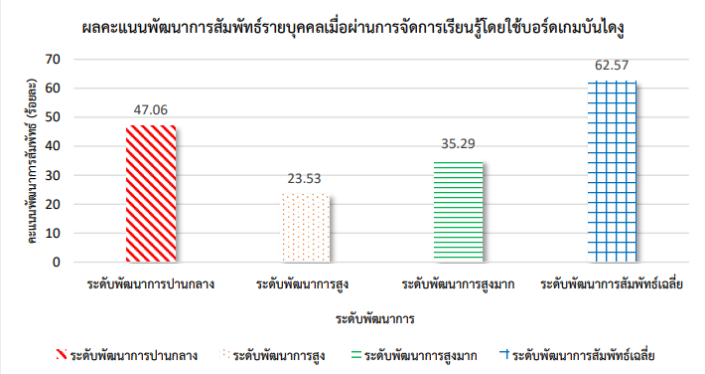
จากตารางที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่องพลังงานกล มีค่า E1/E2 เท่ากับ 72.95/73.55 แสดงว่าการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้บอร์ดเกมบันไดงูเรื่องพลังงานกล ที่จัดทำขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 70/70

3) ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง พลังงานกล โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

**ตารางที่ 3** แสดงผลคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์รายบุคคลของนักเรียนเมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดย

| รหัสนักเรียน | คะแนนก่อนเรียน | คะแนนหลังเรียน | คะแนนความแตกต่าง | คะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (ร้อยละ) | ระดับการพัฒนาการ |
|---|---|---|---|---|---|
| C01 | 4 | 17 | 13 | 81.25 | สูงมาก |
| C02 | 6 | 16 | 10 | 71.43 | สูง |
| C03 | 7 | 17 | 10 | 76.92 | สูงมาก |
| C04 | 5 | 14 | 9 | 60.00 | สูง |
| C05 | 6 | 15 | 9 | 64.29 | สูง |
| C06 | 8 | 13 | 5 | 41.67 | ปานกลาง |
| C07 | 6 | 13 | 7 | 50.00 | ปานกลาง |
| C08 | 6 | 17 | 11 | 78.57 | สูงมาก |
| C09 | 6 | 13 | 7 | 50.00 | ปานกลาง |
| C10 | 6 | 17 | 11 | 78.57 | สูงมาก |
| C11 | 7 | 14 | 7 | 53.85 | ปานกลาง |
| C12 | 6 | 17 | 11 | 78.57 | สูงมาก |
| C13 | 4 | 12 | 8 | 50.00 | ปานกลาง |
| C14 | 4 | 12 | 8 | 50.00 | ปานกลาง |
| C15 | 7 | 14 | 7 | 53.85 | ปานกลาง |
| C16 | 5 | 13 | 8 | 53.33 | ปานกลาง |
| C17 | 6 | 16 | 10 | 71.43 | สูง |
| **ค่าเฉลี่ย** | **5.82** | **14.71** | **8.88** | **62.57** | **สูง** |

ใช้บอร์ดเกมบันไดงู




**รูปภาพ 2** แสดงผลคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

จากตารางที่ 3 และ ภาพที่ 2 พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู คะแนนเฉลี่ยพัฒนาการสัมพัทธ์ของนักเรียนทั้งหมด 17 คน อยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 62.57) โดยมีระดับพัฒนาการที่ระดับปานกลาง จำนวน 8 คน (ร้อยละ 47.06) ต่อมามาคือ ระดับสูง 4 คน (ร้อยละ 23.53) และระดับสูงมากจำนวน 5 คน (ร้อยละ 29.41) ตามลำดับ

**ตารางที่ 4** ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ การจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

| กลุ่มตัวอย่าง | n | คะแนนเต็ม | $\bar{x}$ | S.D. | t | df | Sig |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนเรียน | 17 | 20 | 5.82 | 1.13 | -18.06 | 16 | .00 |
| หลังเรียน | 17 | 20 | 14.71 | 1.90 | | | |

*ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

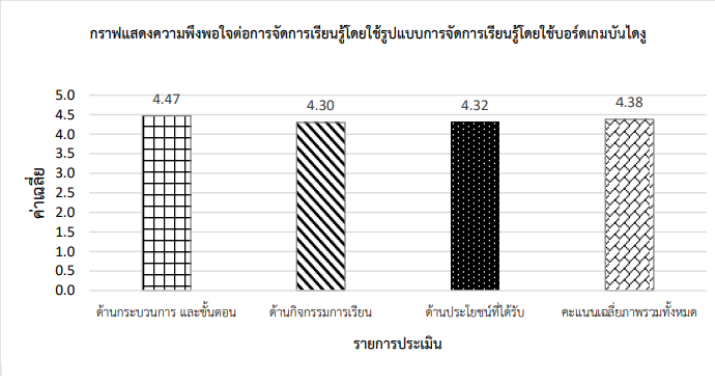
จากตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 5.82 คะแนน และค่าเฉลี่ยคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 14.71 คะแนน และจากการทดลองความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล

**ตารางที่ 5** ผลการศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้บอร์ดเกมบันไดงู

| ด้านที่ประเมิน | $\bar{x}$ | S.D. | ระดับคุณภาพ |
|---|---|---|---|
| **1. ด้านกระบวนการและขั้นตอน** | | | |
| 1. มีการชี้แจงข้อตกลง และบอกกติกาการ เรียนรู้ | 4.41 | 0.71 | มากที่สุด |
| 2. มีการติดตาม ตรวจสอบงานที่มอบหมายทุกครั้ง | 4.53 | 0.72 | มากที่สุด |
| 3. มีการใช้เทคนิคการสอนอื่น ๆ ที่น่าสนใจ | 4.47 | 0.62 | มากที่สุด |

| ด้านที่ประเมิน | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับคุณภาพ |
|---|---|---|---|
| **คะแนนเฉลี่ยรวม** | **4.47** | **0.68** | **มากที่สุด** |
| **2. ด้านกิจกรรมการเรียน** | | | |
| 4. กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา | 4.59 | 0.62 | มากที่สุด |
| 5. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนกล้าคิดกล้าตอบ | 4.18 | 0.81 | มาก |
| 6. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นหรือซักถามแลกเปลี่ยนความรู้ตามความสนใจ | 4.41 | 0.62 | มากที่สุด |
| 7. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น | 4.47 | 0.62 | มากที่สุด |
| 8. กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกัน | 4.35 | 0.80 | มากที่สุด |
| **คะแนนเฉลี่ยรวม** | **4.40** | **0.79** | **มากที่สุด** |
| **3. ประโยชน์ที่ได้รับ** | | | |
| 9. การจัดการเรียนรู้ทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่าย | 4.12 | 0.78 | มาก |
| 10. นักเรียนมีอิสระที่จะแสดงความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น | 4.59 | 0.62 | มากที่สุด |
| 11. การจัดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนเกิดความภูมิใจในตนเองที่สามารถเข้าใจเนื้อหาที่ยากได้ด้วยตนเอง | 4.59 | 0.62 | มากที่สุด |
| 12. ความรู้ที่ได้รับสามารถเชื่อมโยงกับคุณธรรมจริยธรรมที่สอดแทรกในเนื้อหาได้เป็นอย่างดี | 4.24 | 0.66 | มากที่สุด |
| 13. กิจกรรมการเรียนการสอนนี้ทำให้ได้ทำงานร่วมกับผู้อื่น | 4.35 | 0.79 | มากที่สุด |
| 14. นักเรียนคิดว่าการทำงานร่วมกับคนอื่นทำให้ได้ผลงานที่สมบูรณ์ | 4.24 | 0.75 | มากที่สุด |
| 15. การจัดการเรียนรู้ทำให้นักเรียนนำวิธีการเรียนรู้ไปใช้ในวิชาอื่น ๆ | 4.12 | 0.70 | มาก |
| **คะแนนเฉลี่ยรวม** | **4.32** | **0.70** | **มากที่สุด** |
| **คะแนนเฉลี่ยโดยภาพรวมทั้งหมด** | **4.38** | **0.71** | **มากที่สุด** |




**รูปภาพ 3** กราฟแสดงความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 3 สามารถพิจารณารายด้านของการวัดความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้เป็นดังนี้

**ด้านกระบวนการ และขั้นตอน** พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.47 มีค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยตัวแทนนักเรียนได้ให้สัมภาษณ์ในประเด็นนี้ว่า *“เวลาครูให้เล่นบอร์ดเกมจะรู้สึกอยากเล่น เนื่องจากเป็นการพักระหว่างเรียน รูปแบบของเกมไม่ซับซ้อน มีความสนุกสนาน และรูปแบบคำถามที่มีความยากง่ายปะปนกันไป”*

**ด้านกิจกรรมการเรียน** พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.40 มีค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยตัวแทนนักเรียนได้ให้สัมภาษณ์ในประเด็นนี้ว่า *“ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ ส่วนใหญ่ครูจะให้จด และพาทำโจทย์ ซึ่งอาจจะมีบางข้อที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ แต่หลังจากได้รับการบอร์ดเกมบันไดงู ช่วยในเรื่องของการทบทวนได้ดี เป็นการทบทวนความรู้หลังจากการเรียนได้ด้วย”*

**ด้านประโยชน์ที่ได้รับ** พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.32 มีค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยตัวแทนนักเรียนได้ให้สัมภาษณ์ในประเด็นนี้ว่า *“ช่วยทำให้เข้าใจเรื่องตัวแปรมากขึ้น ว่าตัวแปรนี้แทนด้วยอะไรอาจจะยังคำนวณได้ไม่ถนัด แต่เรื่องการแทนค่าตัวแปร สามารถทำได้แล้ว”*

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู มีข้อสรุปและอภิปรายผลดังนี้

1) ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ (E1/E2) โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล จากผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีค่าเฉลี่ยคะแนนเก็บระหว่างเรียน 14.59 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 72.95 และมีค่าเฉลี่ยทดสอบหลังเรียน 14.71 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 73.55 มีประสิทธิภาพ 72.95/73.55 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 70/70 แล้วพบว่าแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูเรื่องพลังงานกล มีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล ศรีชาทุม (2564) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น โดยการจัดการเรียนรูแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น ร่วมกับการใช้ชุดการทดลองสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า การทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างในหัวข้อย่อย เรื่องการหักเหของคลื่น และเรื่องการเลี้ยวเบนของคลื่น ซึ่งมีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 73.68/74.82 และ 73.68/70.70 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ 70/70 ทั้งสองแผน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัญญานุช แย้มไสว (2566) จากงานวิจัย การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม โดยใช้วิธีการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบประสิทธิภาพของนวัตกรรมการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม โดยใช้วิธีการสอนแบบทำนายสังเกต-อธิบาย เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 77.95/76.79 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 70/70 ที่ได้กำหนดมีความสอดคล้องกัน

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง พลังงานกล ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู

2.1) ผลคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์รายบุคคลของนักเรียนที่ได้รับ เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล อยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 62.57) อภิรายผลได้ว่า คะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์รายบุคคลของนักเรียนที่ได้รับเมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล จากการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงูคะแนนเฉลี่ยพัฒนาสัมพัทธ์ของนักเรียนทั้งหมด 17 คน มีค่าเฉลี่ยพัฒนาการสัมพัทธ์สัมพัทธ์ที่ระดับสูง (ร้อยละ 62.57) โดยมีระดับพัฒนาการที่ระดับปานกลางจำนวน 8 คน (ร้อยละ 47.06) ต่อมา คือ ระดับสูง 4 คน (ร้อยละ 23.53) และระดับสูงมากจำนวน 5 คน (ร้อยละ 29.41) ตามลำดับ เนื่องจากคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์

รายบุคคลของนักเรียนเมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล ทำให้เห็นค่าความแตกต่างของการพัฒนาการของนักเรียนในการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยนักเรียน มีพัฒนาการระดับสูงมาก พัฒนาการระดับสูง และพัฒนาการระดับปานกลาง ตามลำดับ

3.2) ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล พบว่านักเรียนมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($\overline{X}$ = 5.82 S.D. = 1.13, $\bar{X}$ = 14.71 S.D. = 1.90) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อภิปรายผลได้ว่า การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 5.82 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน และค่าเฉลี่ยคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 14.71 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน ผลการวิจัยพบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นไปตามสถิติที่ตั้งไว้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล ทำให้นักเรียนเกิดทักษะการคิด การแก้ปัญหา การคำนวณ และการทำงานร่วมกัน โดยลักษณะของการ์ดเกม จะทำให้ผู้เรียนสมารถจดจำเนื้อหาได้ ควบคู่ไปกับการได้รับความสนุกสนานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปาริชาต ชิ้นเจริญ (2564) จากงานวิจัย การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมเป็นฐานที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านระบบนิเวศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สรุปผลได้ดังนี้ความฉลาดรู้ด้านระบบนิเวศของนักเรียนหลังเรียนด้วยบ อร์ดเกมที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านระบบนิเวศสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ (ร้อยละ 75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Daniel Dziob (2018) จากงานวิจัย Board Game in Physics Classes a Proposal for a New Method of Student Assessment สรุปผลได้ว่า กลุ่มทดลองมีผลการทดสอบหลังเรียน สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ นักเรียนในกลุ่มทดลองได้รับความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับนักเรียนในกลุ่มควบคุม แม้ว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนจะต่ำกว่าคะแนนในเกม แต่ก็ยังสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนหน้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งบ่งชี้ว่าการประเมินผลด้วยบอร์ดเกมมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ซึ่งก่อนเรียนอยู่ที่ 47% หลังเรียนอยู่ที่ 58%

3) ผลประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด อภิปรายผลได้ว่า ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า ด้านกระบวนการและขั้นตอน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ด้านกิจกรรมการเรียน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ด้านประโยชน์ที่ได้รับ พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่ 4.38 จากคะแนนเต็ม 5.00 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปรียานุช ใจหาญ และ ภาสกร ภักดิ์ศรีแพง (2567) จากงานวิจัย การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ เรื่อง ระบบนิเวศ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน (5E) ร่วมกับบอร์ดเกม โดยภาพรวมของงานวิจัยความพึงพอใจของนักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.58 และ S.D. = 0.69) และจากการสัมภาษณ์นักเรียนที่ได้รับจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล ได้ให้สัมภาษณ์ว่ารูปแบบของเกมไม่ซับซ้อน มีความสนุกสนาน และรูปแบบคำถามที่มีความยากง่ายปะปนกันไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Jie Ying Low et al.,2024) จากงานวิจัย การใช้แนวทางการเรียนรู้แบบใช้เกมในวิชาฟิสิกส์: เกมกระดานนวัตกรรมใหม่ในการเรียนรู้เรื่องแรงลัพธ์สำหรับนักเรียนมัธยมปลาย ได้ให้ข้อมูลว่านักเรียนมีความเห็น

สอดคล้องกันว่าเกมนี้มีคุณภาพดีและมอบประสบการณ์ที่ดีให้กับพวกเขาและ พบว่าเกมกระดานนี้มีประสิทธิภาพในการช่วยให้นักเรียนเรียนรู้และมีแรงจูงใจเพิ่มขึ้น โดยผู้เข้าร่วมให้ความเห็นว่า “เกม สนุก ใช้งานง่าย เกี่ยวข้องกับเนื้อหา และช่วยส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม” และจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างนั้น ได้ให้ข้อเสนอแนะมาว่า การจัดกลุ่มนักเรียน อาจจะต้องมีการกระจายมากกว่านี้และควรเพิ่มจำนวนของบอร์ดเกม เพื่อให้นักเรียนเล่นได้ทั่วถึง

**ข้อเสนอแนะ**

**ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้**

1) จากการนำบอร์ดเกมบันไดงู เรื่อง พลังงานกล มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ ครูผู้สอนต้องมีการจัดแบ่งจำนวนกลุ่มนักเรียน ให้มีความเหมาะสมต่อบอร์ดเกม เนื่องจากถ้าจำนวนนักเรียนไม่สอดคล้องกับจำนวนบอร์ดเกม จะมีผลทำให้นักเรียนได้เล่นไม่ครบ หรือมีนักเรียนบางส่วนที่ไม่ได้เข้าร่วมการเล่น จะส่งผลกรทบต่อนักเรียนได้

2) ต้องมีการจัดให้มีผู้ดำเนินเกม ในการเล่นบอร์ดเกม เพื่อที่จะสามารถดำเนินเกมจนถึงจุดสิ้นสุดลงได้ซึ่งผู้ดำเนินเกมนั้น ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของครูผู้สอน และขึ้นอยู่กับจำนวนนักเรียน และสภาพห้องเรียน ซึ่งผู้ดำเนินเกมนั้น อาจจะเป็นครูผู้สอนหรือนักเรียน

**ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป**

1) การวิจัยพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกม เรื่อง พลังงานกล อยู่ในระดับมากที่สุด ในการวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรศึกษาบอร์ดเกมอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อนำมาพัฒนาศักยภาพของผู้เรียน และเสริมในส่วนของแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อมีความคิดสร้างสรรค์ และพัฒนาผู้เรียน

2) ผู้สอนสามารถเพิ่มความท้าทายในเรื่องของตัวแปร และโจทย์ปัญหา ให้สอดคล้องกับห้องเรียน และนักเรียนที่ผู้สอนได้มีการจัดการเรียนรู้

3) ในด้านของบอร์ดเกมบันไดงู สามารถเพิ่มกฎ กติกาให้มีความหลากหลาย และท้าทายสำหรับผู้เรียนมากขึ้น

**6. เอกสารอ้างอิง**

ชัญญานุช แย้มไสว. (2566). *การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม โดยใช้วิธีการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์เรื่อง พลังงานกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.* วิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ณัฐพล ศรีชาทุม. (2564). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์เรื่อง คลื่น โดยการจัดการเรียนรูแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น ร่วมกับการใช้ชุดการทดลองสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. 15*(1), 52-63.

ธีระวุฒิ ศรีมังคละ. (2564). *บอร์ดเกมเป็น Active Learning ได้อย่างไร?,* ได้จาก:https://inskru.com/idea/-N5pHa3sJCbLZq_G8hQD/, สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2567

ธีระวุฒิ ศรีมังคละ. (2565). *รวมคำนิยามของบอร์ดเกมเพื่อวิเคราะห์ว่าจริง ๆ แล้วบอร์ดเกมคืออะไร.* สืบค้นจาก https://inskru.com/idea/NLfl8ffC8VMHUqqmVHH/

ปรียานุช ใจหาญ และภาสกร ภักดิ์ศรีแพง. (2567). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชา วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เรื่อง ระบบนิเวศ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน (5E) ร่วมกับบอร์ดเกม. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 35*(1), 56-70.

ปาริชาต ชิ้นเจริญ. (2564). *การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บอร์ดเกมเป็นฐานที่ส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านระบบนิเวศสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4*. วิทยานิพนธ์หลักสูตร ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

ลักคะณา เสโนฤทธิ์. (2551). *การใช้เกมเพื่อการศึกษา.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย.

วรพล ยวงเงิน. (2564). การพัฒนาเกมกระดานเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ฟิสิกส์. *วารสารการสอนและการเรียนรู้, 9*(4), 200–210.

วราภรณ์ ลิ้มเปรมวัฒนา และ กันตภณ ธรรมวัฒนา. (2560). ผลของการใช้เกมกระดานต่อพัฒนาการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน. *วารสารการวิจัยทางการศึกษา, 8*(2), 115–125.

ศรบรม กุลลาวัณย์ และสิรินธร สินจินดาวงศ์. (2566). การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมเป็นฐานด้วยเกมกระดาน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก ที่ส่งเสริมการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ศรีนครินทรวิโรฒ. 24*(2), 99-114.

ศรบรม กุลลาวัณย์ และ สิรินธร สินจินดาวงศ์. (2566). ปัจจัยที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์. *วารสารวิทยาศาสตร์การศึกษา, 10*(2), 77–89.

เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ. (2559). *การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21: ทฤษฎีและการปฏิบัติ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์การศึกษา.

จตุพล จตุรภัทร และ สุพัตรา ชะมะบูรณ์. (2566). ความท้าทายในการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารการศึกษา, 12*(1), 45–58.

Daniel Dziob. (2018). *Board Game in Physics Classes a Proposal for a New Method of Student Assessment. Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, Lojasiewicza 11*, 30-348 Krakow, Poland. https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-018-9714-y

Jie Ying Low., Balamuralithara Balakrishnan., Mohd Ikhwan Hadi Yaacob. (2024). *The Usage of Game-Based Learning Approach in Physics Education: A Novel Board Game in Learning Resolution of Forces among Upper Secondary. Faculty of Science and Mathematics, Sultan Idris Education University, Malaysia.* https://ejceel.com/index.php/journal/article/view/101/65

Sánchez, M., García, A., & López, P. (2022). Effects of game-based learning on physics education: A meta-analysis. *Journal of Educational Technology*, *18*(3), 145–160. https://doi.org/10.1016/j.jedutech.2022.03.005

Wang, J., Liu, Y., & Chen, X. (2023). Digital gaming and student engagement in STEM learning: A review. *International Journal of STEM Education, 10*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s40594-023-00372-1

# กลุ่มบทความที่ 5
# คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีมัลติมีเดีย

# การพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์

# Development of a Robotic Process Automation (RPA) System for Bank Reconciliation Using the Agile Methodology

**ภราดร ภูษิตวณิชย์[1*] , ชุติมา พิศาลย์[2]**

**Paradorn Phusitwanis[1*], Chutima Pisarn [2]**

[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[1]Graduate student in Master of Science College of Digital Innovation Technology, Rangsit University, p.phusitwanis@gmail.com

[2]อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[2]Lecturer in Master of Science, College of Digital Innovation Technology, Rangsit University, chutima@rsu.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารทางการเงินและกระบวนการควบคุมภายใน การกระทบยอดเงินฝากธนาคารเป็นขั้นตอนสำคัญ ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทางการเงิน โดยการเปรียบเทียบยอดเงินคงเหลือในบัญชีธนาคารขององค์กรกับใบแจ้งยอดจากธนาคารเพื่อระบุความแตกต่าง เช่น เช็คค้างจ่าย รายการรับเงินล่าช้า การดำเนินการแก้ไขข้อคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะช่วยให้รายการบัญชีขององค์กรมีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน การศึกษานี้นำเสนอรูปแบบการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์โดยประยุกต์ใช้แนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบอไจล์ โดยใช้ Scrum Framework ตามแนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบอไจล์ ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก 4 ขั้นตอนดังนี้ 1. Product Backlog Preparation 2. Sprint Planning 3. Development และ Daily Scrum 4. Sprint Retrospective รวมทั้งทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์สำหรับกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารโดยใช้แนวทางแบบอไจล์ โดยเปรียบเทียบกับหลักการของ Agile Manifesto ทั้ง 12 ข้อ ซึ่งผลการพัฒนาระบบทำให้ลดขั้นตอนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารจำนวน 6 ขั้นตอน เหลือเพียงขั้นตอนเดียว เพื่อช่วยลดการใช้ทรัพยากรมนุษย์ ลดขั้นตอนการทำงาน ลดระยะเวลาในการทำงาน และป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์

**คำสำคัญ:** การกระทบยอดเงินฝากธนาคาร การพัฒนาซอฟต์แวร์แบบอไจล์ ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์

**Abstract**

The research focuses on developing a Robotic Process Automation (RPA) system for bank reconciliation using the Agile methodology to enhance financial management and internal control processes. Bank reconciliation is a vital step in verifying the accuracy of financial data by comparing a company's bank account balance with bank statements to identify discrepancies such as outstanding checks and delayed deposits. Addressing these differences ensures that accounting records are accurate and current. The study presents a framework for developing the RPA system by applying Agile software development principles, utilizing the widely recognized Scrum Framework. The four main process steps include: 1) Product Backlog Preparation, 2) Sprint Planning, 3) Development and Daily Scrum, and 4) Sprint Retrospective. The study also analyzes the results of implementing the RPA system for bank reconciliation using Agile principles, comparing the outcomes to all 12 principles of the Agile Manifesto. The result is a reduction of the traditional six-step bank reconciliation process to only one step, which reduces human resource usage, streamline workflow, shortens processing time, and helps prevent human errors.

**Keywords:** Bank Reconciliation, Agile Methodology, Agile Manifesto, Robotic Process Automation, RPA

## 1. บทนำ

การกระทบยอดเงินฝากธนาคาร (Bank Reconciliation Statement) คือกระบวนการตรวจสอบและเปรียบเทียบยอดคงเหลือในบัญชีเงินฝากธนาคารของกิจการกับใบแจ้งยอดจากธนาคาร เพื่อยืนยันความถูกต้องของรายการทางการเงิน หากพบความแตกต่างระหว่างสองแหล่งข้อมูลดังกล่าว จะต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อน เช่น เช็คค้างจ่าย รายการรับเงินล่าช้า หรือค่าธรรมเนียมที่ยังไม่บันทึก และดำเนินการปรับปรุงรายการในบัญชีของกิจการให้ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน (สุภาพร วงศ์ก้อม, 2565)

การกระทบยอดเงินฝากเป็นขั้นตอนสำคัญในการควบคุมภายในและการบริหารทางการเงิน โดยช่วยให้กิจการสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทางการเงิน ป้องกันข้อผิดพลาด และลดความเสี่ยงจากการทุจริตหรือความบกพร่องในการบันทึกบัญชี โดยขั้นตอนของกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคาร ประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พนักงานการเงินทำการเข้าไปยังเว็บไซต์ของธนาคารต้นทางของบริษัท เพื่อทำการตรวจสอบสถานะของรายการธุรกรรมการโอนเงินจากบัญชีธนาคารต้นทางของบริษัท ไปยังบัญชีธนาคารปลายทางของเจ้าหนี้

2. พนักงานการเงินทำการดาวน์โหลดหลักฐานรายการธุรกรรมของการโอนเงินจากบัญชีธนาคารต้นทางของบริษัทไปยังบัญชีธนาคารปลายทางของเจ้าหนี้

3.เจ้าหน้าที่การเงินทำการเข้าไปยังระบบ SAP เพื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลรายการธุรกรรมของการโอนเงิน

4.เจ้าหน้าที่การเงินทำการเปรียบเทียบข้อมูลรายการธุรกรรมของการโอนเงินที่ได้จากเว็บไซต์ธนาคารและข้อมูลที่ได้จากระบบ SAP

5.พนักงานการเงินทำรายการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของบริษัทในระบบ SAP

6.พนักงานการเงินทำการจัดทำรายงานในระบบ SAP เพื่อให้ผู้บังคับบัญชาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพร้อมกับลงนามลายเซ็นเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูล โดยกระบวนการทั้ง 6 สามารถสรุปเป็นภาพที่ 1 ดังนี้

**ภาพที่ 1** กระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของบริษัท

โดยกิจกรรมกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารที่ได้กล่าวไปนั้นเป็นกระบวนการที่มีรูปแบบซ้ำๆเดิมๆ และมีปริมาณงานที่เยอะ ต้องใช้ทรัพยากรในองค์กรมาก รวมทั้งมีโอกาสทำงานผิดพลาดได้ เนื่องจากเป็นการทำงานที่ตรวจสอบข้อมูลด้วยมนุษย์ รุ่งทิพย์ อินทวงค์ (2565) ได้ศึกษาว่าการนำระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ หรือที่เรียกว่า Robotic Process Automation หรือ RPA สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์สามารถปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เร็วขึ้นและทำงานแบบไม่ผิดพลาด นอกจากนี้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ ยังสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้เห็นแนวทางการประยุกต์ใช้จึงมีการออกแบบและพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ เพื่อช่วยลดการใช้ทรัพยากรมนุษย์ ลดขั้นตอนการทำงาน ลดระยะเวลาในการทำงาน และป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของบริษัท รวมทั้งทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาระบบ และผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบผลจากกระบวนการพัฒนาระบบกระทบยอดเงินฝากธนาคารกับหลักการของ Agile Manifesto ทั้ง 12 ข้อ (Beck, et al., 2001) ซึ่งหลักการทั้ง 12 ข้อเป็นดังนี้

1.ความสำคัญสูงสุดของพวกเราคือความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อการส่งมอบซอฟต์แวร์ที่มีคุณค่าต่อลูกค้า ตั้งแต่ต้นอย่างต่อเนื่อง

2.ยอมรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการของลูกค้าแม้ในช่วงท้ายของการพัฒนาเพราะอไจล์สามารถแปรเอาความเปลี่ยนแปลง มาเป็นความได้เปรียบในการแข่งขันของลูกค้า

3.ส่งมอบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริงอย่างสม่ำเสมออาจเป็นทุกสองถึงสามสัปดาห์หรือทุกสองถึงสามเดือนโดยควรทำให้ระยะเวลาระหว่างการส่งมอบนั้นสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

4.ตัวแทนจากฝ่ายธุรกิจและนักพัฒนาจะต้องทำงานร่วมกันเป็นประจำทุกวันตลอดโครงการ

5.ทำให้แน่ใจว่าสมาชิกโครงการเข้าใจและมีจุดมุ่งหมายของโครงการร่วมกันสร้างสภาวะแวดล้อมและให้การสนับสนุนในสิ่งที่พวกเขาต้องการและให้ความไว้วางใจแก่พวกเขาในการที่จะทำงานให้บรรลุเป้าหมายนั้น

6.วิธีที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดในการถ่ายทอดข้อมูลต่างๆไปสู่ทีมพัฒนาและภายในทีมพัฒนาเองคือการพูดคุยแบบซึ่งหน้า

7.ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริงเป็นตัวหลักในการวัดความก้าวหน้าของโครงการ

8.กระบวนการอไจล์สนับสนุนให้เกิดการพัฒนาแบบยั่งยืนกล่าวคือผู้สนับสนุนนักพัฒนา และตัวแทนผู้ใช้ควรจะสามารถรักษาอัตราเร็วในการทำงานร่วมกันให้คงที่ได้ตลอดไป

9.การใส่ใจในความเป็นเลิศทางเทคนิคและงานออกแบบที่ดีอย่างต่อเนื่องจะช่วยเพิ่มความเป็นอไจล์

10.ความเรียบง่าย หรือศิลปะในการทำงานอย่างพอเพียง นั้นสำคัญยิ่ง

11.สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ ความต้องการของลูกค้าและงานออกแบบที่ดีที่สุด เกิดจากทีมที่บริหารจัดการตัวเองได้

12.ทุกช่วงเวลาหนึ่งเป็นประจำ ทีมจะต้องย้อนกลับไปตรองดูสิ่งที่ผ่านมาเพื่อหาทางที่จะพัฒนาความมีประสิทธิผลของทีม แล้วนำสิ่งเหล่านั้นมาปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของทีม

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของบริษัทด้วยอไจล์

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบแบบอไจล์ (Agile Development) โดยใช้ Scrum Framework ซึ่งเน้นการแบ่งช่วงการพัฒนาเป็นรอบสั้นๆ (Sprint) โดยแต่ละรอบจะมีการวางแผน ดำเนินงาน ทดสอบ และประเมินผลอย่างชัดเจน ทั้งนี้กระบวนการอไจล์ยังเน้นให้มีการทำงานร่วมกับผู้ใช้งานจริงอย่างใกล้ชิด เพื่อให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาระบบตามข้อเสนอแนะและความต้องการที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงช่วยลดความเสี่ยงในการพัฒนาระบบและเพิ่มโอกาสที่ระบบจะได้รับการยอมรับและใช้งานจริงอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัย ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การพัฒนาระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์เพื่อกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์

ในบริบทของบริษัทซึ่งมีปัญหาในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารที่ใช้แรงงานคนจำนวนมาก เกิดข้อผิดพลาดสูง และใช้เวลามาก จึงได้พัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์โดยประยุกต์ใช้ Scrum Framework ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางของอไจล์โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานหลักดังนี้ 1. Product Backlog Preparation คือการรวบรวมความต้องการจากพนักงานฝ่ายการเงิน โดยผู้รับผิดชอบคือเจ้าของผลิตภัณฑ์ (Product Owner) ทำหน้าที่ในการสัมภาษณ์และจัดการประชุมกลุ่มย่อยเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา ความต้องการ และรายละเอียดที่จำเป็นต่อการพัฒนา นำความต้องการที่ได้มาสร้างเป็นเรื่องราวของผู้ใช้ หรือที่เรียกว่า User Stories โดยจัดทำให้อยู่ในรูปแบบเอกสารที่ใช้ในการพัฒนาแบบอไจล์ 2. Sprint Planning คือการประชุมวางแผน Sprint Planning โดยเชิญทีมพัฒนา (Developer) เจ้าของผลิตภัณฑ์ (Product Owner) และตัวแทนผู้ใช้งานมาร่วมกำหนดแผนการทำงานในแต่รอบ Sprint เพื่อทบทวนและจัดลำดับความสำคัญของ User Stories และเลือก User Stories ที่จะนำมาดำเนินการในแต่ละ Sprint โดยอ้างอิงจากความสามารถในการทำงานของทีมซึ่งพิจารณาจากคะแนน Story Points ที่ได้จากการใช้เทคนิค Planning Poker 3. Development และ Daily Scrum คือกระบวนการที่ทีมพัฒนาลงมือออกแบบและพัฒนาโปรแกรมทดสอบ และสร้างระบบตามเป้าหมายของ แต่ละ Sprint โดยอิงจาก Sprint Backlog ที่กำหนดไว้ รวมทั้งมีการทำ Daily Scrum คือการประชุมสั้นทุกวัน (ประมาณ 15 นาที) โดย Scrum Master จะดำเนินการประชุม และสมาชิกแต่ละคนจะตอบคำถาม 3 ข้อ ได้แก่ เมื่อวานนี้ทำอะไรไปแล้วบ้าง วันนี้จะทำอะไร มีสิ่งใดเป็นอุปสรรคในการทำงาน เพื่อให้สมาชิกในทีมแบ่งปันความคืบหน้า ปัญหา และแผนการทำงานในวันนั้น ช่วยให้ทีมเข้าใจสถานะของโครงการ และสามารถปรับแผนหรือแก้ไขปัญหาได้รวดเร็ว 4. Sprint Retrospective คือการประชุมภายในทีมที่จัดขึ้นเมื่อสิ้นสุดแต่ละ Sprint โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทีม

สะท้อนกระบวนการทำงานที่ผ่านมา ประเมินสิ่งที่ดำเนินการได้ดี สิ่งที่ควรปรับปรุง และสิ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน Sprint ถัดไป

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. Scrum Framework ตามแนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบอไจล์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

2. ซอฟต์แวร์ระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ โดยผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า UiPath

3. เครื่องมือในการออกแบบระบบ ประกอบด้วย Context Diagram เพื่อใช้เป็นแผนภาพแสดงการทำงานของระบบระดับสูงสุด โดยแสดงภาพรวมว่าระบบที่กำลังจะพัฒนาว่ามีความสัมพันธ์กับสิ่งภายนอกอย่างไร และ Data Flow Diagram แผนภาพที่ใช้แสดงการไหลของข้อมูลว่าข้อมูลมาจากไหน เข้าสู่กระบวนการใด แล้วไหลไปไหนต่อบ้างอย่างไร

## 4. ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์เพื่อกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์รวมทั้งเปรียบเทียบผลการพัฒนาระบบที่ได้กับหลักการของอไจล์ (Agile manifesto) (Beck, et al., 2001) ทั้ง 12 ข้อ มีดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์เพื่อกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารด้วยอไจล์

ในการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์โดยใช้ Scrum Framework ตามแนวคิดแบบอไจล์ได้มีการดำเนินงานเป็นรอบของ Sprint ทั้งหมด 3 รอบ ครอบคลุมขั้นตอนสำคัญ ดังนี้ 1. Product Backlog Preparation 2. Sprint Planning 3. Development และ Daily Scrum 4. Sprint Retrospective โดยรายละเอียดของกระบวนการและผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 Product Backlog Preparation

ผลการรวบรวมและจัดลำดับความสำคัญของความต้องการของผู้ใช้งานหรือที่เรียกว่า User Stories ทั้งหมดที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบ ผลที่ได้จากขั้นตอน Product Backlog Preparation มี 5 User Stories ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** User Stories ที่ได้จากการทำ Product Backlog Preparation

| User Story ID | บทบาท | เรื่องราว | เหตุผล |
|---|---|---|---|
| **US001** | พนักงานฝ่ายการเงิน | ในฐานะพนักงานฝ่ายการเงิน ฉันต้องการให้ระบบสามารถดึงข้อมูลยอดการโอนเงินจากเว็บไซต์ธนาคารโดยอัตโนมัติ | เพื่อลดเวลาการทำงานด้วยมือ |
| **US002** | พนักงานฝ่ายการเงิน | ในฐานะพนักงานฝ่ายการเงิน ฉันต้องการให้ระบบสามารถจับคู่ข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับข้อมูลยอดการโอนเงินในระบบ SAP โดยอัตโนมัติ | เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการตรวจสอบด้วยตนเอง |
| **US003** | พนักงานฝ่ายการเงิน | ในฐานะพนักงานฝ่ายการเงิน ฉันต้องการให้ระบบสามารถสรุปและรายงานรายการที่ไม่ตรงกันระหว่างข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับระบบSAP | เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว |

| User Story ID | บทบาท | เรื่องราว | เหตุผล |
|---|---|---|---|
| **US004** | พนักงานฝ่ายการเงิน | ในฐานะผู้ใช้งาน ฉันต้องการยืนยันผลรายงานของรายการไม่ตรงกันระหว่างข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับระบบ SAP จากนั้นส่งอีเมลให้กับระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์เพื่อดำเนินการกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ SAP แบบอัตโนมัติ | เพื่อทำการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ SAP แบบอัตโนมัติ |
| **US005** | พนักงานฝ่ายการเงิน | ในฐานะพนักงานฝ่ายการเงิน ฉันต้องการให้มีรายงานผลการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ทางอีเมล เพื่อใช้ในการตรวจสอบ | เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว |

4.1.2 Sprint Planning

ผลจากการทำ Sprint Planning ทีมงานประกอบด้วยทีมพัฒนา (Developer) เจ้าของผลิตภัณฑ์ (Product Owner) และตัวแทนผู้ใช้งาน ได้ทำการประเมินความสามารถในการรองรับงานในแต่ละ Sprint ด้วยเทคนิค Planning Poker ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของการประเมินขนาดและความซับซ้อนของแต่ละ User Story เพื่อใช้ในการกำหนดจำนวนของ User Story ในแต่ละ Sprint โดยใช้การ์ดตัวเลขตามลำดับ Fibonacci เช่น 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ในการแทนคำพูดเพื่อป้องกันการออกเสียงซึ่งจะทำให้เกิดการคล้อยตามได้ ซึ่งผลของการทำ Planning Poker ทำให้ได้ Story Points ของแต่ User Story ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** Story Point ที่ได้จากการทำ Planning Poker

| User Story ID | คำอธิบายโดยย่อ | Story Points | เหตุผลของคะแนนที่ได้จากทีม |
|---|---|---|---|
| US001 | ดึงข้อมูลยอดการโอนเงินจากเว็บไซต์ธนาคารโดยอัตโนมัติ | 13 | มีขั้นตอนการดึงข้อมูลหลายรูปแบบต้องรองรับหลายธนาคาร มีความเสี่ยงเรื่องรูปแบบ |
| US002 | ระบบสามารถจับคู่ข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับระบบ SAP โดยอัตโนมัติ | 8 | มีความซับซ้อนเรื่องการจับคู่ของข้อมูลและรูปแบบที่ไม่ตรงกัน |
| US003 | ระบบสามารถสรุปและรายงานรายการที่ไม่ตรงกันระหว่างข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับระบบ SAP | 8 | ซับซ้อนน้อยกว่า US002 แต่ต้องสร้างขั้นตอนการตรวจจับข้อมูลผิดพลาด |
| US004 | พนักงานฝ่ายการเงินยืนยันผลรายงานให้กับระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์เพื่อดำเนินการกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ SAP | 13 | ต้องเชื่อมกับฐานข้อมูลหลายแหล่งมีประเด็นออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้และสมรรถนะการทำงานของระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ |

| User Story ID | คำอธิบายโดยย่อ | Story Points | เหตุผลของคะแนนที่ได้จากทีม |
|---|---|---|---|
| US005 | รายงานผลการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ทางอีเมล | 5 | งานออกแบบส่วนสร้างรายงานไม่ซับซ้อนมาก |

จากการวางแผนพบว่า ทีมมีความสามารถรองรับงานได้ประมาณ 20 คะแนนต่อ Sprint และการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ซึ่งเป็นระบบในรูปแบบลักษณะที่เป็นลำดับและขั้นตอนการทำงานที่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงจัดลำดับกลุ่มของแต่ละ Sprint ได้ดังตารางที่ 3

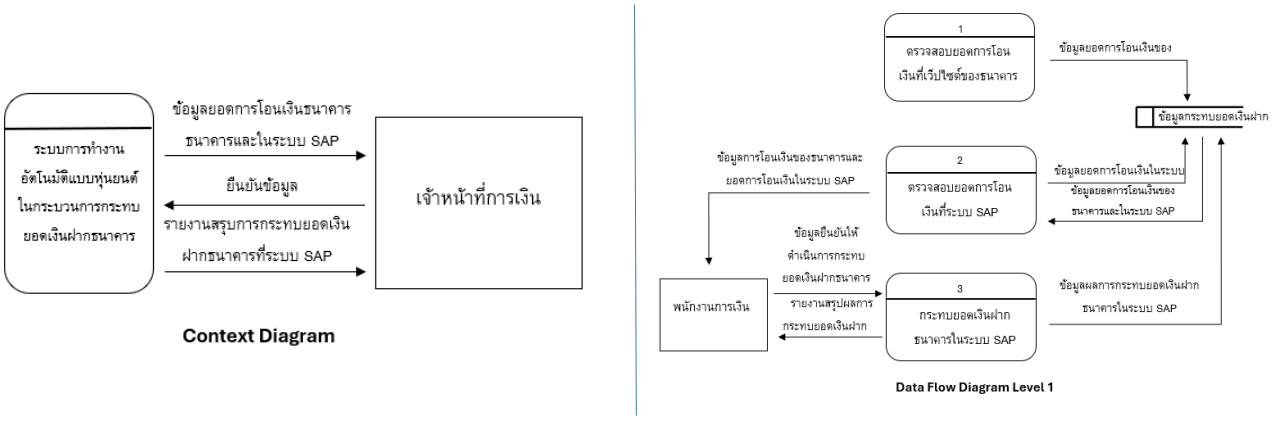
**ตารางที่ 3** สรุปจำนวน Sprint ทั้งหมดของการพัฒนาระบบ

| Sprint | User Stories | เป้าหมายหลัก | Story Points |
|---|---|---|---|
| Sprint 1 | US001 | ดึงข้อมูลรายการเดินบัญชีจากเว็บไซต์ธนาคาร | 13 |
| Sprint 2 | US002, US003 | จับคู่ข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับข้อมูลยอดการโอนเงินใน SAP และสรุปรายการไม่ตรงกัน | 16 |
| Sprint 3 | US004, US005 | ยืนยันผลรายงานของรายการไม่ตรงกันระหว่างข้อมูลยอดการโอนเงินธนาคารกับ SAP จากนั้นส่งอีเมลเพื่อสั่งให้ระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ดำเนินกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ SAP จากนั้นรายงานผลกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารทางอีเมลให้กับพนักงานฝ่ายการเงิน | 18 |

4.1.3 Development และ Daily Scrum

ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลของการออกแบบระบบและระบบที่พัฒนาได้รวมทั้งผลของการ Daily Scrum ในแต่ละ Sprint ดังนี้

การออกแบบระบบได้ใช้เครื่องมือต่างๆเข้ามาช่วยในการออกแบบคือ Context Diagram โดย Context Diagram จะเป็นแผนภาพกระแสข้อมูลระดับสูงสุด เป็นแผนภาพที่สรุปของเขตของการทำงาน และภาพรวมของการทำงานของระบบที่มีความสัมพันธ์กับผู้ใช้งานหรือระบบอื่นๆภายนอกที่เข้ามาทำการเชื่อมต่อ ผู้วิจัยจึงได้แสดงเป็นภาพที่ 2 ดังนี้




**ภาพที่ 2** Context Diagram และ Flow Diagram ระดับที่ 1

จากภาพที่ 2 แผนภาพ Context Diagram แสดงให้เห็นขอบเขตของการทำงานของระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารของบริษัทด้วยอไจล์ ดังนี้

ระบบทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ทำการส่งข้อมูลการโอนเงินจากเว็บไซต์ของธนาคารและระบบ SAP ไปยังเจ้าหน้าที่การเงินให้ทำการตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องจากนั้นเจ้าหน้าที่การเงินทำการส่งข้อมูลการยืนยันข้อมูลการโอนเงินของเว็บไซต์ของธนาคารและระบบ SAP ไปยังระบบทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์แล้วระบบทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์จะทำการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ SAP จากนั้นจัดทำรายงานสรุปผลการกระทบยอดเงินฝากธนาคารแล้วส่งข้อมูลให้กับเจ้าหน้าที่การเงินให้ทราบ

เครื่องมือตัวถัดมาคือ Data Flow Diagram ระดับที่1 ซึ่งใช้แสดงให้เห็นถึงการไหลของข้อมูลจะมีการแตกระดับการไหลของข้อมูลไปจนถึงระดับที่ละเอียดที่สุดเพื่อให้ผู้ใช้งานและทีมพัฒนาระบบเห็นภาพและเข้าใจมากที่สุด

ผลจากการทำ Daily Scrum ในการดำเนินงานตามกรอบ Agile Scrum ทีมพัฒนาสามารถส่งมอบระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารได้ตรงตามเป้าหมายของแต่ละ Sprint โดย Sprint แรกได้พัฒนาระบบดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ธนาคาร พร้อมทดสอบกับข้อมูลย้อนหลัง ส่วน Sprint ถัดมาพัฒนาระบบจับคู่ข้อมูลยอดโอนกับ SAP ซึ่งแล้วเสร็จก่อนกำหนด

การประชุม Daily Scrum ช่วยให้ทีมค้นพบและแก้ไขปัญหาการจัดรูปแบบของวันที่ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งการแบ่งงานตามความถนัดช่วยลดความล่าช้า ทำให้สามารถส่งมอบงานได้ตรงเวลาในทุก Sprint โดยผลงานแต่ละรอบมีการนำเสนอแก่เจ้าของผลิตภัณฑ์ และผู้ใช้งานจริง พร้อมรับฟังความคิดเห็นเพื่อนำไปปรับปรุงใน Sprint ถัดไปอย่างต่อเนื่อง

4.1.4 Sprint Retrospective

ซึ่งจากการวิจัยได้ผลจากการทำ Sprint Retrospective ดังนี้ จากการดำเนินการ Sprint Retrospective ทีมพบว่าการแบ่ง Sprint ออกเป็นรอบสั้นช่วยให้สามารถตรวจสอบความก้าวหน้าและความเข้าใจของสมาชิกในทีมได้อย่างชัดเจนมากขึ้น อีกทั้งยังได้รับข้อเสนอแนะว่าควรปรับปรุงขั้นตอนการประสานงานระหว่างทีมพัฒนากับผู้ใช้งานให้มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทีมยังได้เสนอให้ปรับปรุงเครื่องมือรายงานสถานะงานภายใน Sprint ให้มีความชัดเจนและติดตามได้ง่าย ส่งผลให้มีการเพิ่มป้าย Kanban เพื่อสนับสนุนการติดตามงาน นอกจากนี้ทีมยังตระหนักถึงความสำคัญของการกำหนดเป้าหมาย

ที่ชัดเจนและจับต้องได้ ซึ่งช่วยลดความคลุมเครือในการทำงานและยกระดับคุณภาพของผลลัพธ์ โดยรวมแล้ว กระบวนการ Retrospective มีบทบาทสำคัญในการสร้างวัฒนธรรมการเรียนรู้และการพัฒนาอย่างต่อเนื่องภายในทีม โดยมีกระบวนการที่เป็นระบบและส่งเสริมการทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดระหว่างทีมพัฒนาและผู้ใช้งานจริง ทำให้สามารถพัฒนาระบบอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์ความต้องการขององค์กรได้อย่างแท้จริง

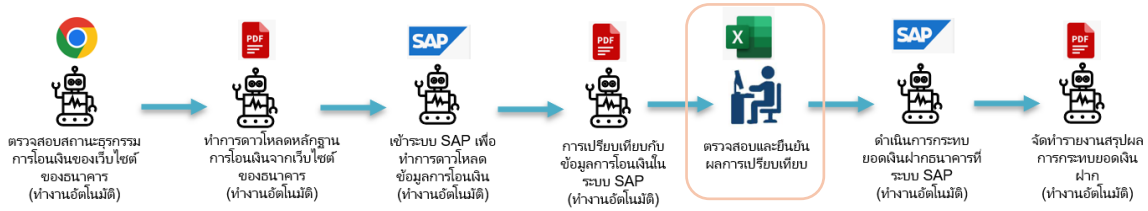
4.2 การเปรียบเทียบผลการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคารกับหลักการอไจล์ (Agile Manifesto) (Beck, et al., 2001) 12 ข้อ แสดงดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลลัพธ์จากการพัฒนาระบบเปรียบเทียบกับหลักการของ Agile Manifesto ทั้ง 12 ข้อ

| หลักการอไจล์ | ผลการเปรียบเทียบ |
|---|---|
| 1. พึงพอใจลูกค้าด้วยการส่งมอบที่ต่อเนื่อง | ผู้ใช้งานได้เห็นความคืบหน้าของระบบตั้งแต่ระยะต้น ส่งผลให้มีความเชื่อมั่นและพึงพอใจในระบบมากขึ้น ระบบที่ส่งมอบสุดท้ายตอบโจทย์การทำงานจริงและสร้างคุณค่าอย่างชัดเจน |
| 2. ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง | ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้งานได้อย่างครบถ้วน |
| 3. ส่งมอบซอฟต์แวร์ใช้งานได้จริงอย่างสม่ำเสมอ | ลดปัญหาข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้มากขึ้น แก้ปัญหาได้เร็วขึ้นในแต่ละรอบการพัฒนา |
| 4. ทำงานร่วมกันทุกวันระหว่างทีมและผู้ใช้ | ลดความคลาดเคลื่อนของความต้องการและการสื่อสาร ทำให้ข้อกำหนดของระบบถูกต้องตั้งแต่แรกและแก้ปัญหาได้รวดเร็ว |
| 5. สร้างทีมที่มีแรงจูงใจและเชื่อใจได้ | การทำงานจึงมีประสิทธิภาพและเสร็จทันตามกำหนดเวลา ระบบที่พัฒนาเสร็จมีคุณภาพสูงตรงตามความต้องการ |
| 6. การสื่อสารแบบพบหน้าดีที่สุด | ลดความเสี่ยงที่จะเกิดการตีความผิด ทีมสามารถซักถามและได้รับคำตอบทันทีเมื่อมีข้อสงสัย ทำให้วงจรการพัฒนารวดเร็วขึ้น |
| 7. ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้คือหลักฐานความก้าวหน้า | สร้างความมั่นใจว่าการพัฒนามีความก้าวหน้าไปอย่างแท้จริง เมื่อสิ้นสุดโครงการ พบว่าคุณลักษณะหลักทุกอย่างที่วางแผนไว้ได้รับการพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริงทั้งหมด |
| 8. การพัฒนาแบบยั่งยืนด้วยจังหวะคงที่ | คุณภาพของงานในแต่ละ Sprint จึงคงที่และไม่ลดลงในช่วงท้ายของโครงการ |
| 9. ความเป็นเลิศทางเทคนิคและการออกแบบที่ดีช่วยเพิ่มความคล่องตัว | ระบบเสถียร ง่ายต่อการดูแลรักษาและต่อยอดในอนาคต ทีมสามารถปรับแก้หรือเพิ่มฟังก์ชันใหม่ได้อย่างคล่องตัวโดยไม่ต้องรื้อระบบครั้งใหญ่ |
| 10. รักษาความเรียบง่าย | ระบบมีความกะทัดรัดและใช้งานง่าย ผู้ใช้งานได้รับระบบที่ไม่มีส่วนเกินหรือฟังก์ชันที่ไม่จำเป็น |
| 11. ทีมที่บริหารตนเองสร้างสรรค์สิ่งที่ดีที่สุด | การตัดสินใจต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในทีมช่วยให้การพัฒนามีประสิทธิภาพและสร้างนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ได้โดยไม่จำเป็นต้องรอการอนุมัติจากเบื้องบน ซึ่งลดความล่าช้าและเพิ่มความคล่องตัวในการทำงาน |
| 12. ทีมทบทวนและปรับปรุงตนเองเป็นระยะ | การทำงานดีขึ้นทุก Sprint ลดอุปสรรคต่อเนื่อง |

## 5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยได้ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์สามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 6 ขั้นตอนดังที่ได้กล่าวไปในบทนำ ทำให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียวคือขั้นตอนการตรวจสอบและยืนยันผลการเปรียบเทียบยอดการโอนเงินของธนาคารและระบบ SAP ให้กับระบบการทำงานอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ดังภาพที่ 3 ดังนี้




**ภาพที่ 3** ขั้นตอนการทำงานหลังใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์

ผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลคือ 1 พ.ย. 2567 – 31 ม.ค. 2568 เป็นเวลาจำนวน 3 เดือน โดยจำนวนธุรกรรมการโอนเงินที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือ 1,756 ธุรกรรม โดยก่อนการใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ 1 ธุรกรรมพนักงานการเงินจะใช้เวลาในการดำเนินการ 15 นาที ซึ่งคิดเป็นชั่วโมงการทำงานทั้งหมด 439 ชั่วโมง หลังจากที่ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์จากการตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ดำเนินการเหลือเพียง 94 ชั่วโมง และก่อนพัฒนาระบบพบความผิดพลาดในการตรวจสอบข้อมูลจากมนุษย์ 5 ครั้ง หลังจากที่ได้พัฒนาระบบยังไม่พบความผิดพลาด โดยสรุปดังตารางที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ แพรววินิต กันทะวิน และ วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาส (2565) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการประยุกต์ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในการแก้ปัญหาการคำนวณเงินนำส่งไม่ถูกต้อง โดยระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์สามารถลดรอบเวลาการทำงาน และลดเวลาปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการคำนวณเงินนำส่งกองทุนคุ้มครองเงินฝากและกองทุนเพื่อการฟื้นฟูและพัฒนาระบบสถาบันการเงิน

**ตารางที่ 5** สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการจากได้ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการกระทบยอดเงินฝากธนาคาร

| | ก่อนใช้ | หลังใช้ |
|---|---|---|
| เวลาที่ใช้ในการดำเนินการ | 439 ชั่วโมง | 94 ชั่วโมง |
| จำนวนความผิดพลาด | 5 ครั้ง | 0 ครั้ง |

## 6. เอกสารอ้างอิง

Beck, et al. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*. https://agilemanifesto.org

Madakam, S., Holmukhe, R. M., & Jaiswal, D. K. (2019). *The future digital work force: Robotic process automation (RPA). Journal of Information Systems and Technology Management – Jistem USP, 16*, e201916001. https://doi.org/10.4301/S1807-1775201916001

Park, A. B., Jung, S. Y., Yune, I., & Lee, H. Y. (2025). *Applying robotic process automation to monitor business processes in hospital information systems: Mixed method approach*. JMIR Medical Informatics. Advance online publication. https://doi.org/10.2196/59801

Shamsuzzoha, A., & Pelkonen, S. (2025). A robotic process automation model for order-handling optimization in supply chain management. *Supply Chain Analytics, 9*, 100102. https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100102

สุภาพร วงศ์ก้อม. (2565). *คู่มือการปฏิบัติงานการกระทบยอดเงินฝากธนาคารในระบบ ERP*. https://finance.offpre.rmutp.ac.th/2556/wp-content/uploads/2022/03/คู่มือการปฏิบัติงาน-งานบัญชี_supaporn.pdf

รุ่งทิพย์ อินทวงค์. (2565). *การปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์.* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แพรววินิต กันทะวิน, วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ. (2565). การประยุกต์ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติแบบหุ่นยนต์ในกระบวนการคำนวณเงินนำส่งกองทุนคุ้มครองเงินฝากและกองทุนเพื่อฟื้นฟูและพัฒนาระบบสถาบันการเงิน. *วารสารวิชาการกระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 32*(2), 273-284

อัยย์ญาดา โรจวิสิฐภัทร. (2565). *ปัจจัยองค์กร เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และสมรรถนะทางการบัญชีที่มีผลต่อ การยอมรับการใช้งาน RPA Software ของพนักงานบัญชีและการเงิน กรณีศึกษา อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน จังหวัดชลบุรีและระยอง*. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

# การประเมินประสิทธิภาพปลั๊กอิน Web Application Firewall สำหรับ WordPress ในการตรวจจับและป้องกันภัยคุกคาม ตามมาตรฐาน OWASP Top 10

# A Performance-Based Assessment of WordPress WAF Plugins Against OWASP Top 10 Security Threats

***วุฒิชัย ช่างคิด[1*], วิภาวรรณ บัวทอง[2]**

***Wutthichai Changkhit[1*], Wipawan Buathong [2]**

[1]สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

[1]Digital Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, s6481423106@pkru.ac.th

[2]สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

[2]Digital Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, w.buathong@pkru.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปลั๊กอิน Web Application Firewall (WAF) สำหรับ WordPress ในการตรวจจับและป้องกันภัยคุกคามทางเว็บไซต์ โดยมุ่งเน้นการโจมตี 6 ประเภทหลักตามมาตรฐาน OWASP Top 10 ได้แก่ SQL Injection, Cross-Site Scripting (XSS), File Inclusion, Path Traversal, Brute Force และการโจมตีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง การวิจัยทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบปลั๊กอินยอดนิยม 3 ตัว ได้แก่ Wordfence, Ninja Firewall และ WP Cerber Security โดยใช้เครื่องมือทดสอบที่พัฒนาด้วย Bash Shell Script ในการสร้างและส่งคำขอโจมตีทั้งแบบ GET และ POST ผลการทดสอบพบว่า WP Cerber Security มีจุดเด่นในการตรวจจับ SQL Injection และ XSS ขณะที่ Wordfence มีความสามารถในการตรวจจับ File Inclusion, Path Traversal และ Brute Force ส่วน Ninja Firewall มีอัตราการตรวจจับโดยรวมต่ำกว่า สำหรับการป้องกัน Ninja Firewall โดดเด่นในการป้องกัน SQL Injection, Path Traversal และ Brute Force (85%) ขณะที่ Wordfence มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกัน XSS และ File Inclusion ผลการวิจัยเน้นย้ำจุดเด่นและข้อจำกัดของ WAF แต่ละตัว เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ดูแลระบบ WordPress ในการเลือกใช้ปลั๊กอิน WAF ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับเว็บไซต์

**คำสำคัญ:** ไฟร์วอลล์เว็บแอปพลิเคชัน เวิร์ดเพรส ความปลอดภัยเว็บไซต์ การตรวจจับและป้องกันภัยคุกคาม การเปรียบเทียบปลั๊กอิน

**Abstract**

This research aims to study and compare the effectiveness of Web Application Firewall (WAF) plugins for WordPress in detecting and preventing web-based threats. The study focuses on six major attack types according to OWASP Top 10 standards: SQL Injection, Cross-Site Scripting (XSS), File Inclusion, Path Traversal, Brute Force, and other related attacks. A comparative analysis was conducted on three popular plugins: Wordfence, Ninja Firewall, and WP Cerber Security, using a custom testing tool developed with Bash Shell Script to generate and send both GET and POST attack requests. Detection results showed that WP Cerber Security excelled in detecting SQL Injection and XSS attacks, while Wordfence demonstrated superior capabilities in detecting File Inclusion, Path Traversal, and Brute Force attacks. Ninja Firewall showed lower overall detection rates compared to other tested plugins. For prevention analysis, Ninja Firewall showed exceptional performance in blocking SQL Injection, Path Traversal, and Brute Force attacks, achieving 85% prevention rate for Brute Force attacks. Wordfence exhibited the highest effectiveness in preventing XSS and File Inclusion attacks, while WP Cerber Security showed relatively lower overall prevention performance. The research findings emphasize the distinct strengths and limitations of each WAF plugin in addressing cybersecurity threats, providing crucial information for WordPress administrators to select appropriate WAF plugins for enhanced website security.

**Keywords:** Web Application Firewall, WordPress Security, Cybersecurity Threats, Detection and Prevention, OWASP Top 10

## 1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Background and Significance) WordPress เป็น CMS ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในโลก (W3Techs, 2025) ทำให้เป็นเป้าหมายหลักของการโจมตีทางไซเบอร์ โดยรายงานของ Securi ชี้ว่า WordPress ได้รับผลกระทบจากการติดมัลแวร์มากที่สุด (95.5%) (Sucuri Inc, 2024) และ Wordfence Threat Intelligence Team ระบุว่าปลั๊กอินเป็นแหล่งช่องโหว่หลักถึง 96% โดยเฉพาะการโจมตี XSS (46%), Missing Authorization (13%) และ CSRF (11%) (Wordfence, 2025) จุดอ่อนเหล่านี้มักเกิดจากปลั๊กอินและธีมจากผู้พัฒนาภายนอก ซึ่งอาจมีโค้ดอันตรายหรือช่องโหว่ (Kasturi et al., 2022) ทำให้จำเป็นต้องเสริมสร้างความปลอดภัย

Web Application Firewall (WAF) ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันด่านหน้า โดยคัดกรองและวิเคราะห์การรับส่งข้อมูล HTTP/HTTPS เพื่อบล็อกคำขอที่เป็นอันตราย (Rahmawati et al., 2023) การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของ WAF มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันในแต่ละประเภท การเลือก WAF ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะปลั๊กอิน WAF ที่ผู้ใช้งานทั่วไปเข้าถึงได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปลั๊กอิน WAF เวอร์ชั่นฟรีสำหรับ WordPress ได้แก่ Wordfence, Ninja Firewall และ WP Cerber Security ภายใต้การโจมตีตามมาตรฐาน OWASP Top 10 (2021) เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกัน นำไปสู่การให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ดูแลระบบ WordPress

1.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

1.2.1 WordPress เป็นระบบเว็บไซต์ที่เป็นเป้าหมายหลักของการโจมตีทางไซเบอร์ เนื่องจากได้รับความนิยมสูงเป็นอันดับ 1 (W3Techs, 2025) โดยปลั๊กอินเป็นช่องโหว่สำคัญ (96%) และ Cross-Site Scripting (XSS) เป็นการโจมตีที่พบมากที่สุด (Wordfence, 2025) จุดอ่อนเกิดจากโค้ดอันตรายในปลั๊กอินและธีมที่ทำให้เกิด Backdoor หรือการเข้าถึงระบบโดยไม่ได้รับอนุญาต (Kasturi et al., 2022)

1.2.2 OWASP (Open Web Application Security Project) จัดทำ "OWASP Top 10" เพื่อรวบรวมช่องโหว่ด้านความปลอดภัยเว็บแอปพลิเคชันที่พบบ่อยมีการอัปเดตทุก 3-4 ปี (OWASP Foundation, 2021) การวิจัยนี้เน้นการทดสอบช่องโหว่สำคัญ ได้แก่ SQL Injection (A03:2021 – Injection), Cross-Site Scripting (XSS) (A03:2021 – Injection), Brute Force Attack (A07:2021 – Identification and Authentication Failures), File Inclusion (LFI/RFI) (A05:2021 – Security Misconfiguration), Path Traversal (A01:2021 – Broken Access Control หรือ A05:2021 – Security Misconfiguration), และ Cross-Site Request Forgery (CSRF) (A01:2021 – Broken Access Control)

1.2.3 Web Application Firewall (WAF) ทำหน้าที่ปกป้องเว็บแอปพลิเคชันโดยคัดกรอง HTTP/HTTPS และบล็อกคำขออันตราย มีประสิทธิภาพในการลดการโจมตี XSS และ SQL Injection (Rahmawati et al., 2023) WAF ทำงานที่เลเยอร์ 7 ของ OSI โมเดล งานวิจัยนี้เลือก WAF สามตัว ได้แก่ Wordfence (Signature-Based WAF) ที่ตรวจจับการโจมตีด้วยรูปแบบที่รู้จัก (Gall, 2024), Ninja Firewall (host-based WAF) ที่วิเคราะห์คำขอ PHP และตรวจจับเทคนิคหลบเลี่ยง WAF (Choudhary, 2016) และ WP Cerber Security ซึ่งบล็อก Brute Force และการแทรกโค้ด (Newcomer, 2019) การวิจัยนี้มุ่งเน้นเฉพาะ Plugin-Based WAF เนื่องจากผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งาน WordPress ทั่วไปสามารถติดตั้งได้ง่าย

1.2.4 การทบทวนวรรณกรรม พบว่า WAF มีบทบาทสำคัญในการปกป้องเว็บแอปพลิเคชันจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ เช่น SQL Injection และ XSS (Applebaum et al., 2021; Islam et al., 2023) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Sujatha et al. (2024) ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของ WAF แบบดั้งเดิมที่ใช้กฎ (Signature-based) เช่น ปัญหาในการตรวจจับ Zero-day และ False Positives/Negatives ทำให้เกิดการพัฒนาไปสู่ WAF ที่ใช้เทคนิคขั้นสูงอย่าง Machine Learning การประเมินประสิทธิภาพของ WAF โดยทั่วไปจะวัดจากอัตราการตรวจจับ (True Positive Rate) และความแม่นยำ (False Positive Rate) ซึ่งการศึกษาของ Holm and Eksted (2013) พบว่า WAF จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากมีการตั้งค่าอย่างละเอียดโดยผู้เชี่ยวชาญ Rahmawati et al. (2023) ได้พัฒนาปลั๊กอิน WAF สำหรับ WordPress โดยเฉพาะ เช่น การผสานรวม SIEM เข้ากับ Proxy-based WAF หรือการใช้ ModSecurity ร่วมกับ OWASP Core Rule Set ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงในการป้องกันการโจมตี (Rahmatulloh et al., 2024)

1.2.5 ช่องว่างทางการวิจัยและที่มาของการศึกษาปัจจุบัน แม้มีงานวิจัยเกี่ยวกับ WAF และ WordPress แต่การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ WAF plugin ในแง่มุมการใช้งานจริงยังมีจำกัด งานวิจัยที่ผ่านมามักเน้น WAF ระดับ Infrastructure หรือเทคนิคขั้นสูง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่าง โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ WAF plugin สำหรับ WordPress ที่ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถนำไปใช้ได้จริง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่มีคุณค่าและเสริมสร้างความปลอดภัยของเว็บไซต์ WordPress

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพปลั๊กอิน Web Application Firewall (WAF) ของ WordPress ในการตรวจจับและป้องกันการโจมตีเว็บไซต์

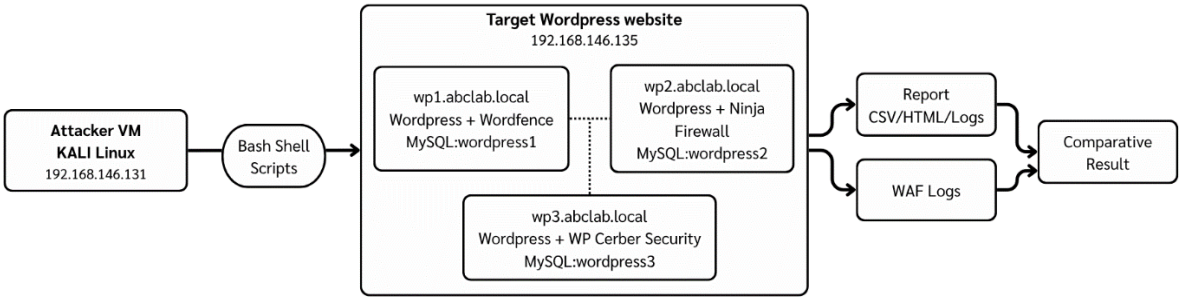
2.2 เพื่อให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกใช้ปลั๊กอิน Web Application Firewall (WAF) ของ WordPress ในการปรับปรุงระบบความปลอดภัยของเว็บไซต์ให้ผู้ดูแลระบบ

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบการวิจัย งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปลั๊กอิน WAF ในการรับมือกับภัยคุกคามไซเบอร์ ตัวแปรอิสระ คือ ปลั๊กอิน WAF ที่นำมาทดสอบ ได้แก่ Wordfence, Ninja Firewall และ WP Cerber Security ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพในการตรวจจับและป้องกันภัยคุกคาม (วัดจากอัตราการตรวจจับและอัตราการบล็อก) โดยมีตัวแปรควบคุม ได้แก่ เวอร์ชันของ WordPress, โครงสร้างพื้นฐานของ Server เป้าหมาย การตั้งเริ่มต้นของ WordPress ชุดข้อมูลการโจมตี ความถี่และรูปแบบของการโจมตี รวมถึงฟังก์ชั่นของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องของผลลัพธ์

3.2 สภาพแวดล้อมการทดสอบ การทดสอบทั้งหมดดำเนินการบนระบบเสมือน (Virtual Machine Server) จำนวน 2 เครื่อง เพื่อใช้เป็นสภาพแวดล้อมในการทดสอบประสิทธิภาพของ WAF ประกอบไปด้วย Kali Linux 2024.3 เป็น Web Server สำหรับจำลองการโจมตี และ Ubuntu Server 24.04.2 LTS เป็น Web Server เป้าหมายซึ่งติดตั้งระบบจัดการเนื้อหา WordPress เวอร์ชัน 6.7.2 เป็นแพลตฟอร์มในการทดสอบจำนวน 3 เว็บไซต์ ในแต่ละเว็บไซต์ ติดตั้งปลั๊กอิน WAF ที่แตกต่างกัน ได้แก่ Wordfence Security เวอร์ชัน 7.10.4, Ninja Firewall เวอร์ชัน 4.7.3 และ WP Cerber Security เวอร์ชัน 9.6.7 เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดความขัดแย้งในการตั้งค่าของแต่ละปลั๊กอิน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ผู้วิจัยได้พัฒนา Bash Shell Script สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของ WAF บนระบบ WordPress โดยใช้ curl, jq และ netcat ในการสร้างและส่งคำขอโจมตีแบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมกรอบการทดลองได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ เครื่องมือนี้ทดสอบการโจมตีตามมาตรฐาน OWASP Top 10 (2021) ได้แก่ SQL Injection , Cross-Site Scripting (XSS), Brute Force, CSRF, Local/Remote File Inclusion และ Path Traversal ความสามารถหลัก คือ ส่ง payload ทั้งแบบ GET/POST, ตรวจจับผลลัพธ์จาก response/status code, และบันทึกผลเป็นไฟล์ .csv, .log, .html




**ภาพที่ 1** การออกแบบการทดลอง

3.4 การดำเนินการทดสอบการโจมตี (Attack Execution) การทดสอบ WAF ดำเนินการอย่างเป็นระบบด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ WAF Test Suite - Enhanced Research Edition ซึ่งพัฒนาด้วย Bash Shell Script บนระบบ Linux เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ WAF แต่ละตัวบน WordPress การทดสอบทั้งหมดดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่ควบคุม เพื่อให้การเปรียบเทียบเป็นไปอย่างยุติธรรมและน่าเชื่อถือ

(1) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก่อนการโจมตี เริ่มต้นด้วยการเข้าสู่ระบบ Kali Linux และรัน Shell Script เพื่อกำหนดค่าการทดสอบโดยการเรียกใช้คำสั่ง ./waf-test-ultimate-suite.sh จาก Attack Server (Kali) ซึ่งเข้าสู่เมนูเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น เลือกเว็บไซต์เป้าหมาย (จาก 3 เว็บไซต์ที่ติดตั้ง WAF แตกต่างกัน), เลือกประเภทการทดสอบ (ทดสอบทั้งหมด 6 ประเภท), กำหนดเวลาหน่วงระหว่างการทดสอบและเลือกตัวเลือกการแสดงผล

```
==========================                เลือกประเภทการทดสอบ:
    WordPress WAF Test Suite              1) LFI / RFI
    Enhanced Research Edition             2) SQL Injection
==========================                3) Brute Force Login
                                          4 ) XSS
เลือกเว็บไซต์ที่ต้องการทดสอบ:             5) CSRF
1) wp1.abclab.local (Wordfence)           6) PathTraversal
2) wp2.abclab.local (Ninja Firewall)      7) Test ALL
3) wp3.abclab.local (WP Cerber Security)  8 Manual Select
4) เพิ่ม URL เอง                          Select 1-7: 1
5) ทดสอบทั้งหมด                           ตั้งค่าเพิ่มเติม :
เลือก (1-5): 1                            เวลาหยุดชั่วคราว ( sleep) ระหว่างการทดสอบแต่ละครั้ง (1 วินาที):
                                          ต้องการแสดงรายละเอียดการทดสอบทั้งหมด? (y/n, default: n):
```

**ภาพที่ 2** การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนดำเนินการทดสอบโจมตี

(2) ฟังก์ชันการโจมตีแต่ละประเภท (LFI/RFI, Path Traversal, SQLi, Brute Force, XSS, CFRS) ทำงานภายใต้กลไกหลักที่คล้ายคลึงกัน ประกอบไปด้วย การเตรียม Payloads: ฟังก์ชันจะโหลด Payloads เฉพาะสำหรับการโจมตีนั้นๆ รวมถึงรูปแบบเข้ารหัส/ดัดแปลงเพื่อทดสอบการหลบหลีก WAF หลังจากนั้นจะทำการส่งคำขอ ส่ง HTTP ทั้งประเภท GET/POST พร้อม Payloads ไปยัง URL เป้าหมายบน WordPress

(3) การวิเคราะห์ผลลัพธ์ วิเคราะห์ HTTP Response รวมถึงรหัสสถานะ, เนื้อหา Response Body (หาข้อความผิดพลาด/บล็อก), และเวลาตอบสนอง เพื่อประเมินการตรวจจับ/ป้องกันของ WAF

(4) การบันทึกผล ในแต่ละการโจมตี สคริปต์จะวิเคราะห์ผลลัพธ์จาก HTTP Response, Status Code (เช่น 200, 403), เนื้อหา Response Body (เช่น ข้อความผิดพลาดของ SQL), และ Response Time เพื่อประเมินว่า WAF สามารถตรวจจับหรือป้องกันการโจมตีได้หรือไม่ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกอย่างละเอียดลงในไฟล์ .csv, .log, และ .html เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถนำไปวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ WAF แต่ละตัวได้อย่างเที่ยงตรง

(5) ทำการทดสอบซ้ำหลายครั้งเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยในแต่ละรอบการทดสอบเริ่มต้นใหม่ด้วยการใช้ฟีเจอร์สแนปช็อต" (Reverting to a snapshot) ของ Server จำลอง เพื่อให้แน่ใจว่าทุกการทดลองเริ่มต้นจากสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันทุกประการ ซึ่งกระบวนการนี้ช่วยยืนยันความสอดคล้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง

```
เริ่มทดสอบสำหรับ: wp1.abclab.local

[i] เริ่มทดสอบ LFI/RFI
[!] กรุณาตรวจสอบว่า IP ของเครื่องทดสอบ (192.168.146.131) ถูกต้องและเปิด web server/ftp server.
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/index.php?page=%2Fetc%2Fpasswd
[i] LFI ไม่สำเร็จ: /etc/passwd (Status: , Time: ms)
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/?p=%2Fetc%2Fpasswd
[i] LFI ไม่สำเร็จ: /etc/passwd (Status: , Time: ms)
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/wp-login.php?redirect_to=%2Fetc%2Fpasswd
[i] LFI ไม่สำเร็จ: /etc/passwd (Status: , Time: ms)
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/wp-content/plugins/wp-stats-manager/index.php?file=%2Fetc%2Fpasswd
[i] LFI ไม่สำเร็จ: /etc/passwd (Status: , Time: ms)
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/wp-content/plugins/wp-statistics/index.php?file=%2Fetc%2Fpasswd
[i] LFI ไม่สำเร็จ: /etc/passwd (Status: , Time: ms)
[i] ทดสอบ LFI: http://wp1.abclab.local/wp-content/plugins/profile-builder/index.php?path=%2Fetc%2Fpasswd
```

**ภาพที่ 3** ตัวอย่างการทดสอบด้วยเทคนิค LFI/RFI

| Attack | Payload | Result | Time | status | stamp |
|---|---|---|---|---|---|
| LFI | ../../../../../etc/passwd | BLOCKED | 49 | 403 | 1/5/2025 23:13 |
| LFI | ....//....//....//....//....//etc/passwd | BLOCKED | 106 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | %2e%2e%2f%2e%2e%2f%2e%2e%2f%2e%2e%2e%2f%2e%2e%2e%2f | BLOCKED | 67 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | ..%252f..%252f..%252f..%252f..%252fetc%252fpasswd | BLOCKED | 189 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | ../../../../../../../../etc/passwd | BLOCKED | 173 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | /etc/passwd | BLOCKED | 66 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | ../../../../../../../../../etc/hosts | BLOCKED | 87 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | ../../../../../windows/win.ini | BLOCKED | 201 | 403 | 1/5/2025 23:14 |
| LFI | ../../../../../boot.ini | BLOCKED | 80 | 403 | 1/5/2025 23:14 |

**ภาพที่ 4** ข้อมูลการโจมตีที่ Shell Script บันทึกได้ รูปแบบ CSV

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจจับภัยคุกคาม อัตราการตรวจจับ (Detection Rate)

$$\frac{\text{จำนวนการโจมตีที่ตรวจพบ}}{\text{จำนวนการโจมตีทั้งหมด}} \times 100\% \quad (1)$$

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการป้องกันภัยคุกคาม อัตราการป้องกัน (Prevention Rate)

$$\frac{\text{จำนวนการโจมตีที่ป้องกันได้}}{\text{จำนวนการโจมตีทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2)$$

## 4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบเพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปลั๊กอิน WAF ที่ใช้งานร่วมกับระบบ WordPress จะนำเสนอในลักษณะเชิงเปรียบเทียบ ระหว่างรายงานผลการทดลองที่สร้างขึ้นจาก Shell Script และบันทึก logs ของแต่ละ WAF เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับและป้องกันภัยคุกคามของแต่ละปลั๊กอิน

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบโจมตีที่ Shell Script บันทึกได้ (หลังทำความสะอาดข้อมูล)

| รายการ | Word fence | Ninja Firewall | WP Cerber Security |
|---|---|---|---|
| จำนวนการทดสอบทั้งหมด | 1,463 | 1,272 | 1,230 |
| การตรวจจับ (Detected) | 16 | 0 | 9 |
| การป้องกัน (Blocked) | 926 | 896 | 650 |
| ผลลัพธ์ที่ไม่ชัดเจน (Info) | 521 | 376 | 571 |

ผลการทดสอบด้วย Shell Script พบว่าจำนวนครั้งในการโจมตีที่บันทึกได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก WAF บางตัวบล็อกคำขอที่เป็นอันตราย ทำให้ Shell Script พยายามส่งคำขอซ้ำภายใต้ฟังก์ชันการทำงานเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพมีความสอดคล้อง จึงได้นำข้อมูลที่บันทึกได้มาผ่านกระบวนการ ทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) ทำให้มีจำนวนครั้งในการโจมตีที่ใกล้เคียงกัน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และนำเสนอผลต่อไป

4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพปลั๊กอิน WAF ของ WordPress ในการตรวจจับ/การป้องกันการโจมตีเว็บไซต์

**ตารางที่ 2** สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับ (Detected) ของปลั๊กอิน WAF

| OWASP ID | Attack | Wordfence | Ninja Firewall | WP Cerber Security | Best Choice |
|---|---|---|---|---|---|
| A03 | SQLi | 1.27% | 0.00% | 10.63% | WP Cerber |
| A03 | XSS | 7.77% | 0.00% | 24.67% | WP Cerber |
| A05 | File inclusion | 18.05% | 9.02% | 14.29% | Wordfence |
| A01,A05 | Path Traversal | 3.33% | 0.00% | 0.00% | Wordfence |
| A07 | Brute force | 64.0% | 0.00% | 27.00% | Wordfence |
| A01 | CSRF | 0.00% | 0.00% | 0.00% | - |

จากตารางเปรียบเทียบการตรวจจับของปลั๊กอิน WAF สามตัว ตาม OWASP Top 10 แสดงความแตกต่างที่สำคัญในแต่ละประเภทการโจมตี WP Cerber Security มีความโดดเด่นในการตรวจจับ Brute force และ Cross-Site Scripting ซึ่ง WAF ใช้ทั้งเทคนิค Signature-based และ Behavior-based detection เพื่อวิเคราะห์และป้องกันภัยคุกคาม โดยอาศัยฐานข้อมูล pattern ของคำสั่งอันตรายร่วมกับการเฝ้าดูพฤติกรรมผู้ใช้เพื่อระบุโค้ดอันตรายในคำขอ (request) ขณะที่ Ninja Firewall แสดงจุดอ่อนอย่างชัดเจนด้วยอัตราการตรวจจับการโจมตีประเภท Injection เป็น 0% ซึ่งอาจสะท้อนถึง

การที่ WAF ให้ความสำคัญกับการตรวจจับในเชิงรูปแบบน้อยกว่าการป้องกันโดยตรง ในด้านการตรวจจับ Brute Force พบว่า Wordfence มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 64.00% ซึ่งบ่งชี้ว่ามีระบบการวิเคราะห์พฤติกรรมและความถี่ในการล็อกอินที่แม่นยำกว่า WAF อื่น ส่วนข้อจำกัดที่พบร่วมกันคือ ทั้งสามปลั๊กอินไม่สามารถตรวจจับการโจมตีแบบ CSRF ได้เลย ซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดทางเทคนิคในการจัดการกับภัยคุกคามที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์บริบทของแอปพลิเคชันและใช้เทคนิคการป้องกันรูปแบบอื่น ๆ

**ตารางที่ 3** สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกัน (Blocked) ของปลั๊กอิน WAF

| OWASP ID | Attack | Wordfence | Ninja Firewall | WP Cerber | Best Choice |
|---|---|---|---|---|---|
| A03 | SQLi | 0.21% | 42.29% | 10.63% | Ninja |
| A03 | XSS | 65.46% | 61.41% | 33.02% | Wordfence |
| A05 | LFI/RFI | 39.10% | 28.57% | 21.05% | Wordfence |
| A01,A05 | Path Traversal | 20.00% | 41.33% | 11.33% | Ninja |
| A07 | Brute force | 3.00% | 85.00% | 0.00% | Ninja |
| A01 | CSRF | 0.00% | 0.00% | 0.00% | - |

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกัน (Blocked) แสดงให้เห็นถึงเทคนิคที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนของแต่ละปลั๊กอิน Ninja Firewall แสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกัน Brute Force (85.00%) และ SQL Injection (42.29%) แม้จะมีอัตราการตรวจจับที่ต่ำ ซึ่งสะท้อนถึงเทคนิคการป้องกันเชิงรุกที่บล็อกคำขอที่น่าสงสัยอย่างเด็ดขาดโดยใช้กลไกที่ทำงานในระดับต่ำกว่าหรือแตกต่างจากการตรวจจับรูปแบบ ในทางกลับกัน Wordfence มีประสิทธิภาพโดดเด่นในการป้องกัน Cross-Site Scripting (65.46%) และ File Inclusion (39.10%) ซึ่งเกิดจากการใช้ชุดกฎ (ruleset) ที่แข็งแกร่งและเจาะจง ส่วน WP Cerber Security มีประสิทธิภาพการป้องกันต่ำกว่าคู่แข่งในทุกประเภทการโจมตี โดยมีค่าสูงสุดเพียง 33.02% ในการป้องกัน XSS ซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่องว่างที่ต้องได้รับการปรับปรุง ข้อจำกัดที่สำคัญยังคงเป็นการโจมตี CSRF ซึ่ง WAF ทั้งสามตัวไม่สามารถป้องกันได้เลย (0%) ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า WAF ซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันภายนอก การป้องกันภัยคุกคามรูปแบบนี้ต้องอาศัยการป้องกันโดยตรงในระดับโค้ดของแอปพลิเคชัน เช่น การใช้ Wordfence nonce เพื่อยืนยันความถูกต้องของคำขอ

4.2 การเลือกใช้ปลั๊กอิน WAF ของ WordPress สำหรับผู้ดูแลระบบ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปลั๊กอิน WAF ทั้งสาม (Wordfence, Ninja Firewall, WP Cerber Security) พบว่าแต่ละตัวมีจุดแข็งและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไปในการตรวจจับและป้องกันการโจมตีตาม OWASP Top 10 ดังนั้น การเลือกใช้ควรขึ้นอยู่กับประเภทและความต้องการของเว็บไซต์ เช่น เว็บไซต์ที่ต้องการความมั่นคงปลอดภัยสูงสุด (เช่น อีคอมเมิร์ซ, เว็บไซต์องค์กรสำคัญ) Wordfence คือตัวเลือกที่แนะนำ เนื่องจากมีอัตราการป้องกันสูงในหลายประเภทการโจมตี โดยเฉพาะ XSS (65.46%) และ File Inclusion (39.10%) รวมถึงความสามารถในการตรวจจับและป้องกัน Brute Force (ตรวจจับ 64.0%) ส่วนเว็บไซต์ที่ต้องการสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากร (เช่น เว็บไซต์องค์กรทั่วไป, เว็บไซต์ขนาดกลาง) Ninja Firewall เป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ด้วยประสิทธิภาพการป้องกันที่สูงมากใน Brute Force (85.00%), SQL Injection (42.29%) และ Path Traversal (41.33%) แม้จะต้องใช้ความรู้ทางเทคนิคในการตั้งค่า ซึ่งเหมาะสำหรับองค์กรที่มีทีมดูแลที่

เชี่ยวชาญ สำหรับผู้ดูแลระบบที่เน้นความง่ายในการติดตั้งและใช้งาน (เช่น เว็บไซต์ส่วนตัวและเว็บไซต์ขนาดเล็ก) WP Cerber Security คือตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้งานง่ายและมีการแจ้งเตือนชัดเจน แม้ประสิทธิภาพการตรวจจับและป้องกันจะต่ำกว่า Wordfence และ Ninja Firewall แต่ก็สามารถใช้ร่วมกับมาตรการรักษาความปลอดภัยอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีเชิงทดลอง โดยมีการควบคุมตัวแปรสำคัญ คือ การกำหนดค่าพื้นฐานของ Server ทั้ง 3 ไซต์, เวอร์ชันของ WordPress รูปแบบและความถี่ในการโจมตี รวมการตั้งค่าเริ่มต้นของ WAF ตามมาตรฐาน เพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้มาจากประสิทธิภาพของปลั๊กอิน WAF โดยตรง นอกจากนี้ การทดสอบซ้ำหลายครั้งยังช่วยยืนยันความสอดคล้องของผลลัพธ์ ทำให้ข้อสรุปของงานวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ จากผลการทดสอบ งานวิจัยสรุปว่า ไม่มีปลั๊กอิน WAF ฟรีตัวใดที่สามารถตรวจจับและป้องกันการโจมตีตามมาตรฐาน OWASP Top 10 ได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากแต่ละปลั๊กอินมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนถึงความซับซ้อนของภัยคุกคามไซเบอร์และข้อจำกัดของเทคโนโลยี WAF ดั้งเดิม ผลลัพธ์นี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hiremath (2025) และ Rosero et al. (2025) ที่ระบุว่า WAF เป็นเพียงส่วนหนึ่งของกลยุทธ์ความปลอดภัยที่ครอบคลุมและไม่สามารถป้องกันภัยคุกคามทั้งหมดได้

การวิจัยพบข้อจำกัดสำคัญของปลั๊กอิน WAF ในการรับมือกับการโจมตีประเภท CSRF ซึ่งไม่สามารถตรวจจับหรือป้องกันได้ เนื่องจาก WAF ที่ศึกษาครั้งนี้หรือโดยทั่วไปมุ่งเน้นการวิเคราะห์รูปแบบและเนื้อหาของ HTTP request เพื่อป้องกันคำขอที่เป็นอันตรายหรือผิดปกติ ขณะที่การโจมตีแบบ CSRF มักใช้คำขอที่ดูเหมือนปกติของผู้ใช้ที่เข้าสู่ระบบแล้ว ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกแยะของ WAF ทำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการป้องกัน CSRF จึงต้องอาศัยกลไกในระดับแอปพลิเคชันโดยตรง เช่น การใช้ Anti-CSRF Token หรือการตรวจสอบ Referrer Header เพื่อยืนยันความถูกต้องของคำขอซึ่งเป็นแนวทางป้องกันที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง (Hande et al., 2024)

นอกจากนี้ ผลวิจัยยังแสดงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างการตรวจจับและการป้องกัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นบวกเสมอไป (Díaz-Verdejo et al., 2023) เช่น Ninja Firewall มีการตรวจจับต่ำแต่ป้องกันได้สูง ในขณะที่ WP Cerber ตรวจจับ XSS ได้สูงแต่ป้องกันได้ปานกลาง แสดงให้เห็นว่าแต่ละปลั๊กอินใช้กลยุทธ์การจัดการภัยคุกคามที่แตกต่างกัน

การทดสอบนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการ ประการแรกคือการใช้ปลั๊กอิน WAF เวอร์ชันฟรี ซึ่งมีข้อจำกัดด้านจำนวนกฎ, ความถี่ในการอัปเดต และการขาดฟีเจอร์ขั้นสูงเมื่อเทียบกับเวอร์ชัน Pro/Premium นอกจากนี้ งานวิจัยยังพบข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบและสภาพแวดล้อม โดยปัจจัยภายนอกบางอย่างอาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดผล หรือปัญหาทางเทคนิคระหว่างการทดลอง เช่น เครื่องมือทำงานผิดพลาด ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บได้ ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ การลงทุนใน WAF เวอร์ชัน Pro/Premium จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเว็บไซต์ที่ต้องการความมั่นคงปลอดภัยในระดับสูง อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้ยังคงให้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์สำหรับการประเมินและเลือกใช้ปลั๊กอิน ภายใต้ข้อจำกัดที่กล่าวมา

**6. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวรรณ บัวทอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ และกำลังใจตลอดมา จนงานวิจัยมีความสมบูรณ์

**7. เอกสารอ้างอิง**

Applebaum, S., Gaber, T., & Ahmed, A. (2021). Signature-based and Machine-Learning-based Web Application Firewalls: A Short Survey. *Procedia Computer Science*, *189*(2019), 359–367. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.105

Choudhary, A. (2016). *An In-depth Review of NinjaFirewall Against Common WordPress Attacks*. Blogvault.Net. https://blogvault.net/an-in-depth-review-of-ninjafirewall-against-common-wordpress-attacks/

Díaz-Verdejo, J. E., Estepa Alonso, R., Estepa Alonso, A., & Madinabeitia, G. (2023). A critical review of the techniques used for anomaly detection of HTTP-based attacks: taxonomy, limitations and open challenges. *Computers & Security*, *124*, 102997. https://doi.org/10.1016/J.COSE.2022.102997

Gall, R. (2024). *T he Wordfence 2023 State of WordPress Security Report Table of Contents Introduction* . https://www.wordfence.com/wp-content/uploads/2024/02/The-Wordfence-2024-State-of-WordPress-Security-Report.pdf

Hande, P., Khan, M., & Bhujade, M. (2024). Enhancing Web Security: Token-Based Solutions to Prevent CSRF Attacks. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, *08*, 1– 5. https://doi.org/10.55041/IJSREM37781

Hiremath, O. (2025). *Why WAFs Are Not Enough*. Software Secured. https://www.softwaresecured.com/post/why-wafs-are-not-enough

Islam, S. A., MohanKumar, M., & Jannat, U. K. (2023). Exploring the Effectiveness of Web Application Firewalls Against Diverse Attack Vectors. *2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 1798–1806. https://doi.org/10.1109/ICECA58529.2023.10395379

Kasturi, R. P., Fuller, J., Sun, Y., Chabklo, O., Rodriguez, A., Park, J., & Saltaformaggio, B. (2022). Mistrust Plugins You Must: A Large-Scale Study Of Malicious Plugins In WordPress Marketplaces. *Proceedings of the 31st USENIX Security Symposium, Security 2022*, 161–178. https://www.usenix.org/system/files/sec22-kasturi.pdf

OWASP Foundation. (2021). *OWASP Top Ten*. OWASP. https://owasp.org/www-project-top-ten/

Rahmatulloh, A., Rizal, R., Nuridwan, A., Gunawan, R., & Darmawan, I. (2024). Real-time Web Application Firewall Monitoring uses the OWASP CRS Framework. *2024 Ninth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICIC64337.2024.10956835

Rahmawati, T., Shiddiq, R., Sumpena, M., Setiawan, S., Karna, N., & Hertiana, S. (2023). *Web Application Firewall Using Proxy and Security Information and Event Management (SIEM) for OWASP Cyber Attack Detection*. https://doi.org/10.1109/IoTaIS60147.2023.10346051

Rosero, G. E. C., Vega, C. P. G., & Landeta-López, P. (2025). Website Protection: An Evaluation of the Web Application Firewall. *Data and Metadata*. https://doi.org/10.56294/dm2025190

Sucuri Inc. (2024). *2023 Hacked Website & Malware Threat Report*. https://sucuri.net/wp-content/uploads/2024/06/2023-Hacked-Website-Malware-Threat-Report.pdf

Sujatha, G., Maheshwari, M., Nayak, A., & Sethy, A. (2024). Adaptive Web Application Firewall for Multi-Threat Detection. *2024 International Conference on IoT Based Control Networks and Intelligent Systems (ICICNIS)*, 232–238. https://doi.org/10.1109/ICICNIS64247.2024.10823239

W3Techs. (2025). *Usage statistics and market share of WordPress*. https://w3techs.com/technologies/details/cm-wordpress

Wordfence. (2025). *2024 Annual WordPress Security Report*. https://www.wordfence.com/blog/2025/04/2024-annual-wordpress-security-report-by-wordfence/

# การออกแบบพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว
# Development of an IoT-Based Device Model for Rice Stressing Techniques

**ณรงค์ฤทธิ์ สะอาดรัมย์[1*], วิลัยพร ณะนิมิตร[2], สิรภพ ห้องแซง[3], อดิลักษณ์ ชินวงศ์[4], นราศักดิ์ วงษ์วาสน์[5], อนัตต์ชัย ชุติภาสเจริญ[6]**

**Narong Saengram[1*], Vilaiporn Nanimit[2], Sirapop Hongsaeng[3], Adilak Chinnawong[4], Narasak Vongvas[5], Anutchai Chutipascharoen[6]**

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์, ประเทศไทย
Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan SURIN Campus, Thailand

**บทคัดย่อ**

ภาคเกษตรกรรมไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น ภัยแล้งและน้ำท่วม ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการผลิตข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับสนับสนุนเทคนิคการแกล้งข้าว โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ การออกแบบระบบ การติดตั้งอุปกรณ์ การทดลองใช้งาน การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ผล ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถวัดระดับน้ำได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Error) อยู่ที่ 1.83 ซ.ม. จากการทดลอง 15 ครั้ง ระบบควบคุมปั๊มน้ำสามารถทำงานอัตโนมัติเมื่อระดับน้ำถึงค่าที่ตั้งไว้ และหยุดเมื่อถึงค่าที่กำหนด ระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันแสดงประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างครบถ้วนในทุกเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อประเมินสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว แบบจำลองอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการน้ำในแปลงนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่แน่นอนและเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิคการแกล้งข้าวในพื้นที่เพาะปลูกจริง

**คำสำคัญ:** อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง เทคนิคการแกล้งข้าว การปลูกข้าว การจัดการน้ำ

**Abstract**

Thai agricultural sector is currently facing challenges due to changing climate conditions, such as droughts and floods, which significantly affect rice production processes. This research aims to develop an IoT-based device model to support the “delayed irrigation” technique in rice farming. The development process is divided into five main phases: system design, device installation, system testing, data collection, and result analysis. The results indicate that the system can measure water levels accurately, with a mean error of 1.83 cm from 15 experimental trials. The automated water pump control system operates as intended, activating when the

water level reaches the predefined threshold and stopping when the upper limit is reached. The alert system via a mobile application functioned correctly under all specified conditions. The developed IoT-based model can be effectively applied to water management in rice fields, helping to mitigate risks caused by unpredictable weather and enhancing the efficiency of the delayed irrigation technique in real agricultural settings.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), Rice Stressing Techniques, Rice Cultivation, Water Management

**1. บทนำ**

ประเทศไทยมีการขับเคลื่อนเศษฐกิจด้วยภาคเกษตรกรรมเป็นสำคัญ โดยข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ รวมถึงสามารถสร้างรายได้จำนวนมาก อีกทั้งยังส่งเสริมการจ้างงานให้กับประชากรในประเทศได้ (ศุภณัฐ และคณะ, 2567) อย่างไรก็ตาม ภาคเกษตรกรรมไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศที่ก่อให้เกิดภัยแล้งหรือน้ำท่วม การขาดแคลนแรงงาน และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น (ภูกิจ และธนพล, 2568) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตและรายได้ของเกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในการจัดการน้ำในนาข้าวแบบดั้งเดิมที่ขาดข้อมูลที่แม่นยำและไม่สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปริตา และนพดล, 2567) เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายเหล่านี้ แนวคิดเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) จึงได้กลายเป็นกลไกสำคัญ IoT ช่วยให้เกษตรกรสามารถรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อม ดิน และพืชแบบเรียลไทม์ผ่านเซ็นเซอร์ต่าง ๆ (ภูกิจ และธนพล, 2568)

เกษตรอัจฉริยะหรือที่เรียกว่า การเกษตรแม่นยำ (Precision Farming) (ปริตา และนพดล, 2567) เป็นการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเครื่องจักรกลเกษตรอัจฉริยะมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน (ปริตา และนพดล, 2567) โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน (ศุภณัฐ และคณะ, 2567) ลดการสูญเสียทรัพยากร และเพิ่มคุณภาพของผลผลิต เทคโนโลยี IoT มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในระบบนี้ โดยเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ทางกายภาพที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ ซอฟต์แวร์ และเทคโนโลยีอื่น ๆ เพื่อเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต (ธนพร และไมตรี, 2566) ตัวอย่างขององค์ประกอบหลักในระบบ IoT สำหรับฟาร์มพืชอัจฉริยะ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ค่า pH ของดิน/น้ำ และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) (ธนพร และไมตรี, 2566) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกรวบรวมแบบเรียลไทม์ (ศุภณัฐ และคณะ, 2567) ส่งไปยังระบบประมวลผล (ธนพร และไมตรี, 2566) และนำมาวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจอย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคน (ปริตา และนพดล, 2567)

ในบริบทของการปลูกข้าว การประยุกต์ใช้ IoT เพื่อควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว (Rice Stressing Techniques) ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างแม่นยำเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือคุณภาพของผลผลิต รวมถึงความจำเป็นในการใช้ค่าอุณหภูมิสะสม (GDD) ในการทำนายวันเก็บเกี่ยวข้าวอย่างแม่นยำ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการจัดการน้ำในนาข้าวแบบดั้งเดิมอย่างชัดเจน โดยวิธีการแบบดั้งเดิมมักจะขาดข้อมูลที่แม่นยำและไม่สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ภัยแล้งหรือน้ำท่วม ในทางกลับกัน เทคนิคการ

แกล้งข้าวที่ประยุกต์ใช้ IoT นี้จะเน้นการควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างแม่นยำและเป็นระบบอัตโนมัติ โดยใช้เซ็นเซอร์ในการรวบรวมข้อมูลสิ่งแวดล้อม ดิน และพืชแบบเรียลไทม์ เช่น ระดับน้ำ ค่า pH และความชื้นในดิน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลและนำมาวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจที่แม่นยำ ช่วยให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคน การควบคุมปัจจัยเหล่านี้อย่างแม่นยำผ่านระบบ IoT สามารถช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการสภาพแวดล้อมในแปลงนาให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยพบว่าพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 และ กข-แม่โจ้ 2 มีค่า GDD ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวที่ให้ข้าวเต็มเมล็ดในสัดส่วนสูงที่สุด (ศุภณัฐ และคณะ, 2567) ระบบ IoT จึงสามารถใช้สถานีตรวจวัดสภาพอากาศแบบดิจิทัลระยะไกล เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (ภูกิจ และธนพล, 2568) และคำนวณค่า GDD เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายวันเก็บเกี่ยวข้าวได้อย่างแม่นยำ (ศุภณัฐ และคณะ, 2567) นอกจากนี้ การควบคุมปริมาณน้ำ ค่า pH และความชื้นในดิน ด้วยระบบ IoT สามารถช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการสภาพแวดล้อมในแปลงนาให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพดีขึ้น (ธนพร และไมตรี, 2566) และสามารถคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ (ปริตา และนพดล, 2567) เทคโนโลยีนี้จึงเป็นก้าวสำคัญในการยกระดับการปลูกข้าวให้สามารถปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มความมั่นคงทางอาหารของประเทศในระยะยาว (ภูกิจ และธนพล, 2568)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว ซึ่งเป็นเทคนิคที่จำเป็นต้องมีการควบคุมระดับน้ำอย่างแม่นยำผ่านเซ็นเซอร์ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิต และแก้ปัญหาการจัดการน้ำแบบเดิมที่ขาดข้อมูลแม่นยำ เพื่อยกระดับการจัดการน้ำในนาให้มีประสิทธิภาพและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยประยุกต์ใช้ IoT ตรวจวัดและควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติในนาผ่านเซ็นเซอร์และปั๊มที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ผู้ใช้ติดตามและสั่งการผ่านแอปพลิเคชันได้ ทั้งนี้ แบบจำลองใช้ NodeMCU (ESP8266) เป็นอุปกรณ์หลักเชื่อมต่อ Firebase เพื่อจัดเก็บและควบคุมข้อมูล เนื่องจาก Firebase เป็นบริการฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่รองรับการสื่อสารแบบสองทาง (Real-time bidirectional communication) ทำให้สามารถแสดงผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ได้ทันที และตอบสนองต่อการสั่งงานผ่านแอปพลิเคชันอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีความสะดวกในการเชื่อมต่อกับ NodeMCU ด้วยไลบรารีที่ใช้งานง่าย รองรับการขยายระบบในอนาคต และไม่จำเป็นต้องดูแลเซิร์ฟเวอร์เอง ซึ่งเหมาะสมกับระบบต้นแบบที่เน้นความคล่องตัวและต้นทุนต่ำ งานวิจัยนี้มุ่งแสดงให้เห็นว่าการนำเทคนิคการแกล้งข้าวร่วมกับ IoT สามารถลดแรงงาน เพิ่มความแม่นยำในการจัดการน้ำ และนำไปสู่ผลผลิตข้าวคุณภาพในระยะยาวได้จริง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว

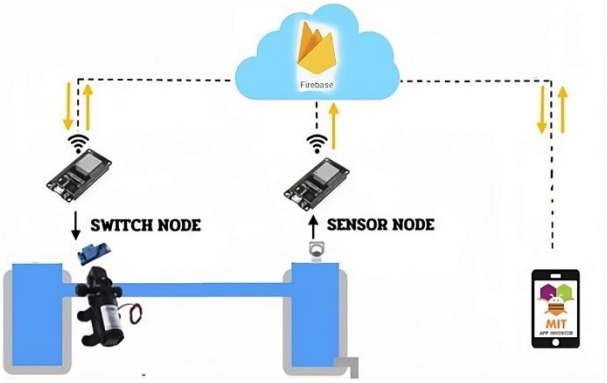
2.2 เพื่อทดสอบแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว

2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับการแกล้งข้าว

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็นทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

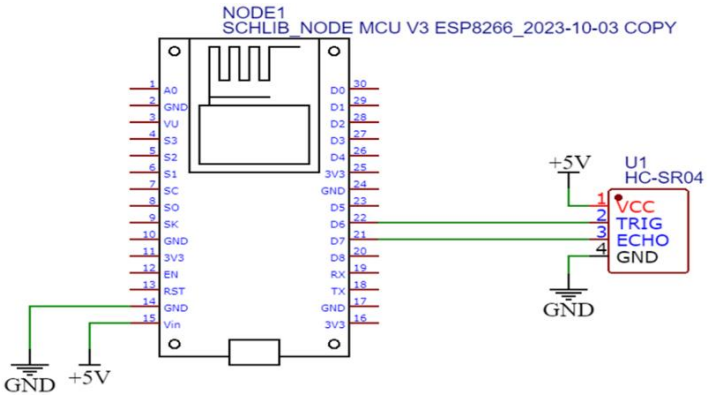
3.1 การออกแบบวงจรรวม




**ภาพที่ 1** ภาพรวมการออกแบบของระบบ

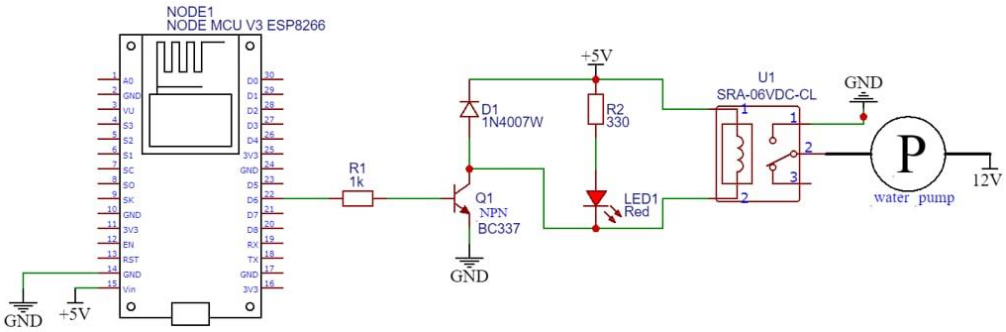
จากภาพที่ 1 คือ ภาพรวมระบบจะใช้ NodeMCU (ESP8266) จำนวน 2 ตัวในการประมวลผล โดยตัวที่หนึ่งหรือ Sensor Node ทำหน้าที่วัดค่าระดับน้ำที่อยู่ในถังแล้วส่งข้อมูลไปยัง Firebase ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูล และตัวที่สองหรือ Switch Node ทำหน้าที่ร้องขอข้อมูลระดับน้ำปัจจุบัน ระดับน้ำต่ำที่สุด และระดับน้ำสูงสุดจาก Firebase เมื่อตรวจพบว่าระดับน้ำต่ำกว่าค่าเงื่อนไขที่กำหนด ระบบจะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงาน และจะหยุดทำงานเมื่อระดับน้ำสูงกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งและอัปเดตแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถติดตามสถานะและควบคุมระบบผ่านแอปบนมือถือได้ทันที ซึ่งภาพที่ 1 แสดงการเชื่อมโยงระหว่าง Sensor Node, Switch Node, Firebase, ปั๊มน้ำ และอุปกรณ์ผู้ใช้ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำงานและส่วนประกอบของระบบอย่างชัดเจน

3.2 การออกแบบโหนดของเซนเซอร์




**ภาพที่ 2** วงจรของโหนดเซนเซอร์

โหนดเซนเซอร์ทำหน้าที่วัดระดับน้ำในถัง โดยขา D6 จะต่อเข้ากับขา Trig ในเซนเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกไป และขา D7 จะต่อเข้ากับขา Echo ซึ่งทำหน้าที่รับค่าคลื่นอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมา จากนั้นค่าที่ได้จะถูกส่งเข้าไปในบอร์ด ESP8266 เพื่อทำการแปลงค่าในบอร์ด แล้วจะได้ค่าเป็นระยะทางในถังน้ำ

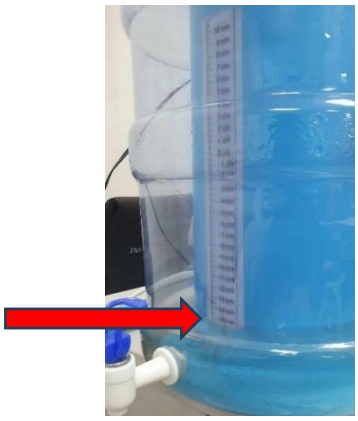



**ภาพที่ 3** วงจรของโหนดสวิตช์

โหนดสวิตช์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ ขา D6 จะต่อเข้ากับขา IN1 ในรีเลย์เป็นการควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์และปั๊มน้ำไฟต่อเข้า NO1 ส่วน COM1 ต่อเข้ากับปั๊มน้ำจากนั้นบอร์ด ESP8266 จะทำหน้าที่สั่งการให้รีเลย์ทำงาน

3.3 การทดลองความแม่นยำของระดับน้ำ

จากการทดลองใส่น้ำให้อยู่ในระดับ -15 ซ.ม. อ่านค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์บนแอปพลิเคชัน นำค่าที่ได้ลบด้วย 15 ซ.ม. บันทึกลงในตำแหน่ง 15 ซ.ม. กำหนดเป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นของเซนเซอร์เพื่อคำนวณระดับน้ำก่อนการใช้งานแสดงผล ทำการกำหนดขอบเขตของระดับน้ำเพื่อควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด เช่น -10,-5,0,5, ซ.ม. และ 10 ซ.ม. ตามลำดับ



**ภาพที่ 4** ใส่น้ำให้อยู่ในระดับ -15 ซ.ม.

เริ่มการทดลองโดยการบันทึกตำแหน่งค่าสูงสุดของระดับน้ำโดยการบันทึกลงช่องค่าสูงสุด -10 ซ.ม. แล้วกดบันทึก เมื่อระดับน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ -10 ซ.ม. ปั๊มน้ำจะหยุดทำงาน และบันทึกตำแหน่งค่าต่ำสุดของระดับน้ำโดยการบันทึกลงช่องค่าต่ำสุด -15 ซ.ม. แล้วกดบันทึก เมื่อระดับน้ำเท่ากับหรือน้อยกว่า -15 ซ.ม. ปั๊มน้ำทำงาน เมื่อปั๊มน้ำทำงานแล้วระดับน้ำเพิ่มขึ้นจนไปถึง -10 ซ.ม. ปั๊มน้ำหยุดการทำงาน ให้เก็บค่าระดับน้ำจากค่าที่ได้เมื่อปั๊มน้ำหยุดทำงานทำงานที่ -10 ซ.ม. โดยเก็บค่าจากแผ่นวัดระดับน้ำที่ถังน้ำกับ แอปพลิเคชัน ว่าค่าแตกต่างกันหรือไม่

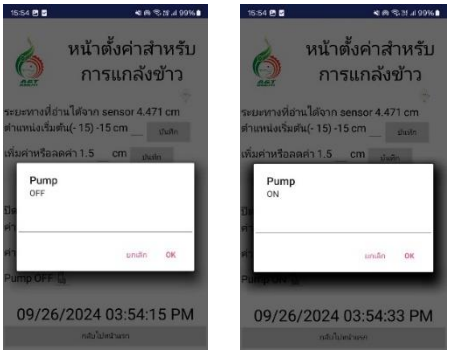
3.4 การทดลองควบคุมปั๊มน้ำสัมพันธ์กับระดับน้ำ

จากการทดสอบการทำงานของปั๊มน้ำโดยตั้งค่าระดับน้ำผ่านแอปพลิเคชันให้เป็นค่าที่เรากำหนดไว้ หากระดับน้ำถึงค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ ปั๊มน้ำจะเริ่มทำงาน ดังภาพที่ 3.4 แต่ถ้าระดับน้ำเท่ากับค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ปั๊มน้ำจะหยุดทำงาน จากนั้นจะสังเกตว่าปั๊มน้ำทำงานได้ปกติหรือไม่ ให้สังเกตที่รีเลย์ว่าทำงานหรือไม่หากรีเลย์ทำงานไฟสถานะรีเลย์จะติด แต่ถ้าไม่ทำงานไฟสถานะรีเลย์จะไม่ติด

**ภาพที่ 5** ภาพภายนอกภายในกล่องและภาพระดับน้ำเท่ากับหรือต่ำกว่าสถานะปั๊มทำงานและระดับน้ำสูงสุดสถานะปั๊มหยุดทำงาน

3.5 การทดลองระบบแจ้งเตือน

จากทดสอบการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน เปิดแอปพลิเคชัน ขึ้นมาจากนั้นตั้งค่าระดับน้ำผ่านแอปพลิเคชันเพื่อให้ปั๊มน้ำทำงานจะได้ส่งการแจ้งเตือนมาที่แอปพลิเคชัน โดยตั้งค่าระดับน้ำ ต่ำสุด ให้ปั๊มน้ำทำงาน แจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชันให้ปั๊ม ON จากนั้นตั้งค่าระดับน้ำ สูงสุด ให้ปั๊มน้ำทำงาน เพื่อแจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชันปั๊ม OFF




**ภาพที่ 6** การแจ้งเตือนสถานเปิด/ปิดปั๊มในแอปพลิเคชัน

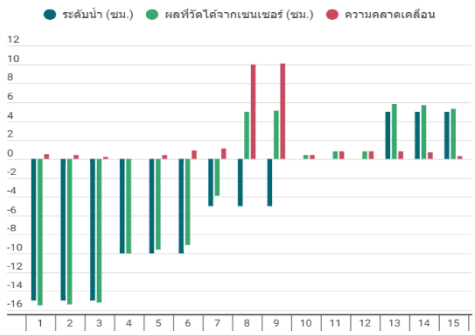
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหาสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ ร่วมกับสถิติเชิงพรรณนา สถิติเชิงพรรณนาโดยใช้ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพการจัดการน้ำและผลผลิตข้าวในเทคนิคการแกล้งข้าวด้วยแบบจำลองอุปกรณ์ IoT การวิเคราะห์นี้จะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกทั้งด้านเนื้อหาและเชิงปริมาณอย่างเป็นระบบ

## 4. ผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการดำเนินงานจากการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว โดยมุ่งเน้นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในด้านความแม่นยำของการวัดระดับน้ำ

4.1 ผลการทดลองความแม่นยำของระดับน้ำ

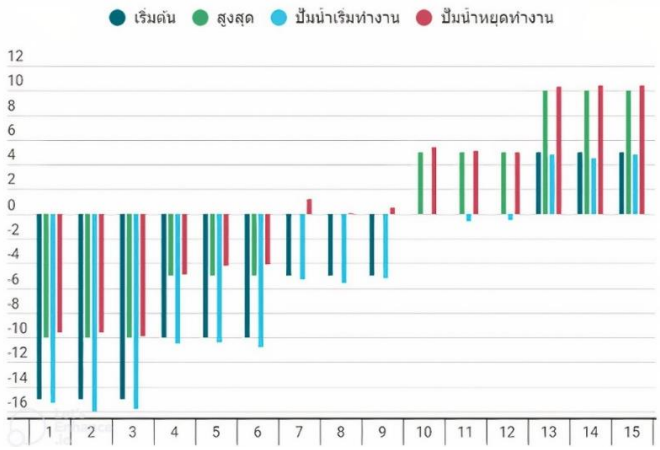



**ภาพที่ 7** ผลการทดลองความแม่นยำของระดับน้ำ

จากการทดลอง 15 ครั้งพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 10.1 ซ.ม. ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง (เช่น 10.0-10.1 ซ.ม. ในการทดลองครั้งที่ 8-9) ชี้ให้เห็นว่าระบบยังคงมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำในการวัดระดับน้ำ ซึ่งอาจต้องได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนของเซนเซอร์หรือการคำนวณ การกำหนดจุดอ้างอิงเริ่มต้นที่ -15 ซ.ม. และการเปรียบเทียบกับแถบวัดระดับน้ำจริง เป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 ผลการทดลองควบคุมปั๊มน้ำสัมพันธ์กับระดับน้ำ

ภาพนี้แสดงการทำงานของระบบควบคุมปั๊มน้ำตามเงื่อนไขระดับน้ำที่ตั้งไว้ โดยระบุระดับน้ำที่ปั๊มเริ่มทำงานและหยุดทำงาน




**ภาพที่ 8** ผลการทดลองควบคุมปั๊มน้ำสัมพันธ์กับระดับน้ำ

ผลการทดสอบ 15 ครั้งแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถควบคุมปั๊มน้ำได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เมื่อระดับน้ำลดลงถึงหรือต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่ตั้งไว้ (เช่น -15 ซ.ม. หรือ -10 ซ.ม.) ปั๊มน้ำจะเริ่มทำงาน และเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นถึงหรือสูงกว่าค่าสูงสุดที่ตั้งไว้ (เช่น -10 ซ.ม. หรือ -5 ซ.ม.) ปั๊มน้ำจะหยุดทำงาน การทำงานของรีเลย์ที่ควบคุมปั๊มน้ำเป็นไปอย่างสอดคล้องกับสถานะที่กำหนด

4.3 ผลการทดลองระบบแจ้งเตือน

ภาพนี้แสดงผลการทดสอบแจ้งเตือนสถานการณ์ทำงานของปั๊มผ่านแอปพลิเคชัน

**ภาพที่ 9** ผลการทดลองระบบแจ้งเตือน

จากการทดสอบระบบแจ้งเตือน 15 ครั้งแสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันสามารถส่งการแจ้งเตือนสถานะการทำงานของปั๊ม (เปิด/ปิด) ไปยังผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแจ้งเตือนจะปรากฏบนแอปพลิเคชันเมื่อระดับน้ำถึงเกณฑ์ที่ทำให้ปั๊มทำงาน (ปั๊ม ON) หรือหยุดทำงาน (ปั๊ม OFF) ตามที่ตั้งค่าไว้

สรุปผลการดำเนินงานโดยรวม แบบจำลองอุปกรณ์ IoT ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการจัดการน้ำในเทคนิคการแกล้งข้าวนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมปั๊มน้ำและระบบแจ้งเตือนสามารถทำงานได้ผลดีในระดับหนึ่งตามเงื่อนไขที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำในการวัดระดับน้ำยังคงเป็นข้อจำกัดที่ควรได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว ผลการพัฒนาแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว พบว่าแบบจำลองสามารถประมวลผลเรียลไทม์และควบคุมน้ำในแปลงได้อย่างแม่นยำ โดยใช้ NodeMCU เชื่อมต่อ Firebase เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวน สอดคล้องกับงานของ กิตติภพ กุลน้อย และอรุณี ศรีสวัสดิ์ (2567) ที่พัฒนาระบบชลประทานอัตโนมัติด้วย IoT สำหรับแปลงผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะ ลดการใช้น้ำ 28% และเพิ่มผลผลิต 15%

ผลการทดสอบแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับเทคนิคการแกล้งข้าว พบว่าระบบทำงานอัตโนมัติได้ตามเงื่อนไขควบคุมระดับน้ำได้ดีและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ วีรพงษ์ ศรีสงคราม และมงคล วัฒนกูล (2566) ที่ใช้เซ็นเซอร์ IoT ควบคุมการให้น้ำในโรงเรือนเมล่อน ลดแรงงานและเพิ่มคุณภาพผลผลิต

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานแบบจำลองอุปกรณ์ IoT สำหรับการแกล้งข้าว พบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยลดแรงงาน เพิ่มความแม่นยำ และใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนได้จริง โดยเฉพาะเมื่อนำ IoT มาบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสม สอดคล้องกับงานของ อนุชา พันธุ์มณี และสายชล จันทะนาม (2567) ที่พัฒนาระบบ IoT เพื่อจัดการน้ำในไร่อ้อยอัจฉริยะ และจิรภัทร วัฒนสินธุ์ และอภิชัย สุขเกษม (2566) ที่พัฒนาแอป IoT ควบคุมระบบน้ำหยดในสวนมะม่วง ช่วยลดการสูญเสียน้ำและเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลจากการวิจัยพบว่า ระบบควบคุมปั๊มน้ำและแจ้งเตือนสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด คือปั๊มทำงานเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าค่าต่ำสุด และหยุดทำงานเมื่อระดับน้ำสูงกว่าค่าสูงสุด รีเลย์ที่ควบคุมปั๊มตอบสนองได้อย่างถูกต้อง และแอปพลิเคชันสามารถส่งแจ้งเตือนสถานะการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำในการวัดระดับน้ำ โดยจากการทดลอง 15 ครั้ง พบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0.0 ถึง 10.1 ซม. ซึ่งอาจต้องปรับปรุงเซ็นเซอร์หรืออัลกอริธึมให้แม่นยำยิ่งขึ้นในอนาคต

จากผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองอุปกรณ์ IoT นี้มีศักยภาพในการยกระดับการจัดการน้ำในนา โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการแกล้งข้าว ซึ่งช่วยลดแรงงาน เพิ่มความแม่นยำ และส่งเสริมผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพในระยะยาว ทั้งนี้ ข้อค้นพบได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยก่อนหน้า เช่น งานของธนพร พยอมใหม่ และไมตรี ธรรมมา (2566) ที่ชี้ว่า IoT ช่วยลดแรงงานเพิ่มรายได้เกษตรกรถึง 12.7% และงานของรุ่งเรือง งาหอม (2561) ที่พบว่าระบบน้ำอัตโนมัติช่วยลดต้นทุนและเพิ่มผลตอบแทนได้ งานของณัฐชนก โพธิ์แจ้ง (2568) ยังแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ควบคุมน้ำในสวนทุเรียนช่วยลดปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำ ส่วนภูกิจ คงเปี่ยม (2568) ระบุว่า Smart Farm ช่วยเพิ่มผลผลิต 15–25% และลดต้นทุน 20–30% ขณะที่ศุภณัฐ กายถวาย (2567) ยืนยันว่า IoT ช่วยเก็บข้อมูลอากาศและทำนายวันเก็บเกี่ยวได้แม่นยำ สะท้อนให้เห็นว่าเทคโนโลยี IoT เป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการน้ำในภาคเกษตร ช่วยให้เกษตรกรปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง และเสริมความมั่นคงทางอาหารของประเทศในระยะยาว

**6. เอกสารอ้างอิง**

ณัฐชนก โพธิ์แจ้ง, อิทธิพล ยิ่งยง, ชัยวัฒน์ สิริไพบูลย์กาญจน์, พฤกษ์ภูมิ ธีรานุตร, และ รสสุคนธ์ ทับพร. (2568). การพัฒนาอุปกรณ์ เปิด–ปิดระบบสูบน้ำอัตโนมัติสำหรับสวนทุเรียน: กรณีศึกษาศูนย์อนุรักษ์ทุเรียนนนท์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ เบญจมิตรวิชาการ ครั้งที่ 15* (น. 588–598). มหาวิทยาลัยธนบุรี.

ธนพร พยอมใหม่, และ ไมตรี ธรรมมา. (2566). การออกแบบและพัฒนาผลผลิตการปลูกข้าวด้วยระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*, *4*(3), 7–85.

ปริตา ชัยภัทรวงษ์, และ นพดล บุรณนัฏ. (2567). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจัดการอุตสาหกรรมเกษตรอัจฉริยะ จังหวัดอุดรธานี. *วารสารรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, *7*(2), 466–482.

ภูกิจ คงเปี่ยม, และ ธนพล แพร่งกระโทก. (2568). สถานการณ์และแนวโน้มการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งสำหรับฟาร์มปลูกพืชอัจฉริยะในประเทศไทย. *Journal of Industrial Education*, *24*(1), C1–C10.

รุ่งเรือง งาหอม, วินัย งาหอม, และ ศิรินาถ บุญส่ง. (2561). ระบบการจัดการน้ำอัตโนมัติโดยใช้โซล่าร์เซลล์ในนาข้าวนอกเขตชลประทาน จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *23*(3), 1506– 1519.

ศุภณัฐ กายถวาย, สุเนตร สืบค้า, ปารวี กาญจนประโชติ, และ โชติพงษ์ กาญจนประโชติ. (2567). การทำนายวันเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ปทุมธานี และ กข–แม่โจ้ อย่างแม่นยำจากค่าอุณหภูมิสะสม (GDD) ด้วยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ IoT เก็บข้อมูลสภาพอากาศแบบดิจิทัล. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, *17*(4), 1–10.AA

กิตติภพ กุลน้อย, และ อรุณี ศรีสวัสดิ์. (2567). การพัฒนาระบบชลประทานอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT สำหรับการปลูกผักสลัดในโรงเรือนอัจฉริยะ. *วารสารเทคโนโลยีเกษตร*, *18*(2), 45–56.

วีรพงษ์ ศรีสงคราม, และ มงคล วัฒนกูล. (2566). การประยุกต์ใช้ระบบเซ็นเซอร์ IoT เพื่อควบคุมการให้น้ำในโรงเรือนเมล่อน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์เกษตร*, *14*(1), 77–88.

อนุชา พันธุ์มณี, และ สายชล จันทะนาม. (2567). การพัฒนาระบบจัดการน้ำในไร่อ้อยอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกษตร*, *12*(3), 101–113.

จิรภัทร วัฒนสินธุ์, และ อภิชัย สุขเกษม. (2566). การพัฒนาแอปพลิเคชัน IoT สำหรับควบคุมระบบน้ำหยดในสวนมะม่วง. *วารสารนวัตกรรมการเกษตร*, *9*(1), 55–66.

# การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

# Development of an Information System and Database Management for Advisors at Faculty of Agriculture and Technology

**อรรจกร วิชัย[1*], สิรวิชญ์ ศรีทอง[2], สุดารัตน์ รักเพื่อน[3], สิวกร เรืองเกษม[4], อัญวีณ์ ไชยวชิระกัมพล[5], อนัตต์ชัย ชุติภาสเจริญ[6]**

**Adjakorn Wichai[1*], Sirawit Sithong[2], Sudarat Rakphuean[3], Siwakorn Rueangkasem[4], Anyawee Chaiwachiragompo[5], Anutchai Chutipascharoen[6]**

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan SURIN Campus,
adjakorn.wi@gmail.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาในคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ โดยมุ่งแก้ไขปัญหาการจัดเก็บและเข้าถึงข้อมูลที่ล่าช้า และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูลการให้คำปรึกษานักศึกษา กระบวนการพัฒนาระบบดำเนินการตามหลัก SDLC ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาความต้องการ ออกแบบระบบ พัฒนา ทดสอบ และประเมินผลการทดลองใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน ได้แก่ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และอาจารย์ที่ปรึกษา โดยเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้ผ่านแบบสอบถามแบบ Likert Scale ผลการประเมินพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.12, S.D. = 0.26) โดยด้านประสิทธิภาพและความถูกต้องของระบบที่ได้รับคะแนนสูงสุด จากผลการวิจัยพบว่าระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยในการจัดการข้อมูลการให้คำปรึกษา อีกทั้งช่วยส่งเสริมการติดตามผลและการให้คำแนะนำแก่นักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** ระบบสารสนเทศ การจัดการฐานข้อมูล อาจารย์ที่ปรึกษา

**Abstract**

This research aimed to design and develop an information system for managing the advisor database of the Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin campus. The objective was to address issues related to delayed data storage and retrieval, as well as to enhance the efficiency of student advisory information management. The system was developed using the Softwere Development Life Cycle (SDLC), consisting of requirement analysis, system design, development, testing, and evaluation. The

system was tested with a sample group of 15 participants, including students, staff, and academic advisors. User satisfaction was assessed through a Likert scale questionnaire. The results showed that users were highly satisfied overall (= 4.12, S.D. = 0.26), with the highest scores in system efficiency and accuracy. The developed information system significantly improved the convenience, speed, and security of advisory data management. Moreover, it facilitated more effective follow-up and guidance for students.

**Keywords:** Information System, Database Management, Academic Advisor

**1. บทนำ**

สถาบันอุดมศึกษามีบทบาทสำคัญในการผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพเพื่อการพัฒนาประเทศ (สาคร และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตาม นักศึกษาในระดับปริญญาตรีมักเผชิญกับปัญหาหลากหลายด้าน ทั้งวิชาการ การฝึกปฏิบัติงาน รวมถึงเรื่องการใช้ชีวิตส่วนตัว เช่น ความเครียดและภาวะซึมเศร้า ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและโอกาศในการสำเร็จการศึกษา (เกวรนิตย์ ฉันทนะสุขศิลป์ และคณะ, 2563) ซึ่งระบบให้คำปรึกษาที่มีอยู่เดิมมักมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล การจัดเก็บเอกสารแบบเดิมที่อาจนำไปสู่การสูญหายของข้อมูล แม้กระทั่งการเข้าถึงข้อมูลที่ล่าช้า (อธิบ, 2567; อรุณธนหิรัญ, 2566) โดยมหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน คณะเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ พบปัญหาระบบงานเดิมในการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคือ การเก็บรวบรวมข้อมูลยังคงอยู่ในรูปแบบของแฟ้มเอกสาร ซึ่งเป็นแบบฟอร์มที่มหาวิทยาลัยกำหนด การใช้แฟ้มเอกสารนี้ส่งผลให้ การจัดเก็บ การสืบค้น และการสรุปข้อมูลการให้คำปรึกษาระหว่างอาจารย์และนักศึกษาใช้เวลานาน นอกจากนี้ กระบวนการขอรับคำปรึกษาและแนะแนวมีความซับซ้อนและยากต่อการให้คำปรึกษาที่ทันท่วงที ด้วยจำนวนนักศึกษาที่มากและความหลากหลายของสาขาวิชา ทำให้ยากต่อการรวบรวมข้อมูลและหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับการให้คำปรึกษา เช่น ข้อมูลประวัตินักศึกษา ข้อมูลการปรึกษา และข้อมูลการติดตามผล ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลในลักษณะเดิมยังทำให้การติดตามผลนักศึกษาและการวางแผนการให้คำปรึกษาขาดประสิทธิภาพ เพื่อแก้ไขปัญหาและยกระดับคุณภาพการให้คำปรึกษา การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูง (อธิบ, 2567)

ระบบสารสนเทศบนเว็บไซต์จะช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลเป็นระบบ เพิ่มความรวดเร็วและปลอดภัยในการเข้าถึง (อมรชีวิน และพิทักษ์, 2567) ซึ่งช่วยความสะดวกในการนัดหมาย ส่งเสริมการสื่อสารและการติดตามผลระหว่างผู้ให้คำปรึกษากับนักศึกษา และรองรับความต้องการคำปรึกษาได้ทั้งด้านวิชาการ การฝึกปฏิบัติงาน และการใช้ชีวิตของนักศึกษา (อารีรัตน์ และคณะ, 2560) การพัฒนาระบบให้คำปรึกษาแก่นักศึกษาจึงจำเป็นต้องดำเนินการตามหลักการวงจรการพัฒนาระบบ (Software Development Life Cycle: SDLC) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน 2) การออกแบบระบบและฐานข้อมูล 3) การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน 4) การติดตั้งและทดสอบระบบเพื่อหาข้อบกพร่อง และ 5) การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาการให้คำปรึกษา การจัดการข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลที่ล่าช้าและการจัดเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและป้องกันการศูนย์หายของข้อมูล

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาระบบให้คำปรึกษาบนเว็บไซต์ เพื่อการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบและลดข้อจำกัดของกระบวนการแบบเดิม การออกแบบระบบให้สามารถบันทึกข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลการให้คำปรึกษา และการติดตามผลได้อย่างครบถ้วนและปลอดภัย ช่วยให้อาจารย์ที่ปรึกษาและนักศึกษาสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกรวดเร็ว ลดขั้นตอนการใช้เอกสารและการค้นหาข้อมูลด้วยตนเอง นอกจากนี้ ยังช่วยให้การนัดหมาย การแจ้งเตือน และการสื่อสารระหว่าง

คู่สนทนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การให้คำปรึกษาเป็นไปอย่างต่อเนื่องทันท่วงที และตรงกับความต้องการเฉพาะบุคคลของนักศึกษา ซึ่งจะช่วยเพิ่มโอกาสในการแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด ส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาและสนับสนุนการพัฒนานักศึกษายั่งยืน

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

2.2 เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัย เชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งประกอบด้วย 1) กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 2) กำหนดแผนการวิจัย 3) ขั้นตอนการพัฒนาระบบ 4) การเก็บรวบรวมข้อมูล และ 5) การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เจ้าหน้าที่ จำนวน 2 คน อาจารย์ จำนวน 12 คน และนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จำนวน 152 คน ซึ่งเป็นบุคลากรและนักศึกษาที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการดำเนินงานและการใช้ระบบสารสนเทศในหน่วยงาน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ จำนวน 1 คน อาจารย์ จำนวน 4 คน และนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จำนวน 10 คน รวมทั้งสิ้น 15 คน โดยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้ผู้ให้ข้อมูลที่มีคุณลักษณะตรงตามเกณฑ์ที่กำหนด และสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์ต่อการตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างดังกล่าวมีประสบการณ์หรือมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้และการจัดการระบบสารสนเทศ จึงมีความเหมาะสมต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้อง

3.2 การกำหนดแผนการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง ในลักษณะแผนงานวิจัยแบบกลุ่มทดลองที่มีการวัดเฉพาะหลังการทดลอง (Static Group Comparison Design)

**ตารางที่ 1** แบบแผนการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

| กลุ่ม | ก่อนทดลอง | ทดลอง | หลังทดลอง |
|---|---|---|---|
| $E_1$ | - | X | $O_1$ |
| $E_2$ | - | X | $O_1$ |
| $E_3$ | - | X | $O_1$ |

เมื่อ

$E_1$ แทน กลุ่มทดลอง (Experimental Group) กลุ่มที่ 1 นักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 10 คน

$E_2$ แทน กลุ่มทดลอง (Experimental Group) กลุ่มที่ 2 เจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุน จำนวน 1 คน

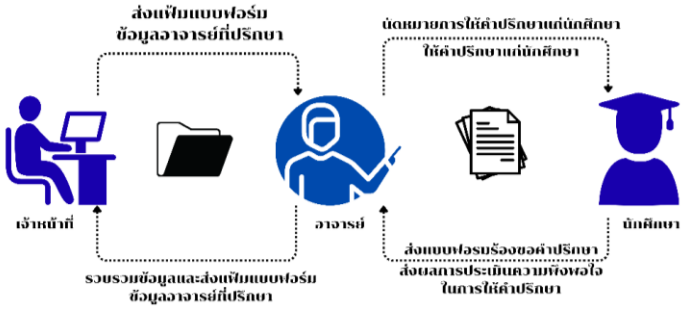
$E_3$ แทน กลุ่มทดลอง (Experimental Group) กลุ่มที่ 3 อาจารย์ที่ปรึกษา จำนวน 4 คน

X แทน การทดลองด้วยการใช้ระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

$O_1$ แทน การสังเกต (หรือการวัดผล) หลังการทดลอง (Post Observation)

3.3 ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

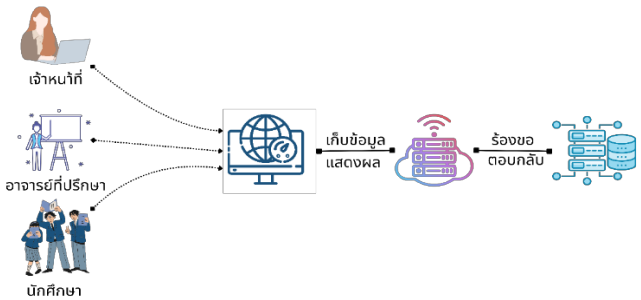
3.3.1 การศึกษาระบบงานเดิม




**ภาพที่ 1** การวิเคราะห์ระบบงานเดิม

ผู้วิจัยได้ศึกษาว่าคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์มีการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาในรูปแบบแฟ้มเอกสารเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้การจัดเก็บ การสืบค้นและการสรุปข้อมูลการให้คำปรึกษาระหว่างอาจารย์และนักศึกษาใช้เวลานาน อีกทั้งขั้นตอนการขอรับคำปรึกษาและแนะแนวมีความซับซ้อนและยากต่อการให้คำปรึกษาที่ทันท่วงที ซึ่งการทำงานระบบเดิมแสดงให้เห็นว่าเจ้าหน้าที่จะส่งแฟ้มข้อมูลให้อาจารย์ที่ปรึกษา จากนั้นอาจารย์จะนัดนักศึกษา เก็บข้อมูลในแฟ้มเอกสาร แล้วส่งคืนเจ้าหน้าที่ นักศึกษาจะต้องเขียนคำร้องขอรับคำปรึกษา ส่งให้อาจารย์ และรอการนัดหมายซึ่งตั้งแต่ขั้นตอนแรกตลอดจนขั้นตอนจบการให้คำปรึกษาจะต้องมีการใช้เอกสารอย่างน้อย 10 แบบฟอร์มซึ่งทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรและเวลาเป็นอย่างมาก

3.3.2 การวิเคราะห์ระบบงานใหม่



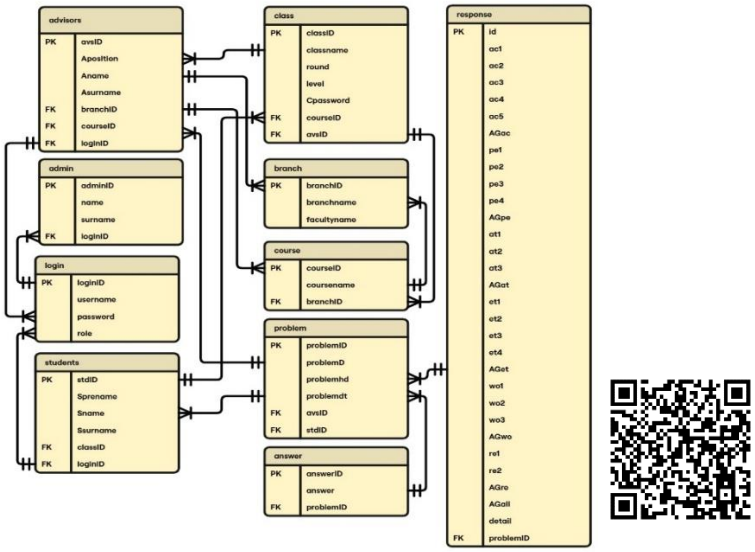

**ภาพที่ 2** การวิเคราะห์ระบบงานใหม่

การวิเคราะห์ระบบงานใหม่โดยใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศมาช่วยสร้างเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้งานทั้ง 3 กลุ่ม (เจ้าหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา นักศึกษา) สามารถโต้ตอบกันได้ ระบบใหม่นี้จะช่วยให้นักศึกษาสามารถลดระยะเวลาในการเดินทางมาพบที่ปรึกษา และสามารถร้องขอใช้บริการระบบสารสนเทศ รวมถึงดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ เจ้าหน้าที่จะสามารถเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลและดึงออกมาแสดงผลได้ และอาจารย์สามารถนัดหมาย ติดตามผล และเก็บผลการให้คำปรึกษาไว้ในฐานข้อมูล เพื่อแสดงกระบวนการทำงานของระบบใหม่

ซึ่งการดำเนินงานระบบเดิมของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อาศัยการเก็บข้อมูลในแฟ้มเอกสาร ซึ่งทำให้การค้นหาและสรุปข้อมูลล่าช้าและมีขั้นตอนซับซ้อน นักศึกษาต้องยื่นคำร้องต่อเจ้าหน้าที่และรอการนัดหมายจากอาจารย์ที่ปรึกษา ระบบงานใหม่ได้ประยุกต์ใช้เว็บไซต์และฐานข้อมูล เพื่อให้เจ้าหน้าที่ อาจารย์ และนักศึกษา สามารถประสานงานออนไลน์ได้แบบเรียลไทม์ ลดระยะเวลาและขั้นตอนการทำงาน อีกทั้งเพิ่มความสะดวกและความรวดเร็วในการให้คำปรึกษา

3.3.3 การออกแบบระบบ

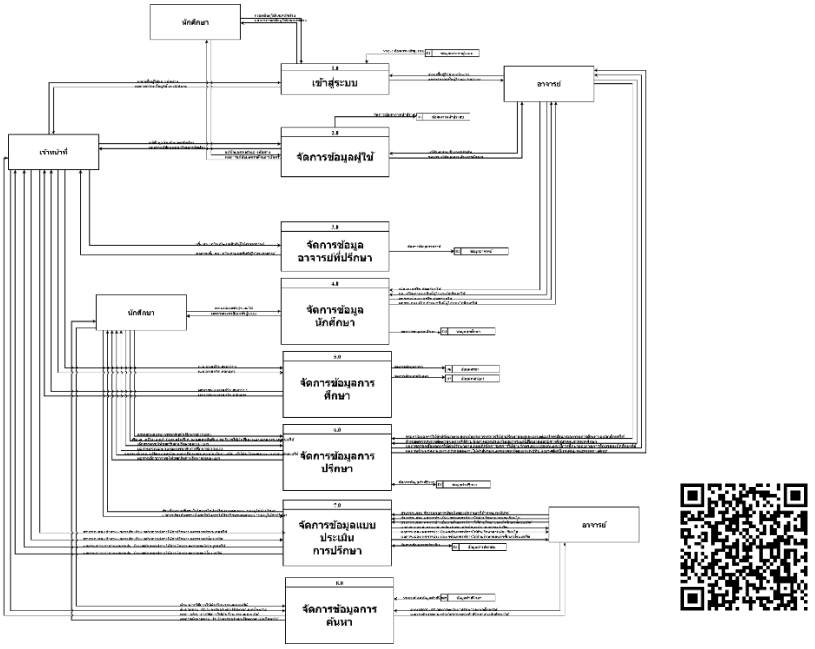
การออกแบบระบบประกอบด้วยการสร้างแผนภาพการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram) และ Entity Relationship Diagram (ERD) นอกจากนี้ยังมีการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI design) สำหรับหน้าเข้าสู่ระบบ หน้าหลัก การจัดการข้อมูลหลักสูตร สาขา การกำหนดสิทธิ์อาจารย์ หน้าสรุปผลการประเมิน หน้าจัดการห้องเรียน หน้าค้นหาประวัติการให้คำปรึกษา หน้าลงทะเบียน และหน้าขอคำปรึกษา/สถานะการตอบกลับ




**ภาพที่ 3** Entity Relationship Diagram (ER-Diagram)

เมื่อได้มีการวิเคราะห์ปัญหาความซับซ้อนในการเก็บข้อมูลด้วย SDLC แล้วนำมาสู่ขั้นตอนการออกแบบแผนภูมิกระแสข้อมูลและโครงสร้างตารางความสัมพันธ์ได้ทั้งสิ้น 10 ตาราง โดยมีตารางนี้ คือ เจ้าหน้าที่ (admin),อาจารย์ (advisors), คำตอบ(answer), สาขา (branch), ห้องเรียน (class) , หลักสูตร (course) , การเข้าสู่ระบบ (login), ปัญหา (problem), ผลการประเมิน (response) เก็บข้อมูลผลการประเมินโดย มีทั้งหมด 5 ด้าน ประกอบด้วย 1.คุณลักษณะด้านความสามารถเชิงวิชาการ

(ac) 2.คุณลักษณะด้านบุคลิกภาพ (pe) 3.คุณลักษณะด้านเจตคติ (at) 4.คุณลักษณะด้านจรรยาบรรณ (et) 5.คุณลักษณะด้านทักษะการปฏิบัติงาน (wo) 6.คุณลักษณะด้านความรับผิดชอบ (re), และนักศึกษา (students)




**ภาพที่ 4** แผนภูมิกระแสข้อมูล (Context Diagram)

3.3.4 การพัฒนาระบบ

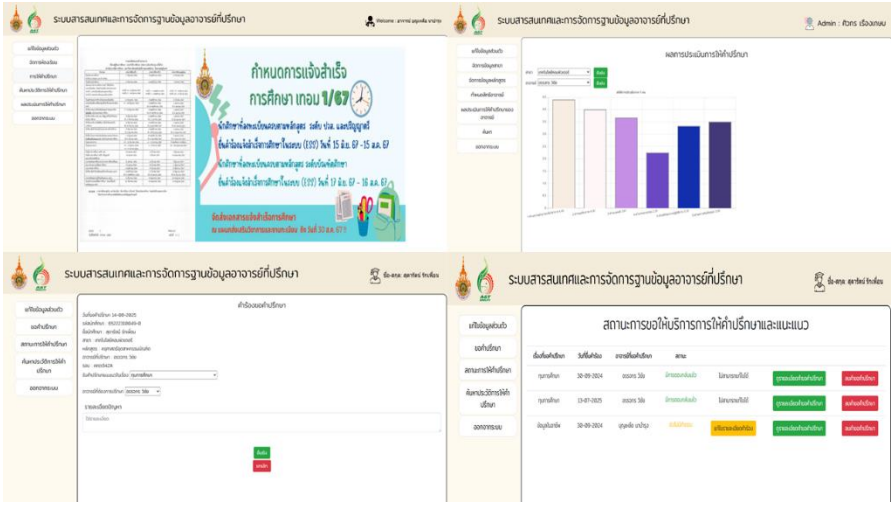
ผู้วิจัยได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Visual Studio Code ในการพัฒนา และใช้ภาษา PHP, JavaScript, HTML, CSS โดยทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows โปรแกรม XAMPP 7.4.2 ถูกใช้เป็น Web Server และ phpMyAdmin เป็นตัวกลางในการจัดการฐานข้อมูล MySQL การพัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของเจ้าหน้าที่ ส่วนของอาจารย์ที่ปรึกษา และส่วนของนักศึกษา

3.3.5 การทดสอบระบบ

ทดสอบระบบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) โดยพิจารณาจากผลลัพธ์ว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลที่นำเข้าสู่ซอฟต์แวร์หรือไม่ ผลการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบทั้งในส่วนของเจ้าหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา และนักศึกษา โดยผลการทดสอบฟังก์ชันการทำงาน ของเจ้าหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา และนักศึกษา สามารถทำงานได้ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพตามขอบเขตที่กำหนดไว้

3.3.6 การติดตั้งระบบ

ภายหลังการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้นำระบบไปติดตั้ง ณ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้งานผ่านโดเมนของสาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ที่อยู่ภายใต้คณะเดียวกัน และสามารถเข้าถึงระบบได้ผ่าน URL: https://computer.surin.rmuti.ac.th/advisor/ โดยระบบดังกล่าวถูกติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu




**ภาพที่ 5** ตัวอย่างเว็บไซต์ระบบสารสนเทศและการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเริ่มจากการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ จำนวนทั้งหมด 3 ชุด ได้แก่ แบบประเมินสำหรับเจ้าหน้าที่จำนวน 1 คน อาจารย์ที่ปรึกษาจำนวน 4 คน และนักศึกษาจำนวน 10 คน จากนั้นได้ประสานงานไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ เพื่อขอความร่วมมือในการประเมินความพึงพอใจดังกล่าว โดยให้ผู้เกี่ยวข้องทดลองใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น และดำเนินการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา โดยเริ่มตั้งตั้งแต่วันที่ 20 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและแปลความหมายความพึงพอใจด้วยวิธีลิเคิร์ทสเกล (Likert Scale)

การให้คะแนนความพึงพอใจมีอยู่ 5 ระดับความพึงพอใจ

4.21 – 5.00 อยู่ในระดับ มากที่สุด

3.41 – 4.20 อยู่ในระดับ มาก

2.61 – 3.40 อยู่ในระดับ ปานกลาง

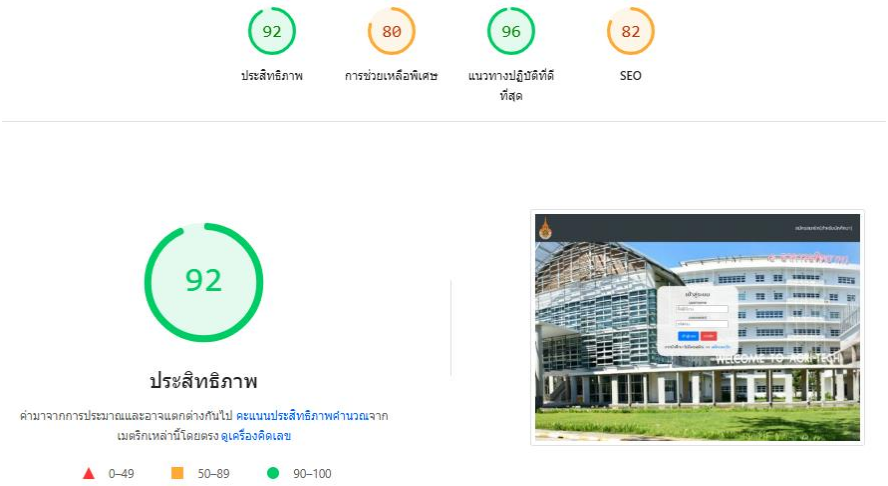
1.81 – 2.60 อยู่ในระดับ ปรับปรุง

1.00 – 1.80 อยู่ในระดับน้อยที่สุด หรือควรปรับปรุงเป็นอย่างมาก

## 4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษาและแนะแนวจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งได้แบ่งการทำงานตามสถานการณ์เข้าใช้งานระบบ โดยมีรายละเอียดของผลการ ดำเนินงาน ดังนี้

4.1 ประสิทธิภาพของเว็บไซต์




**ภาพที่ 6** วิเคราะห์ปัญหาด้านประสิทธิภาพของเว็บไซต์

จากผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพของเว็บไซต์โดย https://pagespeed.web.dev พบว่า ประสิทธิภาพของเว็บไซต์เท่ากับ 92 First Contentful Paintเท่ากับ 1.00 วินาที Largest Contentful Paint เท่ากับ 1.2 วินาที Total Blocking Time เท่ากับ 0 มิลลิวินาที Cumulative Layout Shift 0.001 และ Speed Index เท่ากับ 1.8 วินาที

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้ระบบจากทั้ง 3 กลุ่ม

| รายการ | ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | เจ้าหน้าที่ | อาจารย์ | นักศึกษา |
| 1. ด้านการออกแบบระบบ | 3.40 | 3.85 | 4.42 |
| 2. ด้าน | 4.25 | 4.13 | 4.48 |
| 3. ด้านความปลอดภัยของระบบ | 3.50 | 3.88 | 4.45 |
| 4. ด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพการใช้งาน | 4.50 | 4.25 | 4.23 |
| รวม | 3.91 | 4.03 | 4.40 |

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบของเจ้าหน้าที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.40 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.00 ด้านประสิทธิภาพของระบบของเจ้าหน้าที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.00 ด้านความปลอดภัยของระบบของเจ้าหน้าที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.00 ด้านความถูกต้อง

และประสิทธิภาพการใช้งานของเจ้าหน้าที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.00 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบของอาจารย์ที่ปรึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.85 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.81 ด้านประสิทธิภาพของระบบของอาจารย์ที่ปรึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.13 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.89 ด้านความปลอดภัยของระบบของอาจารย์ที่ปรึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.88 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.89 ด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพการใช้งานของอาจารย์ที่ปรึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.25 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.93 และผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบระบบของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.42 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.64 ด้านประสิทธิภาพของระบบของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.48 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.60 ด้านความปลอดภัยของระบบของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.45 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.64 ด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพการใช้งานของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.23 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.70 ซึ่งประเมินผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของเจ้าหน้าที่มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.88 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.00 แปลผลได้ ว่าเจ้าหน้าที่มีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก ผลการประเมินผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของอาจารย์ที่ปรึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.10 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.87 แปลผลได้อาจารย์ที่ปรึกษามีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก ผลการประเมินผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.65 แปลผลได้ว่านักศึกษามีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมากที่สุด และผลการประเมินผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของนักศึกษามีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.26 แปลผลได้ว่านักศึกษามีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมากที่สุด

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา 2) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบสารสนเทศสำหรับการจัดการฐานข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์ข้อแรก พบว่าระบบที่ออกแบบสามารถแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิมที่ใช้แฟ้มเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล แผนผังการไหลของข้อมูล และส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI) ให้รองรับการใช้งานของเจ้าหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา และนักศึกษาได้ครบถ้วน การออกแบบดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการ SDLC และแนวทางของอมรชีวินและพิทักษ์ (2567) ที่ชี้ว่าระบบสารสนเทศบนเว็บไซต์ช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลมีความเป็นระบบ รวดเร็ว และปลอดภัย

การพัฒนาระบบเป็นไปตามวงจร SDLC ครบทุกขั้นตอน ตั้งแต่การศึกษาความต้องการ ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และติดตั้งจริงในคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้ PHP, MySQL และโครงสร้างเว็บแอปพลิเคชันแบบสามส่วน (ผู้ดูแลระบบ อาจารย์ นักศึกษา) ผลการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) แสดงให้เห็นว่าระบบทำงานถูกต้อง ครอบคลุมทุกฟังก์ชัน เช่น การเพิ่ม ลบ แก้ไข และค้นหาข้อมูล รวมถึงการนัดหมายและติดตามผล ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของเกวรนิตย์ และคณะ(2563) ที่กล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้คำปรึกษา

ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ เจ้าหน้าที่ อาจารย์ที่ปรึกษา และนักศึกษา พบว่ามีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับ “มาก” ถึง “มากที่สุด” ($\bar{X}$ = 4.12, S.D. = 0.26) โดยเฉพาะด้านประสิทธิภาพและความถูกต้องของระบบที่ได้

คะแนนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าระบบตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานได้จริง ทั้งในด้านการลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูล การลดขั้นตอนการใช้เอกสาร และเพิ่มความสะดวกในการนัดหมายและสื่อสาร ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของอารีรัตน์และคณะ (2560) ที่ยืนยันว่าระบบให้คำปรึกษาที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสามารถรองรับความต้องการได้หลากหลายและช่วยติดตามผลได้มีประสิทธิภาพ

**ข้อเสนอแนะ**

ควรพัฒนาระบบให้สามารถรองรับการแสดงผลบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อเพิ่มความสะดวกและการเข้าถึงของผู้ใช้งานในทุกสถานที่และทุกเวลา นอกจากนี้ควรพิจารณาลดเวอร์ชันของภาษาที่ใช้ในการพัฒนาให้เหมาะสมกับความสามารถของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ หรือปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้สามารถรองรับภาษาที่มีเวอร์ชันสูงขึ้นได้ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

เกวรนิตย์ ฉันทนะสุขศิลป์, วรัญญา มหาจุนทการ, รัตนาชัย พิชญาติยะ (2563). การศึกษาระบบให้คำปรึกษาแก่นักศึกษาระดับปริญญาตรีของสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งหนึ่งในประเทศไทย. *Journal of Kanchanaburi Rajabhat University*, *9*(2), 253–266.

ชัยทัศน์ เกียรติยากุล (2561). *การพัฒนาระบบฐานข้อมูลภูมิปัญญาชาวม้ง*.

รัชวุฒิ แจ้งมาก, ปริยาภรณ์ ตั้งคุณานันต์, ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์, ใหม่ เจริญธรรม (2567). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการแผนการจัดการเรียนรู้. *Journal of Technical and Engineering Education*, *15*(3), 10–21.

อธิบ โพทอง (2567). การพัฒนาระบบสารสนเทศ ยืม-คืน วัสดุและครุภัณฑ์. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, *8*(2), 76–88.

รัชดาภรณ์ อมรชีวิน, ปิยามาส คุณพิทักษ์ (2567). การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสมุนไพรบ้านไม้ดัดจังหวัดสิงห์บุรี. *วารสารวิชาการ "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ"*, *10*(2), 21–30.

อลิสา อรุณธนหิรัญ (2566). ต้นแบบระบบจัดเก็บฐานข้อมูลคำสั่งปฏิบัติราชการบุคลากรคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี. *วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี*, *5*(1), 65–81.

อารีรัตน์ ชูพันธ์, ศักรินทร กลีบแก้ว, สุภา กาญจนวงศ (2560). *การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการให้คำปรึกษาในการพัฒนาโครงงานระบบสารสนเทศทางธุรกิจ*.

เอื้องฟ้า เขากลม, นัตติกานต์ สมนึก, ณวิสาร์ จุลเพชร (2561). พฤติกรรมการขอรับคำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษาและความพึงพอใจต่อระบบการให้คำปรึกษาของนักศึกษาหลักสูตรบริหารธุรกิจ. *Journal of Liberal Arts Prince of Songkla University*, *10*(2), 360–394.

# ผลการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

# Results of the use of skills training to improve the process of perception and recognition of information. According to Miller's Law on Human Memory for first-year students majoring in Information Technology, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

**จิตราภา คนฉลาด[1*], อิทธิชัย อินลุเพท[2]**

**Jittrapa Konchalard [1*], Ittichai Inlupet[2]**

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

[1]Factory of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Jittrapa.kon@lru.ac.th

[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

[2]Factory of Science and Technology, Loei Rajabhat University, ittichai.inl@lru.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนในรายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ โดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ และ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่ใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ในรายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ จำนวน 37 คน โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ผลการศึกษาพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ โดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 2) ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ ในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ อยู่ในระดับมากที่สุด

**คำสำคัญ:** แบบฝึกเสริมทักษะ กระบวนการรับรู้ การจดจำข้อมูล

**Abstract**

The objectives of this research were 1) To compare academic achievement before and after studying in the course. Human-Computer Interaction Human Memory Using Skills Enhancement Exercises and 2) To assess the satisfaction of students who use the skills training exercises to improve the process of human perception and memory of information, according to Miller's law. Human memory, 37 students with specific selection by purposive sampling. The results of the study showed that 1) Academic achievement after studying is higher than before studying in the course. Human-Computer Interaction The difference in human memory using the skill enhancement exercises was statistically significant at the level of 0.05, and 2) The results of the evaluation of students' satisfaction with the use of skills training to improve the process of human perception and memory of information according to Miller's law. Human memory is at the highest level.

**Keywords:** skills training, process of perception, recognition of information

**1. บทนำ**

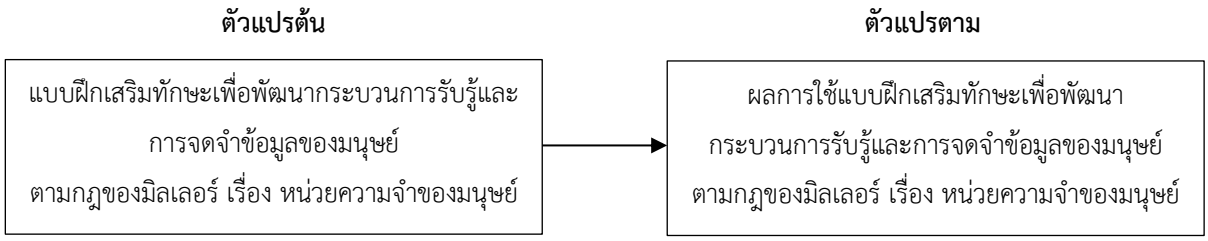
ปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการเทคนิคหรือรูปแบบต่าง ๆ มีความจำเป็นและสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการกระตุ้นผู้เรียนเกิดความสนใจ เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองได้ทุกที่ทุกเวลา มีบทบาทส่วนร่วมในการจัดการเรียนการสอนให้เกิดสนใจ ความสามัคคี ความสนุกสนานเพลิดเพลิน การพบปะแลกเปลี่ยน และการเรียนรู้วิธีการแก้ไขปัญหาลักษณะต่าง ๆ ที่ผู้สอนได้ออกแบบไว้ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาจากบทเรียนได้ดียิ่งขึ้น และผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้น

การนำกระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ กล่าวไว้ว่า “โดยเฉลี่ยแล้วมนุษย์จะมีความสามารถในการจดจำสิ่งต่าง ๆ ได้เพียง 5-9 อย่าง (7 +/- 2) ในการจดจำเพื่อใช้งาน” เหตุผลในการจำกัดการออกแบบโดยไม่จำเป็นจะเป็นแนวทางในการออกแบบเท่านั้นไม่ใช่กฎที่ตายตัว จะใช้การแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ จัดกลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยกันเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำ ซึ่งจะช่วยให้ได้รับข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น และยังสามารถจดจำข้อมูลได้ง่ายยิ่งขึ้นด้วย อีกทั้งขนาดของความจำระยะสั้น (Short term Memory Capacity) ของแต่ละคนจะแตกต่างกันตามความรู้ที่มีมาก่อน และบริบทของสถานการณ์นั้น ๆ (Jon Yablonski, 2025)

การนำกระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ โดยการใช้แบบฝึกเสริมทักษะจะช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนในการลงมือปฏิบัติ คิด วิเคราะห์ แยกแยะได้ด้วยตนเอง (ครูเชียงรายดอทเน็ต, 2562) แบบฝึกเสริมทักษะเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาทักษะในเรื่องที่เรียนรู้ให้มากขึ้น โดยอาศัยการฝึกฝนหรือปฏิบัติด้วยตนเองของผู้เรียน ลักษณะปัญหาในแบบฝึกทักษะจะเป็นปัญหาที่เสริมทักษะพื้นฐานโดยกำหนดขึ้นให้ผู้เรียนตอบเรียงลำดับจากง่ายไปยาก ปริมาณของปัญหาต้องเพียงพอที่สามารถตรวจสอบและพัฒนาทักษะ กระบวนการคิด กระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เรียนไปแล้ว เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา รวมทั้งในแบบฝึกทักษะจะทำให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียนด้วยตนเองได้ เพื่อให้เกิดทักษะ เกิดความรู้ ความเข้าใจ ความชำนาญในเนื้อหาที่ผู้เรียนได้เรียนไปในเรื่องนั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการนำความรู้ความเข้าใจของเนื้อหาและสามารถนำความรู้ไปเชื่อมโยงกับจากการเรียนให้มองเห็นภาพรวมทั้งหมดในบทเรียน ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ผู้เรียนยังขาดทักษะการรับรู้และการจดจำ ขาดการเชื่อมโยงเนื้อหา ขาดเทคนิควิธีการที่จะจำเนื้อหาไปต่อยอดความคิด ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้น

ล้วนส่งผลต่อความรู้ความเข้าใจในบทเรียนของผู้เรียน ผู้วิจัยจึงใช้แบบฝึกทักษะ และเลือกนำกระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ มาช่วยเสริมสร้างทักษะพื้นฐาน เสริมสร้างความน่าดึงดูดความสนใจของผู้เรียนให้เกิดความต้องการที่จะฝึกปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงพฤติกรรมการเรียนของผู้เรียนในปัจจุบันที่มีความสนใจในรูปแบบการเรียนใหม่ ๆ ที่สร้างความท้าทาย และความสนุกสนานได้เป็นอย่างดี โดยมีแนวคิดกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้




**ภาพที่ 1** กรอบแนวคิดการวิจัย

**2. วัตถุประสงค์การวิจัย**

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ โดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ
2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่ใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ ในรายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

1. ประเภทของการวิจัย

เป็นการวิจัยการทดลอง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนให้เกิดเป็นประโยชน์

2. ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

2.1 ประชากร ได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

2.2 กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ จำนวน 37 คน โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล การสร้างแบบทดสอบวัดผลก่อนเรียน และหลังเรียน

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา และเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย รายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง มนุษย์กับการรับรู้ (สุมณฑา เกษมวิลาศ, 2560) เนื้อหาประกอบด้วย

3.1.1 หน่วยความจำรับความรู้สึก (Sensory Memory) โดยประกอบด้วย

3.1.1.1 หน่วยความจำที่เกิดจากตัวกระตุ้นทางตา (Visual Stimuli)

3.1.1.2 หน่วยความจำที่เกิดจากตัวกระตุ้นทางหู (Aural Stimuli)

3.1.1.3 หน่วยความจำที่เกิดจากตัวกระตุ้นทางการสัมผัส (Tactile Stimuli)

3.1.2 หน่วยความจำระยะสั้น (Short term Memory : STM)

3.1.3 หน่วยความจำระยะยาว (Long term Memory : LTM)

3.1.3.1 หน่วยความจำแบบเป็นฉากเป็นตอน (Episodic Memory)

3.1.3.2 หน่วยความจำความหมาย (Semantic Memory)

3.2 สร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ ใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที เกณฑ์การให้คะแนน เมื่อตอบถูก คิดเป็น 1 คะแนน และเมื่อตอบผิด คิดเป็น 0 คะแนน

3.3 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเสนอผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบว่าแบบทดสอบหรือข้อคำถามแต่ละข้อ ตรงตามสิ่งที่ต้องการวัดเนื้อหาหรือวัตถุประสงค์การเรียนรู้มากน้อยเพียงใด โดยเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ให้คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบวัดตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดไม่ตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.4 นำแบบทดสอบที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้สูตร IOC (สมนึก ภัททิยธนี, 2551) โดยนำสื่อการสอนดังกล่าวเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบ ความสอดคล้องและความถูกต้องของเนื้อหา โดยกำหนดเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้ มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ได้ค่าความสอดคล้องเท่ากับ 0.868 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้

3.5 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้ (Try Out)

3.6 จากนั้นนำผลคะแนนจากการตรวจแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย แบ่งออกเป็น แบบทดสอบก่อนเรียน (Pretest) แบบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ และแบบทดสอบหลังเรียน (Posttest) แบบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ

5. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

5.1 กลุ่มเป้าหมายตอบแบบทดสอบก่อนเรียน (Pretest) แบบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ ใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที

5.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบฝึกทักษะ

5.3 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน (Posttest) แบบปรนัยชนิดเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ ใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที

5.4 ประเมินความพึงพอใจในข้อคิดเห็นในการจัดการเรียนรู้แบบฝึกทักษะ รายวิชาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง มนุษย์กับการรับรู้ โดยวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามตอนที่ 2 แบบสอบถามชนิด rating scale 5 ระดับ และตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

5.5 สรุปผลการวิจัยจากข้อมูลที่รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปตารางประกอบคำอธิบาย โดยแบ่งเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูล (บุญชม ศรีสะอาด, 2553) ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

| ค่าเฉลี่ย | หมายความว่า |
|---|---|
| 4.51-5.00 | มากที่สุด |
| 3.51-4.50 | มาก |
| 2.51-3.50 | ปานกลาง |
| 1.51-2.50 | น้อย |
| 1.00-1.50 | น้อยที่สุด |

**4. ผลการวิจัย**

ผู้วิจัยได้ใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วย หน่วยความจำรับความรู้สึก (Sensory Memory) หน่วยความจำระยะสั้น (Short term Memory : STM) และ หน่วยความจำระยะยาว (Long term Memory : LTM)

ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าแบบฝึกเสริมทักษะมีผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนเพราะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจดจำตามกฎของมิลเลอร์ ซึ่งเป็นรูปแบบการจดจำที่ง่าย และสามารถออกแบบให้มีความน่าสนใจ มีสีสันน่าดึงดูดสายตา โดยมีตัวอย่างแบบฝึกเสริมทักษะการจำข้อมูล ดังต่อไปนี้ 1. ฝึกความสามารถในการจัดกลุ่มข้อมูล (Chunking) 2. ฝึกความจำใช้งาน (Working Memory) โดยฟังจากการอ่านแล้วจัดข้อมูลอย่างเหมาะสม เช่น จัดเป็นกลุ่มหรือวาดภาพ และ 3. ลดภาระทางปัญญา (Cognitive Load) โดยดูจากภาพแล้วจัดข้อมูลอย่างเหมาะสม เช่น จัดเป็นหมวดหรือรูปร่างรูปทรง ดังภาพที่ 2 ถึง ภาพที่ 4

**ภาพที่ 2** การจัดกลุ่มข้อมูล (Chunking)

**ภาพที่ 3** ฝึกความจำใช้งาน (Working Memory)

**ภาพที่ 4** ลดภาระทางปัญญา (Cognitive Load)

หลังจากที่ผู้เรียนได้ใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ เสร็จสิ้นแล้ว จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 37 คน โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ตอนที่ 2 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนและค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้เรียน และตอนที่ 3 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ ในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย รายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

| ลำดับ | รายชื่อผู้เรียน | ก่อนเรียน (เต็ม 15) | หลังเรียน ((เต็ม 15) | ลำดับ | รายชื่อผู้เรียน | ก่อนเรียน (เต็ม 15) | หลังเรียน ((เต็ม 15) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | นักศึกษาคนที่ 1 | 7 | 10 | 20 | นักศึกษาคนที่ 20 | 6 | 10 |
| 2 | นักศึกษาคนที่ 2 | 6 | 8 | 21 | นักศึกษาคนที่ 21 | 7 | 12 |
| 3 | นักศึกษาคนที่ 3 | 7 | 9 | 22 | นักศึกษาคนที่ 22 | 6 | 11 |
| 4 | นักศึกษาคนที่ 4 | 6 | 10 | 23 | นักศึกษาคนที่ 23 | 7 | 13 |
| 5 | นักศึกษาคนที่ 5 | 5 | 9 | 24 | นักศึกษาคนที่ 24 | 6 | 12 |
| 6 | นักศึกษาคนที่ 6 | 5 | 10 | 25 | นักศึกษาคนที่ 25 | 5 | 11 |
| 7 | นักศึกษาคนที่ 7 | 6 | 11 | 26 | นักศึกษาคนที่ 26 | 5 | 12 |
| 8 | นักศึกษาคนที่ 8 | 7 | 11 | 27 | นักศึกษาคนที่ 27 | 7 | 12 |
| 9 | นักศึกษาคนที่ 9 | 8 | 12 | 28 | นักศึกษาคนที่ 28 | 8 | 13 |
| 10 | นักศึกษาคนที่ 10 | 6 | 10 | 29 | นักศึกษาคนที่ 29 | 7 | 12 |
| 11 | นักศึกษาคนที่ 11 | 7 | 10 | 30 | นักศึกษาคนที่ 30 | 8 | 12 |
| 12 | นักศึกษาคนที่ 12 | 9 | 12 | 31 | นักศึกษาคนที่ 31 | 9 | 14 |

| ลำดับ | รายชื่อผู้เรียน | ก่อนเรียน (เต็ม 15) | หลังเรียน ((เต็ม 15) | ลำดับ | รายชื่อผู้เรียน | ก่อนเรียน (เต็ม 15) | หลังเรียน ((เต็ม 15) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | นักศึกษาคนที่ 13 | 5 | 9 | 32 | นักศึกษาคนที่ 32 | 9 | 13 |
| 14 | นักศึกษาคนที่ 14 | 5 | 10 | 33 | นักศึกษาคนที่ 33 | 8 | 13 |
| 15 | นักศึกษาคนที่ 15 | 6 | 11 | 34 | นักศึกษาคนที่ 34 | 7 | 12 |
| 16 | นักศึกษาคนที่ 16 | 5 | 11 | 35 | นักศึกษาคนที่ 35 | 7 | 12 |
| 17 | นักศึกษาคนที่ 17 | 7 | 12 | 36 | นักศึกษาคนที่ 36 | 8 | 13 |
| 18 | นักศึกษาคนที่ 18 | 6 | 10 | 37 | นักศึกษาคนที่ 37 | 9 | 13 |
| 19 | นักศึกษาคนที่ 19 | 6 | 10 | | | | |
| | **ผลรวม** | | | **248 (ก่อนเรียน)** | | **415 (หลังเรียน)** | |
| | **ร้อยละ** | | | **44.685 (ก่อนเรียน)** | | **74.775 (หลังเรียน)** | |

จากตารางที่ 1 พบว่า นักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ ในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ จำนวน 37 คน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ทางการเรียนก่อนเรียน 6.703 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ที่ 1.244 คิดเป็นร้อยละ 44.685 และค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ทางการเรียนหลังเรียน 11.216 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ที่ 1.417 คิดเป็นร้อยละ 74.775

**ตารางที่ 2** แสดงค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

| เรื่อง | ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน | | ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน | | t | p |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | S.D | $\bar{x}$ | S.D | | |
| ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย | 6.703 | 1.244 | 11.216 | 1.417 | -25.650 | 0.000* |

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ โดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ตารางที่ 3** สรุปการประเมินแบบสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีต่อการใช้แบบฝึกเสริมทักษะ

| รายการประเมิน | $\bar{x}$ | S.D. | แปลความหมาย |
|---|---|---|---|
| 1. เนื้อหาในแบบฝึกทักษะมีความน่าสนใจและกระตุ้นการเรียนรู้ | 4.51 | 0.51 | มากที่สุด |
| 2. เนื้อหาในแบบฝึกทักษะมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย | 4.62 | 0.49 | มากที่สุด |
| 3. แบบฝึกทักษะมีการใช้ภาษาที่เหมาะสมกับระดับความรู้และความเข้าใจของผู้เรียน | 4.65 | 0.48 | มากที่สุด |
| 4. แบบฝึกทักษะช่วยส่งเสริมความรู้และทักษะที่สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน | 4.54 | 0.51 | มากที่สุด |
| 5. แบบฝึกทักษะช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ | 4.46 | 0.51 | มาก |
| 6. รูปแบบของแบบฝึกทักษะมีความเหมาะสมและดึงดูดความสนใจ | 4.54 | 0.51 | มากที่สุด |
| 7. แบบฝึกทักษะใช้งานง่ายและสะดวกต่อการทำความเข้าใจ | 4.46 | 0.51 | มาก |
| 8. การจัดลำดับขั้นตอนของกิจกรรมในแบบฝึกทักษะมีความเหมาะสม | 4.57 | 0.50 | มากที่สุด |
| 9. รูปแบบของแบบฝึกทักษะส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง | 4.51 | 0.51 | มากที่สุด |
| 10. แบบฝึกทักษะช่วยให้ผู้เรียนมีความสนุกสนานและกระตือรือร้นในการเรียนรู้ | 4.68 | 0.47 | มากที่สุด |
| 11. ความพึงพอใจโดยรวมต่อแบบฝึกทักษะ | 4.59 | 0.50 | มากที่สุด |
| **รวม** | **4.56** | **0.50** | **มากที่สุด** |

จากตารางที่ 3 พบว่า ภาพรวมระดับความพึงพอใจของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีต่อการใช้แบบฝึกเสริมทักษะ อยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.56 S.D. = 0.50) แยกเป็นรายด้าน 3 อันดับแรก ได้แก่ แบบฝึกทักษะช่วยให้ผู้เรียนมีความสนุกสนานและกระตือรือร้นในการเรียนรู้ ($\bar{x}$ = 4.68 S.D. = 0.47) อยู่ในความพึงพอใจระดับมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ แบบฝึกทักษะมีการใช้ภาษาที่เหมาะสมกับระดับความรู้และความเข้าใจของผู้เรียน ($\bar{x}$ = 4.65 S.D. = 0.48) และเนื้อหาในแบบฝึกทักษะมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย ($\bar{x}$ = 4.62 S.D. = 0.49) อยู่ในความพึงพอใจระดับมากที่สุด ตามลำดับ

## 5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง ผลการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ โดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง

หน่วยความจำของมนุษย์ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับการวิจัยของ อังคาร สุริยนต์ (2563) วิจัยเรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนวัดอุเบกขาราม พบว่า งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลังและให้นักเรียนหาเลขยกกำลังได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนวัดอุเบกขาราม ในรายวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง เลขยกกำลัง จำนวน 11 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบฝึกเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้ เรื่อง เลขยกกำลัง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าประสิทธิภาพของแบบฝึก เรื่อง เลขยกกำลังของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลการวิจัย พบว่า ในการใช้แบบฝึกดังกล่าวทำให้ผู้เรียนได้ทบทวนและเสริมทักษะและนักเรียนมีความสนใจ ไม่เบื่อหน่ายต่อการเรียน ส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจในบทเรียน และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นจากการทดสอบก่อนเรียน นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 32.73 หลังจากที่นักเรียนได้ใช้แบบฝึกเสริมทักษะนักเรียนมีทักษะการคิดคำนวณมากขึ้นเมื่อมาถึงทดสอบหลังเรียน ซึ่งเป็นครั้งสุดท้าย นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ร้อยละ 56.97 ซึ่งเป็นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น

2. ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ ในรายวิชา การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ อยู่ในระดับมากที่สุด แยกเป็นรายด้าน 3 อันดับแรก ได้แก่ แบบฝึกทักษะช่วยให้ผู้เรียนมีความสนุกสนานและกระตือรือร้นในการเรียนรู้ แบบฝึกทักษะมีการใช้ภาษาที่เหมาะสมกับระดับความรู้และความเข้าใจของผู้เรียน และเนื้อหาในแบบฝึกทักษะมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้ง สอดคล้องกับการวิจัยของ มยุรา ศรีส่อง (2564) วิจัยเรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ LT เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่า งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาแบบฝึกทักษะ 2) เพื่อหาดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ LT 3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 4) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์กลุ่มสาระ การเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 14 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ แบบฝึกทักษะ เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์จำนวน 12 เล่ม แผนการจัดการเรียนรู้ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ LT เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ จำนวน 12 แผน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ เป็นแบบทดสอบแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ แบบวัดความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ จำนวน10 ข้อ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าที่ผลการศึกษาพบว่า 1) ประสิทธิภาพของแบบฝึกทักษะ เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.92/81.43 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 2) ค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ LT เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ มีค่าเท่ากับ 0.6303 หมายความว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนคิดเป็นร้อยละ 63.03

**ข้อเสนอแนะ**

จากการวิจัยเรื่อง ผลการใช้แบบฝึกเสริมทักษะเพื่อพัฒนากระบวนการรับรู้และการจดจำข้อมูลของมนุษย์ ตามกฎของมิลเลอร์ เรื่อง หน่วยความจำของมนุษย์ สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย มีข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้และข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

สามารถนำเทคนิคกฎของมิลเลอร์ ไปใช้เป็นสื่อการสอนสามารถประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่น ๆ เพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นได้

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

อาจนำเทคนิคการใช้แบบฝึกเสริมทักษะ ประยุกต์ใช้ตามกฎหรือโมเดลต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหาและการเรียนของผู้เรียนที่มีผลลัพธ์แตกต่างกัน หรือมีการแบ่งกลุ่มการเรียนตามระดับอ่อน ปานกลาง เก่ง เป็นต้น

**6. เอกสารอ้างอิง**

ครูเชียงรายดอทเน็ต.(2562). *ความหมายของแบบฝึกเสริมทักษะ.* ค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2567. https://www.kruchiangrai.net/2019/11/17/แบบฝึกเสริมทักษะ/

บุญชม ศรีสะอาด. (2553). *การวิจัยเบื้องต้น.* พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

มยุรา ศรีส่อง. (2564). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือ LT เรื่อง การเขียนเชิงสร้างสรรค์ กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทยชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น ปีที่ 7* ฉบับที่ 9 เดือนกันยายน 2564 : 303-314.

สมนึก ภัททิยธนี. (2551). *การวัดผลการศึกษา.* (พิมพ์ครั้งที่5). กาฬสินธุ์: ประสารการพิมพ์.

*สร้างสื่อการสอนให้เป็นเกมสนุกๆ ด้วย Genially.* (2564). สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2566, https://inskru.com/idea/-MTlpYqtZBdLbNBd9fWP

สุมณฑา เกษมวิลาศ. (2560). *การโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์.* พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อังคาร สุริยนต์. (2563). *การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้แบบฝึกเสริมทักษะ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนวัดอุเบกขาราม.* สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2567, https://www.fth1.com/uppic/62103295/news/ 62103295_1_20200915-125040.pdf

Jon Yablonski. (2025). *Laws of UX ออกแบบ Digital Products ที่ผู้ใช้หลงรักด้วยหลักจิตวิทยา Edition 1.* นนทบุรี : ไอดีซีฯ.

# การปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ (BPM)

# Improvement of the Leave Process in the Provincial Waterworks Authority Using (BPM)

**วิยาภรณ์ ปรีชากร[1]*, ชุติมา พิศาลย์[1]**

**Wiyaporn Preechakorn[1]*, Chutima Pisarn[1]**

[1]วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[1]College of Digital Innovation Technology Rangsit University

*E-Mail: wiyaporn.p63@rsu.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ Business Process Management (BPM) ร่วมกับเทคนิค Business Process Model and Notation (BPMN) และโปรแกรม Bizagi ในการออกแบบและจำลองกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การวิจัยแบบเชิงประยุกต์ โดยใช้การสัมภาษณ์ การสังเกตการณ์ และแบบสอบถาม เพื่อการออกแบบจำลองกระบวนการใหม่ (To-Be) และเปรียบเทียบกับกระบวนการเดิม (As-Is) ในด้านระยะเวลา การใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง และความพึงพอใจ ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองกระบวนการใหม่ ช่วยลดระยะเวลารวมในการดำเนินการจาก 17 วัน เหลือ 2 วัน (ลดลงประมาณ 86%) รวมทั้งลดข้อผิดพลาดและลดปริมาณการใช้เอกสารกระดาษอย่างสิ้นเชิง ด้วยการปรับเปลี่ยนสู่ระบบออนไลน์ทุกขั้นตอน นอกจากนี้ผลประเมินจากผู้บริหารสายงานดิจิทัลที่มีบทบาทสนับสนุนการบริหารทรัพยากรบุคคลจำนวน 9 คน พบว่ามีระดับความพึงพอใจโดยรวมต่อแบบจำลองอยู่ในระดับ ดีมาก (เฉลี่ย 4.67 คะแนน) ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ BPMN ร่วมกับโปรแกรม Bizagi มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มความคล่องตัว ลดภาระงานของหน่วยงานได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังสามารถขยายผลสู่กระบวนการอื่นภายในองค์กร หรือหน่วยงานภาครัฐที่มีลักษณะงานใกล้เคียงกันได้อย่างเหมาะสม

**คำสำคัญ:** การจัดการกระบวนการธุรกิจ ปรับปรุงกระบวนการลา แบบจำลองกระบวนการธุรกิจ (BPMN) โปรแกรม Bizagi

**Abstract**

This research aimed to enhance the leave process of the Provincial Waterworks Authority (PWA) by adopting a Business Process Management (BPM) approach combined with Business Process Model and Notation (BPMN) and Bizagi software to design and simulate a more efficient workflow. Using an applied research methodology that incorporated interviews, observations, and questionnaires, a redesigned process (To-Be) was developed and evaluated against the current process (As-Is) in terms of processing time, resource consumption, and user satisfaction. The redesigned process reduced the total processing time from 17 days to 2 days (an approximate 86% reduction), completely eliminated paper-based documentation through full digitization, and minimized errors. An evaluation by nine digital line managers responsible for human resource management reported a very high satisfaction level, with an average score of 4.67. These findings demonstrate that integrating BPMN with Bizagi software can substantially improve efficiency, enhance organizational agility, and reduce workload, and that the approach holds strong potential for application to other processes within the organization or adaptation for similar government agencies.

**Keywords:** Business Process Management, Leave Process Improvement, BPMN, Bizagi

## 1. บทนำ

กระบวนการจัดการด้านการลาของพนักงานเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารทรัพยากรบุคคลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพขององค์กร ทั้งในด้านการบริหารกำลังคน การจัดการข้อมูลการลาให้ถูกต้อง รวมทั้งลดภาระงานและต้นทุนที่ไม่จำเป็น โดยเฉพาะในหน่วยงานขนาดใหญ่ที่มีบุคลากรจำนวนมากและกระจายอยู่ในหลายพื้นที่ ระบบที่ไม่ชัดเจนหรือขาดประสิทธิภาพ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการดำเนินงาน และส่งผลต่อภาพรวมขององค์กร การบริหารทรัพยากรมนุษย์ที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถจัดการงานได้อย่างราบรื่น ลดข้อผิดพลาด เพิ่มความโปร่งใสในการดำเนินงานขององค์กร (วิชุดา สร้อยสุด และคณะ, 2564)

แนวโน้มการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลได้กลายเป็นทิศทางสำคัญของหลายองค์กรในการเพิ่มความคล่องตัวและลดความซ้ำซ้อนในกระบวนการทำงาน ขณะเดียวกันกระบวนการจัดด้านการลาของหลายองค์กรยังคงไว้ซึ่งรูปแบบเดิมที่เน้นการจัดการด้วยเอกสารและระบบที่ไม่เชื่อมโยงกัน ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุของความล่าช้าและข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน (Dumas et al., 2018) เช่นเดียวกับการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) ซึ่งเป็นองค์กรขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเชิงโครงสร้างที่ซับซ้อน มีสาขากระจายทั่วประเทศรวม 234 แห่ง และมีบุคลากรรวมกว่า 9,000 คน ยังคงใช้ระบบการลางานแบบเดิมที่พึ่งพาแบบฟอร์มกระดาษ และการบันทึกข้อมูลลง Template ของระบบ SAP ที่ใช้งานต่อเนื่องมากว่า 15 ปี กระบวนการทำงานดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดหลายด้าน ทั้งความล่าช้าในการดำเนินงาน การตรวจสอบข้อผิดพลาด และการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลืองอย่างกระดาษในปริมาณมาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวทางการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลขององค์กร (การประปาส่วนภูมิภาค, 2568)

การเลือกประยุกต์ใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ (Business Process Management: BPM) ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้องค์กรสามารถเข้าใจภาพรวมของกระบวนการ วิเคราะห์ข้อจำกัดต่าง ๆ และออกแบบกระบวนการใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Putra & Mahendrawathi, 2024) โดยใช้ Business Process Model and Notation (BPMN) ซึ่งเป็นภาษามาตรฐานตามข้อกำหนดของ Object Management Group (2014) ร่วมกับโปรแกรม Bizagi Modeler ที่รองรับ BPMN 2.0 สำหรับ

การจำลองและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Bizagi, 2020) จากงานวิจัยของ (อรอนงค์ อุดมวงศ์, 2557) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการทำงานของสำนักหอสมุดกลาง พบว่าการนำ BPM และ BPMN มาประยุกต์ใช้ช่วยลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน เพิ่มความรวดเร็ว และยกระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการได้อย่างเป็นรูปธรรม เช่นเดียวกับงานของ (ชนะชล จรรยาพรวัฒน์ และ ปราลี มณีรัตน์, 2563) ได้ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ Bizagi เพื่อจำลองและวิเคราะห์กระบวนการจ่ายเงินเดือน ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงาน เพิ่มความโปร่งใส และประสิทธิภาพของระบบงานได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนงานวิจัยก่อนหน้า ยังไม่พบการประยุกต์ใช้แนวคิด BPM ร่วมกับ BPMN และโปรแกรม Bizagi ในการปรับปรุงกระบวนการลางานของรัฐวิสาหกิจโดยตรง โดยเฉพาะในองค์กรขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและสาขากระจายทั่วประเทศ ข้อจำกัดดังกล่าวนับเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความล่าช้า ความซ้ำซ้อน และข้อผิดพลาดในการดำเนินงาน

งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยประยุกต์ใช้แนวคิด BPM ร่วมกับ BPMN และโปรแกรม Bizagi เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเดิม (As-Is) และกระบวนการใหม่ (To-Be) ในด้านระยะเวลาดำเนินงาน ความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลืองอย่างกระดาษ และความพึงพอใจต่อแบบจำลองกระบวนการใหม่ ตลอดจนรองรับแนวทาง Green Office สนับสนุนนโยบายการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับการพัฒนาองค์กรด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างยั่งยืน

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์กระบวนการลางานเดิมของการประปาส่วนภูมิภาค และระบุปัญหาที่เกิดขึ้น

2.2 เพื่อออกแบบและจำลองกระบวนการลางานใหม่โดยใช้ BPMN ร่วมกับ Bizagi Modeler และประเมินผล

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

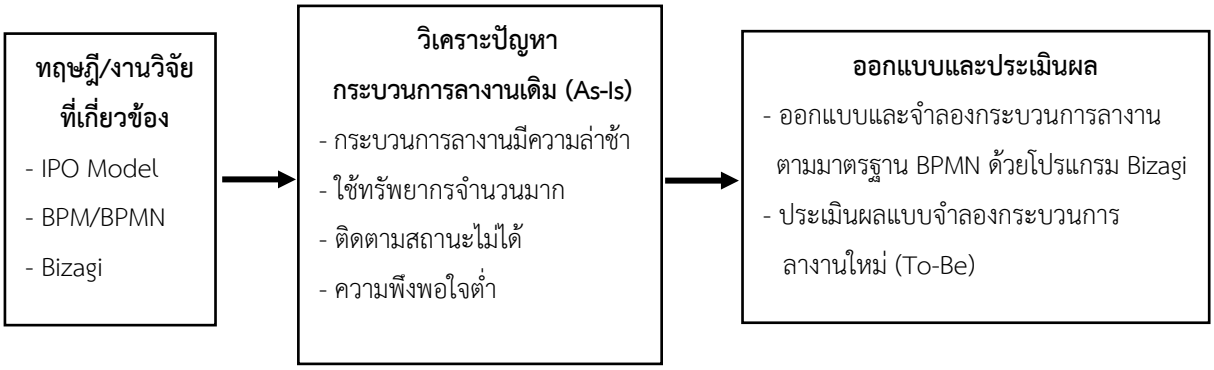
การวิจัยนี้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ Business Process Management (BPM) ร่วมกับ Business Process Model and Notation (BPMN) และโปรแกรม Bizagi Modeler เพื่อสร้างแบบจำลอง วิเคราะห์ และประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมของกระบวนการลางาน โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งด้านการจัดการกระบวนการธุรกิจ BPM การออกแบบด้วย BPMN และการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Bizagi พร้อมเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการลางานเดิม (As-Is) จากการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องและสังเกตการณ์ เพื่อวิเคราะห์ปัญหา จุดอ่อน และข้อจำกัดด้านต่าง ๆ ของกระบวนการลางานเดิม

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการลางานตามมาตรฐาน BPMN โดยใช้โปรแกรม Bizagi ในการจำลองกระบวนการ เพื่อถ่ายทอดภาพรวมของขั้นตอนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลางาน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างกระบวนการเดิม (As-Is) กับกระบวนการใหม่ (To-Be) และวิเคราะห์ผลตามแนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ Business Process Management (BPM) ร่วมกับ Business Process Model and Notation (BPMN)

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินแบบจำลองกระบวนการใหม่ (To-Be) โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ จากผู้บริหารสายงานดิจิทัลที่มีบทบาทในการสนับสนุนการบริหารและพัฒนาทรัพยากรบุคคลของ กปภ. จำนวน 9 คน

3.1 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง




**ภาพที่ 1** กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บุคลากรสายงานดิจิทัลและสารสนเทศของการประปาส่วนภูมิภาค ตั้งแต่ระดับหัวหน้าขึ้นไป จำนวน 35 คน โดยผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จากกลุ่มประชากรทั้งหมดที่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการบริหารและพัฒนาทรัพยากรบุคคลของการประปาส่วนภูมิภาค จำนวน 9 คน ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและประเมินผลกระบวนการลางาน

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. เก็บข้อมูลจากกระบวนการลางานเดิม (As-Is) โดยการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน เช่น พนักงาน ผู้บังคับบัญชา ฝ่ายอำนวยการ ธุรการ และผู้บริหาร

2. ออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเดิม (As-Is) กับ กระบวนการใหม่ (To-Be)

3. เก็บข้อมูลความพึงพอใจและประสิทธิภาพ โดยใช้แบบสอบถามการประเมินความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินแบบจำลองกระบวนการลางานใหม่ (To-Be)

3.4 การสร้างเครื่องมือ และตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือในการวิจัย โดยอ้างอิงทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ศึกษา พร้อมทั้งปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระเพื่อพิจารณาและปรับแก้ไขให้มีความถูกต้อง ชัดเจน และให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสมและครอบคลุมของเนื้อหา (Content Validity) ก่อนนำไปใช้เก็บข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

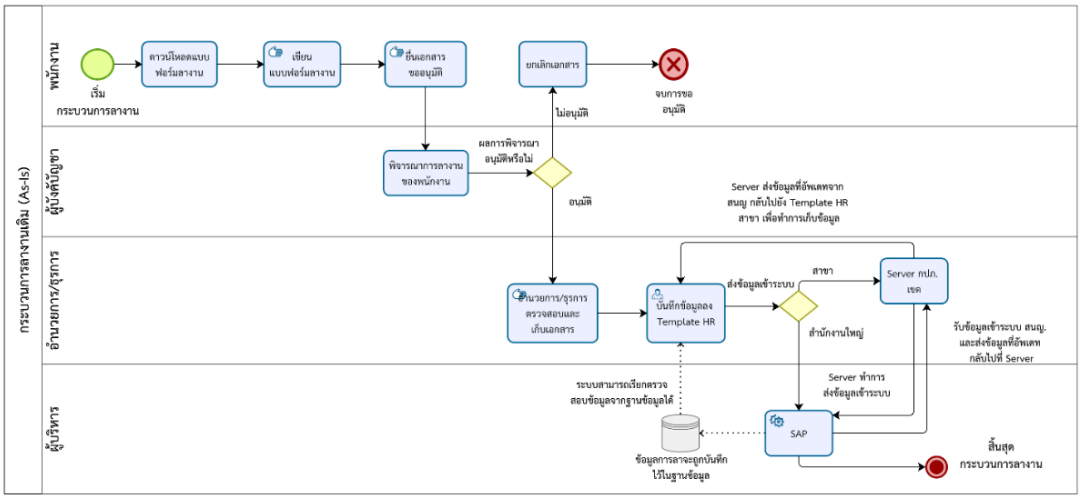
การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลจากกการจำลองกระบวนการเดิม (As-Is) และ กระบวนการใหม่ (To-Be) โดยใช้โปรแกรม Bizagi เพื่อเปรียบเทียบในด้านระยะเวลาการดำเนินงาน และการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลืองอย่างกระดาษ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ จากคะแนนประเมินความพึงพอใจโดยใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย

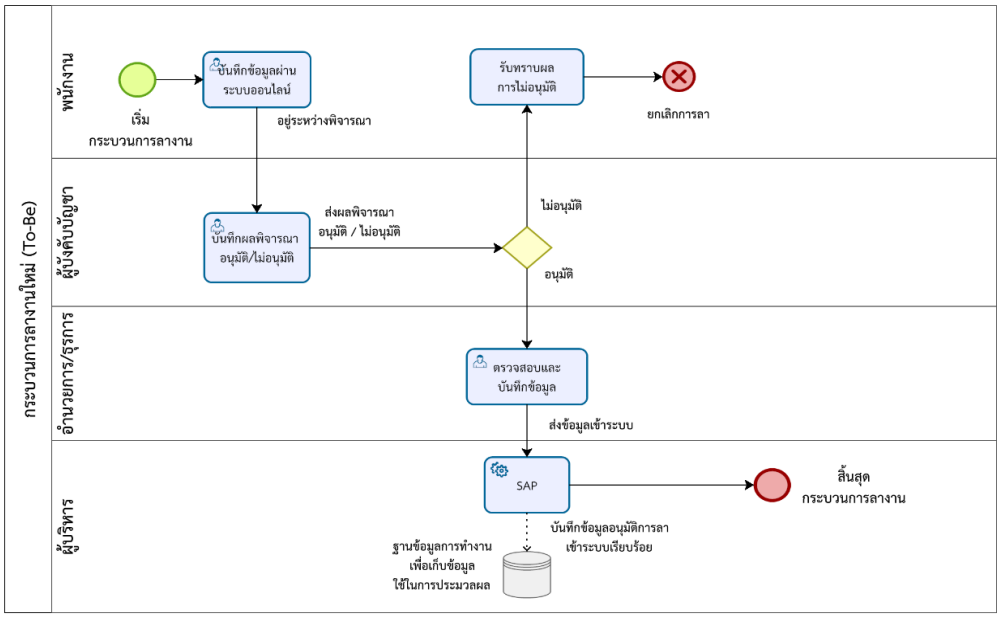
## 4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์แบบจำลองกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้โปรแกรม Bizagi Modeler ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการลางานเดิม (As-Is) ดังแสดงในภาพที่ 2 และกระบวนการลางานใหม่ (To-Be) ดังแสดงในภาพที่ 3




**ภาพที่ 2** แบบจำลองกระบวนการลางานเดิม (As-Is)

ภาพที่ 2 แสดงแบบจำลองกระบวนการลางานเดิม (As-Is) ของพนักงาน กปภ. โดยเริ่มจากพนักงานกรอกแบบฟอร์มกระดาษเพื่อขอลางานและเสนอผู้บังคับบัญชาพิจารณาอนุมัติ หากอนุมัติแล้วจึงส่งให้ฝ่ายอำนวยการหรือธุรการ เพื่อรอเวลาบันทึกข้อมูลลงใน Template ของระบบ SAP ซึ่งจะสามารถดำเนินการได้เมื่อระบบปิดรอบการนำเข้าข้อมูล




**ภาพที่ 3** แบบจำลองกระบวนการลางานใหม่ (To-Be)

ภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองกระบวนการลางานใหม่ (To-Be ) ที่ปรับปรุงจากปัญหาของกระบวนการลางานเดิม (As-Is) ในภาพที่ 2 โดยเปลี่ยนจากการใช้แบบฟอร์มเอกสารกระดาษเป็นระบบออนไลน์ทั้งหมด ทำให้สามารถดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว บันทึกข้อมูลผ่านระบบได้แบบเรียลไทม์ ลดภาระงานของผู้เกี่ยวข้อง และยกเลิกการใช้เอกสารกระดาษทั้งหมด

จากนั้นจึงทำการจำลองการทำงานของกระบวนการลางาน ด้วยโปรแกรม Bizagi Modeler เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการในด้านระยะเวลาดำเนินงานของแต่ละกิจกรรม และความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรกระดาษ ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้งานของทรัพยากรบุคคล ระหว่างกระบวนการลางานเดิม (As-Is) และกระบวนการลางานใหม่ (To-Be)

| ประเภททรัพยากร | As-Is: สัดส่วนการใช้งาน (%) | To-Be: สัดส่วนการใช้งาน (%) | การเปลี่ยนแปลง(%) |
|---|---|---|---|
| พนักงาน | 46.30% | 10.79 % | -35.51% |
| ผู้บังคับบัญชา | 89.46% | 17.02 % | -72.44% |
| ธุรการ/อำนวยการ | 99.25% | 12.50 % | -86.75% |

หมายเหตุ : สัดส่วนการใช้งาน หมายถึงปริมาณภาระงานของแต่ละบทบาทและกิจกรรมจากผลการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม Bizagi ตามลำดับ

**ตารางที่ 2** ผลวิเคราะห์จากการจำลองระยะเวลาดำเนินงานและเวลารอคอยของกิจกรรมในกระบวนการลางานเดิม (As-Is)

| กิจกรรม | เวลาน้อยที่สุด (Min.) | เวลามากที่สุด (Max.) | เวลาเฉลี่ย (Avg.) | เวลาเฉลี่ยรอ (Avg.time waiting) |
|---|---|---|---|---|
| เขียนแบบฟอร์มลางาน | 30 นาที | 6 วัน 8 ชม. 15 นาที | 4 วัน 15 ชม. 31 นาที | 1 วัน 9 ชม. 4 นาที |
| ยื่นเอกสารขออนุมัติ | 3 ชม. 15 นาที | 6 วัน 8 ชม. 10 นาที | 4 วัน 15 ชม. 26 นาที | 1 วัน 1 ชม. 8 นาที |
| พิจารณาการลางานของพนักงาน | 57 นาที | 18 วัน 6 ชม. 28 นาที | 7 วัน 23 นาที | 5 วัน 18 ชม. 29 นาที |
| บันทึกข้อมูลลง Template HR | 6 วัน 23 ชม. 30 นาที | 22 วัน 14 ชม. 48 นาที | 13 วัน 2 ชม. 4 นาที | 8 วัน 16 ชม. 29 นาที |
| **ระยะเวลาดำเนินการทั้งหมด** | **4 วัน 11ชม. 4นาที** | **29 วัน 14 ชม. 43นาที** | **17 วัน 15 ชม. 52 นาที** | **13 วัน 22 ชม. 45 นาที** |

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์จากการจำลอง (Simulation) โดยกำหนดให้ทำงานทีละรายการ (Case Arrival Time) ไม่ทำงานซ้อนกัน จำนวน 1,000 รายการ (instances)

**ตารางที่ 3** ผลวิเคราะห์จากการจำลองระยะเวลาดำเนินงานและเวลารอคอยของกิจกรรมในกระบวนการลางานใหม่ (To-Be)

| กิจกรรม | เวลาน้อยที่สุด (Min.) | เวลามากที่สุด (Max.) | เวลาเฉลี่ย (Avg.) | เวลาเฉลี่ยรอ (Avg.time waiting) |
|---|---|---|---|---|
| บันทึกข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ | 4 นาที | 2 วัน 13 ชม. 2 นาที | 1 วัน 6 ชม. 31 นาที | 17 ชม. 35 นาที |
| บันทึกผลพิจารณา | 6 นาที | 1 วัน 20 ชม. 55 นาที | 22 ชม. 29 นาที | 13 ชม. 1 นาที |
| ตรวจสอบและบันทึกข้อมูล | 4 นาที | 8 นาที | 6 นาที | 0 นาที |
| **ระยะเวลาดำเนินการทั้งหมด** | **19 นาที** | **4 วัน 10 ชม. 5 นาที** | **2 วัน 10 ชม. 39 นาที** | **1 วัน 13 ชม. 53 นาที** |

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์จากการจำลอง (Simulation) โดยกำหนดให้ทำงานทีละรายการ (Case Arrival Time) ไม่ทำงานซ้อนกัน จำนวน 1,000 รายการ (instances)

จากการจำลองกระบวนการลางานด้วยโปรแกรม Bizagi Modeler เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการเดิม (As-Is) และกระบวนการใหม่ (To-Be) ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำเสนอในรูปแบบตาราง 3 ตาราง ซึ่งครอบคลุมประเด็นด้านการใช้ทรัพยากรบุคคล ระยะเวลาดำเนินงาน และเวลารอคอยกิจกรรมแต่ละขั้นตอน โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์และรายละเอียดของแต่ละตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบสัดส่วนภาระงานของบุคลากรในแต่ละบทบาท ระหว่างกระบวนการลางานเดิม (As-Is) และกระบวนการลางานใหม่ (To-Be) พบว่ากระบวนการเดิมมีภาระงานหนักสุดอยู่ที่ฝ่ายธุรการ/อำนวยการ รองลงมาคือผู้บังคับบัญชาและพนักงานตามลำดับ ขณะที่กระบวนการใหม่สามารถลดภาระงานของบุคลากรในทุกบทบาทได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะฝ่ายธุรการ/อำนวยการ ที่ลดลงได้ถึง 86.75% สะท้อนถึงความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบงานอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพ ลดความซ้ำซ้อน และสนับสนุนนโยบาย Green Office ได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการลางานเดิม (As-Is) มีระยะเวลาดำเนินงานเฉลี่ยรวม 17 วัน 15 ชั่วโมง 52 นาที โดยกิจกรรมที่ใช้เวลามากที่สุดคือการบันทึกข้อมูลลง Template HR และมีเวลารอคอยรวมเฉลี่ย 13 วัน 22 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กระบวนการล่าช้า

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการลางานใหม่ (To-Be) ใช้ระยะเวลาดำเนินงานเฉลี่ยเพียง 2 วัน 10 ชั่วโมง 39 นาที และมีเวลารอคอยเฉลี่ยรวมแค่ 1 วัน 13 ชั่วโมง 53 นาที โดยกิจกรรมหลักดำเนินการผ่านระบบออนไลน์ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาจากกระบวนการเดิมได้อย่างชัดเจน

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการลางานในรูปแบบใหม่ (To-Be) ที่ได้รับการออกแบบและปรับปรุงตามแนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ (BPM) ช่วยลดการใช้ทรัพยากรบุคคล ระยะเวลาดำเนินงาน และเพิ่มความคล่องตัวในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองและผลการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองกระบวนการลางานใหม่ (To-Be) ที่ใช้โปรแกรม Bizagi โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 9 คน ซึ่งคัดเลือกโดยวิธีเฉพาะเจาะจงจากผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการบริหารและพัฒนาทรัพยากรบุคคลในสายงานดิจิทัลและสารสนเทศของการประปาส่วนภูมิภาค ทำการประเมินโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น ผลการประเมินพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจโดยรวมต่อแบบจำลองอยู่ในระดับ “ดีมาก” โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.67

สะท้อนว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการในการปรับปรุงกระบวนการลางานภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความพึงพอใจแบบจำลองกระบวนการลางานใหม่ (To-Be)

| รายการประเมิน | ค่าเฉลี่ย | ระดับ |
|---|---|---|
| แบบจำลองนี้มีเนื้อหาและข้อมูลในกระบวนการลาครบถ้วน | 4.56 | ดีมาก |
| แบบจำลองนี้มีขั้นตอนและกระบวนการลางานครบถ้วน ถูกต้อง และชัดเจน | 4.44 | ดี |
| แบบจำลองนี้สามารถลดขั้นตอนและกระบวนการลาได้ | 4.78 | ดีมาก |
| แบบจำลองนี้สามารถลดการใช้ทรัพยากรในองค์กรได้ | 4.78 | ดีมาก |
| แบบจำลองนี้มีความสะดวกทุกขั้นตอน | 4.67 | ดีมาก |
| แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมกับรูปแบบการทำงานในหน่วยงานของท่าน | 4.56 | ดีมาก |
| ความพึงพอใจโดยรวมต่อแบบจำลองกระบวนการลางานนี้ | 4.67 | ดีมาก |

หมายเหตุ : ข้อมูลจากการประเมินแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ 9 คน ซึ่งคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงจากผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการบริหารและพัฒนาทรัพยากรบุคคลในสายงานดิจิทัลและสารสนเทศของการประปาส่วนภูมิภาค

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากผลการวิจัยพบว่า การดำเนินงานตามกระบวนการลางานแบบเดิม (As-Is) ของการประปาส่วนภูมิภาค มีปัญหาหลักด้านความล่าช้า การใช้ทรัพยากรสิ้นเปลืองอย่างแบบฟอร์มกระดาษโดยไม่จำเป็น และภาระงานที่ไม่สมดุล โดยใช้เวลาดำเนินการเฉลี่ยนานถึง 17 วัน 15 ชั่วโมง 52 นาที กิจกรรมที่ใช้เวลามากที่สุดคือ การบันทึกข้อมูลลงใน Template HR และยังต้องใช้เวลารอคอยเพื่อให้ระบบเปิดบันทึกข้อมูลนานถึง 13 วัน 22 ชั่วโมง 45 นาที สะท้อนถึงความไม่เชื่อมโยงกันระหว่างการจัดการข้อมูลและระบบสารสนเทศภายในองค์กร ซึ่งเป็นการดำเนินงานในรูปแบบพึ่งพาเอกสารกระดาษและแรงงานคนเป็นหลัก โดยภาระงานส่วนใหญ่จะอยู่ที่ฝ่ายธุรการ/อำนวยการ ซึ่งสอดคล้องกับ Dumas et al. (2018) ได้ศึกษาถึงกระบวนการที่ใช้เอกสารและระบบที่ไม่เชื่อมโยงกัน เป็นสาเหตุของความล่าช้า และก่อให้เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นทั้งด้านแรงงานและทรัพยากรสิ้นเปลือง

การปรับปรุงกระบวนการลางานด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ BPM ร่วมกับ BPMN ด้วยโปรแกรม Bizagi ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกอย่างชัดเจน ซึ่งพบว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการลางานใหม่นั้นระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 2 วัน 10 ชั่วโมง 39 นาที (ประมาณ 86%) ขณะเดียวกันการกระจายภาระงานเป็นไปอย่างสมดุลมากขึ้น โดยเฉพาะของฝ่ายธุรการ/อำนวยการที่ลดลงได้ถึง 86.75% ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการปรับปรุงกระบวนการที่ช่วยลดขั้นตอนซ้ำซ้อน ลดข้อผิดพลาด เพิ่มความคล่องตัวและความชัดเจนในกระบวนการทำงาน ดังที่ (Nafie & Talab, 2013) และ (อรอนงค์ อุดมวงศ์, 2557) ได้เสนอไว้ การลดระยะเวลาดำเนินงานจาก 17 วัน เหลือเพียง 2 วัน ช่วยให้บุคลากรสามารถจัดสรรเวลาไปปฏิบัติภารกิจหลักอื่นได้มากขึ้น เพิ่มศักยภาพการใช้ทรัพยากรบุคคลให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการดำเนินงานขององค์กร นอกจากนี้กระบวนการใหม่ (To-Be) ยังสามารถลดการใช้เอกสารกระดาษได้อย่างสิ้นเชิง ด้วยการปรับเปลี่ยนการดำเนินงานสู่ระบบออนไลน์ทุกขั้นตอน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ Kamkankaew et al. (2023) ได้ศึกษาถึงแนวคิด Green Business Process Management (Green BPM) โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการออกแบบกระบวนการให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม ทั้งนี้ยังสอดรับกับนโยบายของภาครัฐ

อย่างแผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัล พ.ศ. 2566-2570 ที่เน้นการยกระดับกระบวนการภาครัฐให้เป็นดิจิทัลและลดการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลืองในสำนักงาน มุ่งสู่การเป็นสำนักงานสีเขียว (Green Office) (กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, 2566)

การใช้โปรแกรม Bizagi ซึ่งรองรับมาตรฐาน BPMN 2.0 สามารถจำลองกระบวนการลางานได้อย่างแม่นยำ และวิเคราะห์ผลได้ครอบคลุม ทั้งด้านเวลา และการใช้ทรัพยากร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Araújo and Gomes (2022) ได้ศึกษาถึง Bizagi เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจำลองกระบวนการและประเมินความเหมาะสมของกระบวนการทำงาน และงานของ ชนะชล จรรยาพรวัฒน์ และ ปราลี มณีรัตน์ (2563) ได้ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ Bizagi ในกระบวนการทรัพยากรบุคคล เพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพได้มากขึ้น

สำหรับผลการประเมินแบบจำลองกระบวนการใหม่ (To-Be) จากผู้บริหารสายงานดิจิทัลที่มีบทบาทสนับสนุนการบริหารทรัพยากรบุคคลของการประปาส่วนภูมิภาค จำนวน 9 คน พบว่ามีระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับ ดีมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.67 คะแนนจาก 5 คะแนน ซึ่งสะท้อนว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมในการนำไปใช้จริง และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ นนิดา สร้อยดอกสน และคณะ (2557) ได้ศึกษาถึงระบบลางานออนไลน์สามารถลดการใช้ทรัพยากร เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิจัย แม้กระบวนการใหม่จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ยังมีขั้นตอนที่ต้องอาศัยบุคลากรและความพร้อมด้านทักษะดิจิทัล จึงควรกำหนดกระบวนการพัฒนาและแผนรองรับกรณีระบบขัดข้องเพื่อคงความต่อเนื่องของงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยขอเสนอว่า ควรขยายผลการปรับปรุงกระบวนการทำงานด้วยแนวคิด BPM ร่วมกับ BPMN และโปรแกรม Bizagi ไปยังกระบวนการอื่น ๆ ภายในองค์กร เช่น กระบวนการเบิกจ่ายหรือการขออนุมัติต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่องค์กรดิจิทัลอย่างยั่งยืน พร้อมทั้งควรมีการติดตามผลประเมินความคุ้มค่าการใช้งานจริง และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในระดับปฏิบัติการ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องในระยะยาว

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารและพนักงานการประปาส่วนภูมิภาคทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ข้อเสนอแนะ และความร่วมมืออันมีคุณค่าในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

## 7. เอกสารอ้างอิง

การประปาส่วนภูมิภาค. (2568). เกี่ยวกับการประปาส่วนภูมิภาค. สืบค้น. พฤษภาคม 15, 2568 จาก https://www.pwa.co.th.

กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2566). แผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัล พ.ศ. 2566–2570. สืบค้น. พฤษภาคม 15, 2568 จาก https://www.dga.or.th.

ชนะชล จรรยาพรวัฒน์. และ ปราลี มณีรัตน์. (2563). แบบจำลองการจัดการกระบวนการธุรกิจ ของแผนกทรัพยากรบุคคล บริษัท อิออน (ไทยแลนด์) จำกัด. วารสารวิชาการซายน์เทค มรภ.ภูเก็ต, 4(1), 33–44.

นนิดา สร้อยดอกสน, และคณะ. (2557). การพัฒนาระบบลางานออนไลน์ (Development of Online Leave System). วารสารวิจัย มทร.พระนคร, 8(2), 116–123.

วิชุดา สร้อยสุด และคณะ. (2564). การจัดการทรัพยากรมนุษย์หัวใจสำคัญของการขับเคลื่อนองค์กรยุคปัจจุบัน. Journal of Modern Learning Development, 6(5), 340–350.

อรอนงค์ อุดมวงศ์. (2557). การนำรูปแบบกระบวนการทางธุรกิจมาใช้เพื่อปรับปรุงงานห้องสมุด ของสำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 8(1), 155–162.

Araújo, W. J., & Gomes, T. A. (2022). Evaluation of business process management systems (BPMS): Analysis of Bizagi and Bonita softwares. RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, 20, e022023.

Bizagi. (2020). Bizagi Modeler User Guide. สืบค้น. พฤษภาคม 15, 2568 จาก https://www.bizagi.com.

Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). Fundamentals of business process management. Springer.

Kamkankaew, P., Phattarowas, V., Thanin, P., Jeesorn, W., & Phungjitpraphai, P. (2023). Green Business Process Management: The Way to Contribute to Sustainability for Thai Businesses. International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews (IJSASR), 3(3), 16–36.

Nafie, F. M., & Talab, S. A. (2013). Comparative study between workflow tools Case study: Arabdox workflow and Bizagi express. International Journal of Engineering Inventions, 3(3), 1–7.

Object Management Group. (2014). Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0.2. สืบค้น. พฤษภาคม 15, 2568 จาก https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF

Putra, H., & Mahendrawathi, E. R. (2024). The role of business process management in digital innovation and digital transformation: A systematic literature review. Procedia Computer Science, 234(4), 829–836.

# การศึกษาแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ ของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค

# A Study on the Development and Enhancement of the OCPB Connect application system of the Office of the Consumer Protection Board

**พรรณภัทร์ วงษาราษฎร์[1], คริณะ ฉิมมณี[2]**

**Pannapat Wongsarad[1], Krishna Chimmanee [2]**

[1]วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[1]College of Digital Innovation Technology, Rangsit University Pannapat.fng@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการใช้งานและความต้องการพัฒนาระบบแอปพลิเคโอซีพีบีคอนเนกต์ ของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยเจ้าหน้าที่และผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน โดยคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่น มีประสบการณ์ใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน และมีส่วนร่วมในกระบวนการร้องทุกข์ การเก็บข้อมูลดำเนินการผ่านแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง ข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์เชิงพรรณนาและเชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อฟังก์ชันหลัก แต่ยังมีความต้องการพัฒนาด้านความรวดเร็ว การใช้งานที่ง่ายขึ้น และการสื่อสารแบบตอบกลับทันที ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางปรับปรุงและพัฒนาระบบโอซีพีบีคอนเนกต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการประชาชน

**คำสำคัญ:** โอซีพีบีคอนเนกต์ การคุ้มครองผู้บริโภค

**Abstract**

This research aims to examine the current usage and development needs of the OCPB Connect application operated by the Office of the Consumer Protection Board. Both quantitative and qualitative approaches were employed. The sample consisted of officers and application users selected based on specific criteria, such as having at least six months of usage experience and direct involvement in complaint processes. Data were collected through questionnaires and structured interviews, and analyzed using descriptive and content analysis methods. The results revealed that users were generally satisfied with the main functions but expressed a need for improvements in speed, ease of use, and real-time communication. The findings can be used as a guideline for improving the OCPB Connect system to enhance public service efficiency.

**Keywords:** OCPB Connect, consumer protection

**1. บทนำ**

การเปลี่ยนผ่านสู่ยุคดิจิทัลในภาครัฐเป็นแนวโน้มสำคัญที่ได้รับความสนใจจากหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในด้านการให้บริการที่รวดเร็ว โปร่งใส และเข้าถึงได้สำหรับประชาชนทุกกลุ่ม ความคาดหวังที่เพิ่มขึ้นต่อระบบราชการในยุคข้อมูลข่าวสาร ทำให้หลายหน่วยงานภาครัฐของไทยเริ่มปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้บริการด้วยการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนกระบวนการทำงาน หนึ่งในกระบวนการสำคัญที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องคือ ระบบรับเรื่องร้องเรียนจากประชาชน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่ออำนวยความสะดวก สร้างความไว้วางใจ และเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของผู้บริโภคอย่างทันท่วงที (สมนึก จันทรเพ็ญ, 2565)

แอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ ที่พัฒนาโดยสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค ถือเป็นตัวอย่างเด่นของแพลตฟอร์มดิจิทัลที่เน้นการให้บริการประชาชนอย่างครบวงจร แอปพลิเคชันดังกล่าวเปิดโอกาสให้ประชาชนสามารถแจ้งปัญหาเรื่องร้องเรียนเกี่ยวกับการบริโภคสินค้าและบริการ ติดตามสถานะความคืบหน้า แนบหลักฐาน และรับการแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ทุกที่ทุกเวลา ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของรัฐบาลในการยกระดับระบบการคุ้มครองผู้บริโภคในระดับประเทศ อย่างไรก็ตาม จากการใช้งานจริงของทั้งเจ้าหน้าที่และผู้ร้องเรียน พบว่าแอปพลิเคชันยังมีข้อจำกัดด้านเสถียรภาพ ความชัดเจนของเมนู ฟังก์ชันการแสดงผล และประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงข้อมูล (Chatterjee et al., 2021; ทะเนตร อุฤทธิ์ และคณะ, 2564)

การออกแบบแอปพลิเคชันภาครัฐให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้ใช้ที่หลากหลาย จำเป็นต้องอิงกับหลักการ User Experience (UX) ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยด้านการใช้งานง่าย (usability) ความสม่ำเสมอของระบบ (consistency) การจัดวางข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง (information architecture) และการโต้ตอบที่เข้าใจง่าย (interactivity) Garrett (2011), Nielsen (2012) และ Norman (2013) ต่างเห็นตรงกันว่า UX ที่ดีจะช่วยลดความซับซ้อนของระบบ และเพิ่มความพึงพอใจแก่ผู้ใช้ ทั้งในมิติด้านเทคนิคและด้านอารมณ์ความรู้สึก Hassenzahl (2010) ยังชี้ว่า UX ที่ออกแบบจากคุณค่าทางอารมณ์สามารถสร้างความผูกพันระยะยาวกับผู้ใช้งานได้อย่างยั่งยืน

นอกจากนี้ โมเดล ความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (Information Systems Success Model) ของ DeLone และ McLean (2003) ระบุว่าความสำเร็จของระบบสารสนเทศไม่สามารถวัดได้เพียงจากฟีเจอร์หรือจำนวนผู้ใช้งานเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาคุณภาพของระบบ คุณภาพของข้อมูล ความพึงพอใจของผู้ใช้ และผลกระทบต่อองค์กรร่วมด้วย

ในบริบทของระบบร้องเรียนดิจิทัลของไทย งานศึกษาของ สมนึก จันทรเพ็ญ (2565) เน้นความจำเป็นในการออกแบบระบบให้รองรับการทำงานแบบบูรณาการ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับหน่วยงานอื่น และตอบโจทย์การจัดการเรื่องร้องเรียนในลักษณะที่เน้นผลลัพธ์ ขณะที่ Chatterjee et al. (2021) พบว่า แอปพลิเคชันภาครัฐในหลายประเทศยังขาดความโปร่งใส ความปลอดภัยของข้อมูล และความสามารถในการแสดงผลที่เข้าใจง่าย ทำให้ประชาชนลังเลที่จะใช้งานต่อเนื่อง Alhujran, Aloudat และ Altarawneh (2013) ชี้ว่าทัศนคติของประชาชนต่อความน่าเชื่อถือและความโปร่งใสของภาครัฐมีผลโดยตรงต่อการยอมรับและใช้งานระบบอิเล็กทรอนิกส์ Thomas และ Streib (2003) ระบุว่าความสำเร็จของบริการภาครัฐผ่านระบบดิจิทัลขึ้นอยู่กับความสามารถในการสร้างช่องทางการสื่อสารที่สะดวกและมีปฏิสัมพันธ์ได้จริง ขณะที่ van Velsen et al. (2009) เสนอแนวคิด citizen-centric เพื่อให้ประชาชนเป็นศูนย์กลางของการออกแบบบริการ และ Kujala et al. (2011) นำเสนอวิธี UX curve สำหรับประเมินประสบการณ์ผู้ใช้ในระยะยาว ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้งานแอปพลิเคชันภาครัฐได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ Carter และ Bélanger (2005) และ Venkatesh et al. (2003) ต่างชี้ว่าความเชื่อมั่น ความสะดวก และการรับรู้ประโยชน์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับและใช้งานระบบดิจิทัลภาครัฐ

ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการใช้งานจริงของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ โดยมุ่งวิเคราะห์ความพึงพอใจและปัญหาที่พบจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ผู้ใช้ระบบ รวมถึงสำรวจความต้องการเพิ่มเติมที่สะท้อนแนวทางการพัฒนาในอนาคต เพื่อนำเสนอข้อเสนอแนะเชิงโครงสร้างและการออกแบบที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบร้องเรียนของหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ โดยเฉพาะในยุคที่การให้บริการประชาชนต้องผสานความรวดเร็ว ความโปร่งใส และการใช้ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดนโยบายเชิงกลยุทธ์

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อศึกษาสภาพการใช้งานของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ในปัจจุบัน

2.เพื่อศึกษาความต้องการเพิ่มเติมของผู้ใช้งานที่มีต่อแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยใช้เครื่องมือหลักคือแบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structured)แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง คือ เครื่องมือเก็บข้อมูลที่ผู้วิจัยกำหนดคำถามและลำดับการถามไว้อย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลตอบในกรอบเดียวกัน ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความเป็นระบบและเปรียบเทียบได้ง่าย ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดประเด็นคำถาม, จัดทำร่างแบบสัมภาษณ์ พร้อมลำดับคำถามจากหัวข้อทั่วไปไปสู่ประเด็นเฉพาะ, ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน, ทดลองใช้กับกลุ่มย่อยเพื่อประเมินความเข้าใจและความชัดเจน, ปรับปรุงเครื่องมือก่อนนำไปเก็บข้อมูลจริงซึ่งผู้วิจัยจัดทำขึ้นเองโดยอิงจากวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นเจ้าหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค และประชาชนผู้ใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ เครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ (1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์และ (2) แบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับประสบการณ์ใช้งาน ความคิดเห็น ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแอปพลิเคชันวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการเก็บข้อมูล ได้แก่ เครื่องบันทึกเสียง สมุดบันทึก แบบสัมภาษณ์ และเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการถอดเทปเสียงและจัดเก็บข้อมูล โดยผู้วิจัยเริ่มต้นจากการขออนุญาตหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 10 ราย กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ถูกคัดเลือกตามเกณฑ์ดังนี้ ต้องเป็นเจ้าหน้าที่หรือผู้ใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกซ์ ที่มีประสบการณ์ใช้งานไม่น้อยกว่า 6 เดือน มีส่วนร่วมในกระบวนการร้องทุกข์หรือการดำเนินการภายในระบบอย่างน้อย 1 ครั้ง ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ และสามารถให้ข้อมูลได้อย่างครบถ้วน ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมและมีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับระบบ จากนั้นจึงทำการสัมภาษณ์ในสถานที่ที่เหมาะสม พร้อมบันทึกเสียงและจดบันทึกข้อมูลประกอบ

ภายหลังการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยทำการถอดเทปเสียงอย่างละเอียด จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อจัดหมวดหมู่ประเด็นที่เกิดขึ้นซ้ำหรือมีความสำคัญ โดยเน้นการตีความเชิงคุณภาพจากบริบทจริงของผู้ให้ข้อมูล พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลผ่านกระบวนการ Member Checking และหารือร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อเสริมความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์

**4. ผลการวิจัย**

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการใช้งานและความต้องการเพิ่มเติมจากผู้ใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ โดยใช้วิธีสัมภาษณ์เชิงลึกจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ภายในสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภคที่มีประสบการณ์ใช้งานจริง ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง สภาพการใช้งานของแอปพลิเคชัน และความต้องการเพิ่มเติมในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ในอนาคต

4.1 ลักษณะทั่วไปของผู้ให้ข้อมูล

ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มผู้ให้สัมภาษณ์ปรากฏในตารางที่ 1 โดยแสดงสัดส่วนของเพศ ระดับการศึกษา และประสบการณ์การใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของผู้ใช้งานทั้งด้านบทบาทหน้าที่และประสบการณ์ใช้งาน

**ตารางที่ 1** ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

| รายการ | รายละเอียดโดยสังเขป |
|---|---|
| เพศ | ผู้ชาย 5 คน ผู้หญิง 5 คน |
| ช่วงอายุ | 28 – 45 ปี |
| ระดับการศึกษา | ปริญญาตรี 5 คน , ปริญญาโท 5 คน |
| ประสบการณ์ในการทำงา | 10 ปี |
| ประสบการณ์ใช้งานแอป | มากกว่า 3 ปี จำนวน 7 คน , 1 – 3 ปี จำนวน 3 คน |

จากตารางที่ 1 พบว่าผู้ตอบแบบสัมภาษณ์มีความรู้และประสบการณ์ที่เพียงพอในการให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้แอปฯ มากกว่า 3 ปี ซึ่งมีจำนวนถึง 70% ของกลุ่มทั้งหมด

4.2 สภาพการใช้งานแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

จากการวิเคราะห์เนื้อหาการสัมภาษณ์ ผู้ใช้ส่วนใหญ่ระบุว่า แอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ มีประสิทธิภาพเพียงพอ

ต่อการใช้งานในระดับพื้นฐาน อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดหลายประการ โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญตามตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** สภาพการใช้งานจริงของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

| ประเด็นหลัก | สิ่งที่พบ |
|---|---|
| ความถี่ใช้งาน | 70% ใช้งานทุกวัน, 30% ใช้งานสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง |
| จุดเด่น | ระบบแจ้งเตือน, แนบหลักฐานได้หลายฟอร์แมต, มีรายงานย้อนหลัง |
| ปัญหาหลัก | ระบบล่มช่วงพีค, ไม่รองรับเบราว์เซอร์เก่า, อินเทอร์เฟซซับซ้อน |

| | |
|---|---|
| การแนบไฟล์ | พบปัญหาการแนบผิดประเภทหรือแนบไฟล์ไม่ขึ้นบางช่วงเวลา |

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของแอปฯ ที่ตอบสนองการทำงานประจำวันได้ดี อย่างไรก็ตาม ปัญหาด้านเสถียรภาพของระบบและความยุ่งยากของอินเทอร์เฟซยังคงเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานอย่างราบรื่น

4.3 ปัญหา/ข้อจำกัดของระบบแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

ปัญหาที่พบซ้ำคือ เสถียรภาพช่วงพีก, ความซับซ้อนของเมนู, และข้อจำกัดด้าน ความเข้ากันได้ของเบราว์เซอร์รุ่นเก่า รวมถึงกรณีแนบไฟล์ไม่สำเร็จบางช่วงเวลารายละเอียดปรากฏในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ปัญหา/ข้อจำกัดของระบบแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

| หมวด | อาการ/คำอธิบาย | ตัวอย่างสถานการณ์ |
|---|---|---|
| เสถียรภาพระบบ | ระบบล่ม/หน่วงช่วงพีก | บันทึกเรื่องร้องเรียนล่าช้าในช่วงเช้าและใกล้สิ้นวัน |
| ความซับซ้อน UI | เมนูหลายชั้น ทำให้หาฟังก์ชันช้า | ค้นหาประวัติผู้ร้องต้องผ่านหลายหน้าจอ |
| ความเข้ากันได้ | ไม่รองรับเบราว์เซอร์รุ่นเก่า | เครื่องสำนักงานบางส่วนยังใช้เวอร์ชันเก่า |
| การแนบไฟล์ | แนบผิดประเภท/ไม่ขึ้น | ไฟล์วิดีโอบางฟอร์แมตและไฟล์ขนาดใหญ่ |

หมายเหตุ: UI (User Interface) = ส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เห็นบนหน้าจอ หากต้องการความกระชับ ให้ย้าย “คำอธิบายศัพท์” ไปไว้ใต้ตารางแบบย่อ

ตารางที่ 3 ชี้ให้เห็นปัญหาที่พบในการใช้งานที่พบบ่อยที่สุดคือ เช่น การแสดงผลหน้าจอ ความเสถียรของระบบ และความชัดเจนของเมนู

4.4 ความต้องการเพิ่มเติมและคุณลักษณะพึงประสงค์

ผู้ใช้เสนอให้เสริมฟังก์ชัน Live Chat, Preview ก่อนส่ง, ยืนยันตัวตนแบบ OTP, Dashboard วิเคราะห์ข้อมูล, และ Export เป็น Excel/ เปิด API เพื่อเชื่อมโยงระบบ ทั้งนี้ความต้องการส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ “การโต้ตอบแบบทันที”, “ความปลอดภัยข้อมูล”, และ “การใช้ข้อมูลเพื่อการบริหาร” รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ความต้องการเพิ่มเติมและคุณลักษณะพึงประสงค์ของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์

| ความต้องการ | คำอธิบาย | นัยเชิงออกแบบ/ปรับปรุง |
|---|---|---|
| Live Chat | สื่อสารแบบทันทีระหว่างผู้ร้อง – เจ้าหน้าที่ | เพิ่มโมดูลแชทพร้อมบันทึกข้อความลงแฟ้มคดีอัตโนมัติ |
| Preview ก่อนส่ง | ตรวจทานข้อมูลก่อนกดส่งจริง | ปุ่ม Preview + Validation ฟิลด์ที่จำเป็น |
| OTP | ยืนยันตัวตนสองขั้น | รองรับ SMS/Email OTP + แจ้งเตือนอุปกรณ์ใหม่ |
| Dashboard | สรุปตัวชี้วัดแบบเรียลไทม์ | กำหนด KPI, Drill-down รายคดี/ประเภทคดี/ช่วงเวลา |

| | | |
|---|---|---|
| Export/Excel | ส่งออกข้อมูลเพื่องานนโยบาย | ปุ่ม Export (.xlsx) + กรองคอลัมน์ที่ต้องการ |
| API | เชื่อมโยงกับระบบหน่วยงาน | ออกแบบ REST API + สิทธิ์เข้าถึงตามบทบาท |

หมายเหตุศัพท์: OTP (One-Time Password) = รหัสใช้ครั้งเดียว, API (Application Programming Interface) = ช่องทางให้ระบบอื่นเรียกใช้งานข้อมูล/ฟังก์ชัน

ตารางที่ 4 ชี้ให้เห็นความต้องการเพิ่มเติมและคุณลักษณะพึงประสงค์ของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ เช่น สื่อสารแบบทันทีระหว่างผู้ร้อง – เจ้าหน้าที่ ตรวจทานข้อมูลก่อนกดส่งจริง

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการใช้งานของแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ที่พัฒนาโดยสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค รวมถึงสำรวจความต้องการเพิ่มเติมของผู้ใช้งานในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ข้อมูลได้จากการเก็บแบบสอบถามและสัมภาษณ์เชิงลึกจากเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 10 ราย ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งหลากหลาย เช่น เจ้าหน้าที่รับเรื่องร้องเรียน นักวิเคราะห์ นิติกร และเจ้าหน้าที่ไอที ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างต่อเนื่อง เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินงานด้านการรับเรื่องร้องเรียน การติดตามผล และการประมวลผลข้อมูลภายในหน่วยงาน โดยผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในด้านความง่ายในการใช้งาน ความรวดเร็วในการประมวลผล และระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังคงพบข้อจำกัดบางประการ เช่น ความล่าช้าของระบบในช่วงที่มีผู้ใช้งานหนาแน่น ความไม่เสถียรของบางฟังก์ชัน และความซับซ้อนของอินเทอร์เฟซในบางเมนูตัวปกติ 14 พอยต์) อภิปรายผลการวิจัยและเสนอแนะแนวทางในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดความสำเร็จของระบบสารสนเทศที่ปรับปรุงจากแนวคิดดั้งเดิม โดยชี้ว่าความสำเร็จของระบบขึ้นอยู่กับคุณภาพของระบบ (System Quality) คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) และความพึงพอใจของผู้ใช้ (User Satisfaction) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญต่อการยอมรับและใช้งานในระยะยาว (OECD, 2022; Zhu & Xu, 2023) แอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์มีคุณลักษณะตามองค์ประกอบเหล่านี้ โดยด้าน System Quality สามารถให้บริการแบบเรียลไทม์และรองรับการติดตามสถานะได้ทันที ด้าน Information Quality ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลย้อนหลังได้สะดวก และด้าน User Satisfaction พบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อความเข้าใจง่ายและความสะดวกของอินเทอร์เฟซ ทั้งนี้แนวคิดการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design) และการปรับประสบการณ์ผู้ใช้ (UX) ตามพฤติกรรมการใช้งานถือเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความพึงพอใจ (Hansen & Dahiya, 2025) ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน ได้แก่ การเพิ่มระบบ Chatbot อัจฉริยะ การพัฒนาแดชบอร์ดปรับแต่งได้ (Custom Dashboard) การแจ้งเตือนแบบสองทาง (Two-way Notification) และการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงตามบทบาท (Role-Based Access Control) ซึ่งเป็นแนวโน้มของ “Smart Complaint System” ที่มุ่งบูรณาการข้อมูล ความปลอดภัย และ AI เพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่การบริหารภาครัฐดิจิทัล (Digital Government Transformation)

การมีส่วนร่วมของผู้ใช้งาน (User Participation) ยังถูกระบุว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน เนื่องจากช่วยให้ระบบตอบสนองความต้องการที่แท้จริงขององค์กรได้อย่างแม่นยำ การพัฒนาระบบในอนาคตควรมุ่งไปที่การเพิ่มความสามารถในการทำงานอัตโนมัติ ความแม่นยำในการประมวลผลข้อมูล การเสริมมาตรการความปลอดภัย และการออกแบบอินเทอร์เฟซให้

ใช้งานง่ายเพื่อลดความซับซ้อน นอกจากนี้ ภาครัฐควรกำหนดนโยบายและสนับสนุนงบประมาณอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการฝึกอบรมบุคลากรเพื่อเพิ่มทักษะการใช้งานระบบอย่างเต็มศักยภาพ ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมกับกลุ่มผู้ใช้ที่หลากหลายยิ่งขึ้นและนำเทคโนโลยีใหม่ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ระบบร้องทุกข์ภาครัฐมีความทันสมัย โปร่งใส และตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

**6. กิตติกรรมประกาศ**

การศึกษาวิจัยเรื่องการศึกษาแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบแอปพลิเคชันโอซีพีบีคอนเนกต์ ของสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค นี้ได้รับความอนุเคราะห์ปละสนับสนุนอย่างดียิ่งจากเจ้าหน้าที่และเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ณ สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค ที่ได้ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและให้ข้อมูลเชิงลึกในการสัมภาษณ์ อันเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและสมบูรณ์ ขอขอบคุณครอบครัว
สำหรับกำลังใจ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาวิจัยฉบับนี้ได้ตามเป้าหมาย
ผู้วิจัยหวังว่างสนวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจทุกท่าน

**7. เอกสารอ้างอิง**

ทะเนตร อุฤทธิ์, และคณะ. (2564). การประเมินประสิทธิภาพของระบบรับเรื่องร้องเรียนออนไลน์. *วารสารวิทยาการจัดการ, 38*(2), 45–60.

สมนึก จันทรเพ็ญ. (2565). แนวทางการพัฒนาระบบรับเรื่องร้องเรียนของภาครัฐสู่การบริการดิจิทัล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย.

Al-Hujran, O., Aloudat, A., & Altarawneh, I. (2018). The role of national culture on citizen adoption of eGovernment services: An empirical study. *Government Information Quarterly, 35*(2), 200–209. https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.01.005

Bargas-Avila, J. A., & Hornbæk, K. (2019). Old wine in new bottles or novel challenges? A critical analysis of empirical studies of user experience. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 3*(CSCW), 1–23. https://doi.org/10.1145/3359246

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2016). Information systems success measurement. Foundations and Trends® in Information Systems*, 2*(1), 1–116. https://doi.org/10.1561/2900000005

Hansen, M. M., & Dahiya, B. (2025). Traffy Fondue: A smart city citizen engagement platform. Frontiers in Sustainable Cities. https://doi.org/10.3389/frsc.2025.XXXXXX

Law, E. L. C., van Schaik, P., & Roto, V. (2021). Attitudes towards user experience (UX) measurement. International Journal of Human–Computer Studies*, 146,* 102546.
https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102546

Minge, M., & Thüring, M. (2018). Hedonic and pragmatic aspects of interactive systems: Development and validation of the meCUE questionnaire. Interacting with Computers, 30(6), 447–469. https://doi.org/10.1093/iwc/iwy015

OECD. (2022). Open and connected government review of Thailand. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/6dbfbec4-en

Shareef, M. A., Dwivedi, Y. K., Mahmud, R., Wright, A., Rahman, M. M., & Kizgin, H. (2021). Antecedents of citizen adoption of e-government services: A systematic literature review. Information Systems Frontiers, *23*(6), 1401–1423. https://doi.org/10.1007/s10796-020-10062-6

Twizeyimana, J. D., & Andersson, A. (2019). The public value of E-Government – A literature review. Government Information Quarterly, *36*(2), 167–178. https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.01.001

Weerakkody, V., El-Haddadeh, R., Sivarajah, U., Omar, A., & Molnar, A. (2021). Barriers and benefits of using social media in transforming government service delivery. Government Information Quarterly, *38*(1), 101590. https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101590

Zhu, T., & Xu, W. (2023). HCI in e-government and e-democracy. Heliyon, *9*(12), e15222. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15222

# ระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร วิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี

# Personnel Contract Compliance Monitoring and Notification System for the Akkhraratchakumari Veterinary College

**จารุวรรณ ลักษณจันทร์[1*], ศรินนา จำปากลาย[2]**

**Jaruwan Laksanajan[1*], Sarinna Jampaklai[2]**

[1]วิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

[1]Akkhraratchakumari Veterinary College. Walailak University Email Address : jaruwanlak27@gmail.com

[2]วิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

[2]Akkhraratchakumari Veterinary College. Walailak University Email Address : sarinnajp@gmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาระบบติดตามและบริหารจัดการงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากรสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล สามารถบริหารจัดการข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากบุคลากรแต่ละรายมีเงื่อนไขและกำหนดการส่งงานที่แตกต่างกัน ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ข้อมูลรายบุคคล กำหนดวันส่งเอกสาร และแจ้งเตือนล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำผ่าน LINE Messenger API ช่วยลดภาระงานและความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ในการติดตามงาน การทดสอบระบบใช้ข้อมูลแจ้งเตือนจำนวน 835 ครั้ง โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ผ่านการประมวลผลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น กับการคำนวณแบบ Manual พบว่าระบบสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง 100% ส่งผลให้การติดตามงานรายบุคคลมีความสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** การติดตามงานบุคลากร เงื่อนไขสัญญา งานบุคคล การแจ้งเตือนอัตโนมัติ ระบบแจ้งเตือน

**Abstract**

This study aims to design and develop a performance monitoring and management system for veterinary personnel at Walailak University. The primary objective is to assist administrative officers in human resource management by efficiently handling large and diverse datasets, considering the varying contract conditions and submission timelines of individual staff members. The proposed system facilitates individualized data analysis, deadline scheduling, and timely notifications via the LINE Messenger API. By automating these processes, the system significantly reduces manual workload and minimizes human error in task tracking. The system's performance was evaluated through 835 notification instances, comparing system-generated outputs with manual calculations. The results demonstrated 100% accuracy, confirming that the system effectively enhances the timeliness, convenience, and efficiency of personnel task monitoring.

**Keywords:** personnel task tracking, contract conditions, human resource, Automatic Notification, Notification System

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการบริหารจัดการองค์กรการศึกษาในระดับอุดมศึกษา โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ที่มีบุคลากรปริมาณมาก การบริหารงานบุคคลถือเป็นหนึ่งในภารกิจสำคัญที่จะต้องใช้ความละเอียด รอบคอบ และความสามารถในการจัดการข้อมูลจำนวนมากอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกรณีบุคลากรสายวิชาการ มักมีภาระงาน ภารกิจ และเงื่อนไขสัญญาที่หลากหลาย และซับซ้อนแตกต่างกันออกไป รวมถึงกำหนดการส่งผลงาน เช่น ผลงานทางวิชาการ การบริการวิชาชีพ การวิจัย การตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ การเข้าอบรม หรือกิจกรรมที่กำหนดตามนโยบายของมหาวิทยาลัย

ด้วยความหลากหลายของเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากรแต่ละคน เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล จำเป็นจะต้องติดตามและตรวจสอบสถานะของภารกิจเหล่านั้นอย่างต่อเนื่องและต้องดำเนินการแจ้งเตือนเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นในการติดตามและบริหารจัดการการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาจ้างของบุคลากรยังคงเป็นภารกิจที่มีความซับซ้อน และต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้อง ทันสมัย อีกทั้งไม่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ การแจ้งเตือนด้วยตนเอง (Manual) อาจทำให้เกิดความผิดพลาด ล่าช้า หรืออาจละเลยภารกิจที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประเมินผลการปฏิบัติงานและการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรโดยรวมขององค์กร ขณะเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงสู่ระบบดิจิทัลในงานบริหารทรัพยากรมนุษย์ (HR Digital Transformation) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของการจัดการข้อมูลบุคลากร รวมถึงสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์ที่ช่วยให้องค์กรตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น (Marler & Parry, 2021)

จากข้อมูลการบริหารงานบุคคลในปี 2567 ที่ผ่านมา พบว่า มีอาจารย์จำนวน 4 คน จากอาจารย์ทั้งหมด 38 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 10.53 ไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของสัญญาจ้างภายในระยะเวลาที่กำหนด ส่งผลกระทบต่อกระบวนการต่อสัญญาจ้าง และอัตราการคงอยู่ของบุคลากร อีกทั้งยังมีผลกระทบโดยตรงต่อการคงไว้ซึ่งมาตรฐานอัตราส่วนอาจารย์ต่อนักศึกษา 1:8 ตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยสัตวแพทยสภา หากไม่สามารถดำเนินการบรรจุอาจารย์ใหม่ได้ทันเวลา สถานการณ์ดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการรับรองหลักสูตรในภาพรวมขององค์กรได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ จึงมีเล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาเครื่องมือในการติดตาม และแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร โดยออกแบบระบบสารสนเทศที่สามารถรองรับข้อมูลภารกิจรายบุคคล วิเคราะห์ระยะเวลาตามเงื่อนไขของแต่ละสัญญา และทำหน้าที่แจ้งเตือนล่วงหน้าแบบอัตโนมัติผ่านช่องทาง LINE Messenger API ซึ่งเป็นช่องทางที่เข้าถึงง่าย และสะดวกในการติดต่อสื่อสาร

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบติดตามการดำเนินงานของบุคลากรในวิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารีอย่างเป็นระบบ และมีประสิทธิภาพ

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร วิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี

**3. วิธีดำเนินการวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากรสัตวแพทย์เพื่อช่วยสร้างเครื่องมือสำหรับเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคลของวิทยาลัยฯ ในการช่วยติดตามการดำเนินงานต่างๆ ของบุคลากรในหน่วยงาน ทั้งสายวิชาการและสายปฏิบัติการ รวมถึงแจ้งเตือนตามระยะเวลาที่กำหนด จนถึงกำหนดส่งงาน ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการด้านงานบุคคล ได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

**3.1 ด้านเนื้อหา** ผู้วิจัยใช้เนื้อหาจากนโยบาย ประกาศ คำสั่ง ของการดำเนินงานด้านบุคคล ของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้น ในการกำหนดขอบเขตงานรายบุคคล และระยะเวลาการดำเนินงาน มาใช้ในการพัฒนาระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายขององค์กร โดยมีผู้ใช้งานระบบ คือ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคลของวิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

**3.2 วิธีการนำเสนอ** ผู้วิจัยทำการพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร ที่มีการโต้ตอบ (Interactive) กับผู้ใช้งาน พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์จำนวนงานค้างส่งรายบุคคล และแจ้งเตือนผ่าน LINE Messaging API ไปยังเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคลของวิทยาลัยฯ เพื่อให้สามารถติดตามการดำเนินงานของบุคลากรในหน่วยงานได้

**3.3 ด้านการพัฒนาระบบ** ในการพัฒนาระบบ นักวิจัยดำเนินการพัฒนาภายใต้แนวทางวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) (ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์, 2551) ที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลระบบ, วิเคราะห์ระบบ, การออกแบบระบบ, พัฒนาระบบ, ทดสอบระบบ และประเมินผล

**3.4 ด้านความสามารถของระบบ** ระบบที่พัฒนาต้องมีความสามารถในการทำงาน ประกอบด้วย

1) ระบบสามารถดูข้อมูลงาน จำนวนงานค้างส่ง เพื่อติดตามงานของบุคลากรสายวิชาการ
2) ระบบสามารถจัดการงาน จำแนกตามประเภทสัญญา หรือรายบุคคลได้
3) ระบบสามารถกำหนดงานรายบุคคลได้
4) ระบบสามารถวิเคราะห์ ประมวลผลแผนการแจ้งเตือน ตามงาน เจ้าของงาน พร้อมกำหนดส่ง หลักฐาน และส่งแจ้งเตือนไปยัง LINE Messaging API ของเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล เพื่อช่วยในการติดตามสำหรับบุคลากรในหน่วยงานต่อไป
5) ระบบสามารถประมวลผลการบันทึกภาระงาน ของบุคลากรสายปฏิบัติการ และแสดงผลผู้ที่ยังไม่ได้บันทึกภาระงานรายบุคคล
6) ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลวันขาดงานของบุคลากรสายปฏิบัติการ
7) ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ดูแลระบบได้

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย เพื่อพัฒนาระบบสำหรับการติดตามและบริหารจัดการการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากรสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยในการทำวิจัยจัดทำขึ้นภายใต้แนวทางวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) (ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์, 2551) โดยสามารถอธิบายตามขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

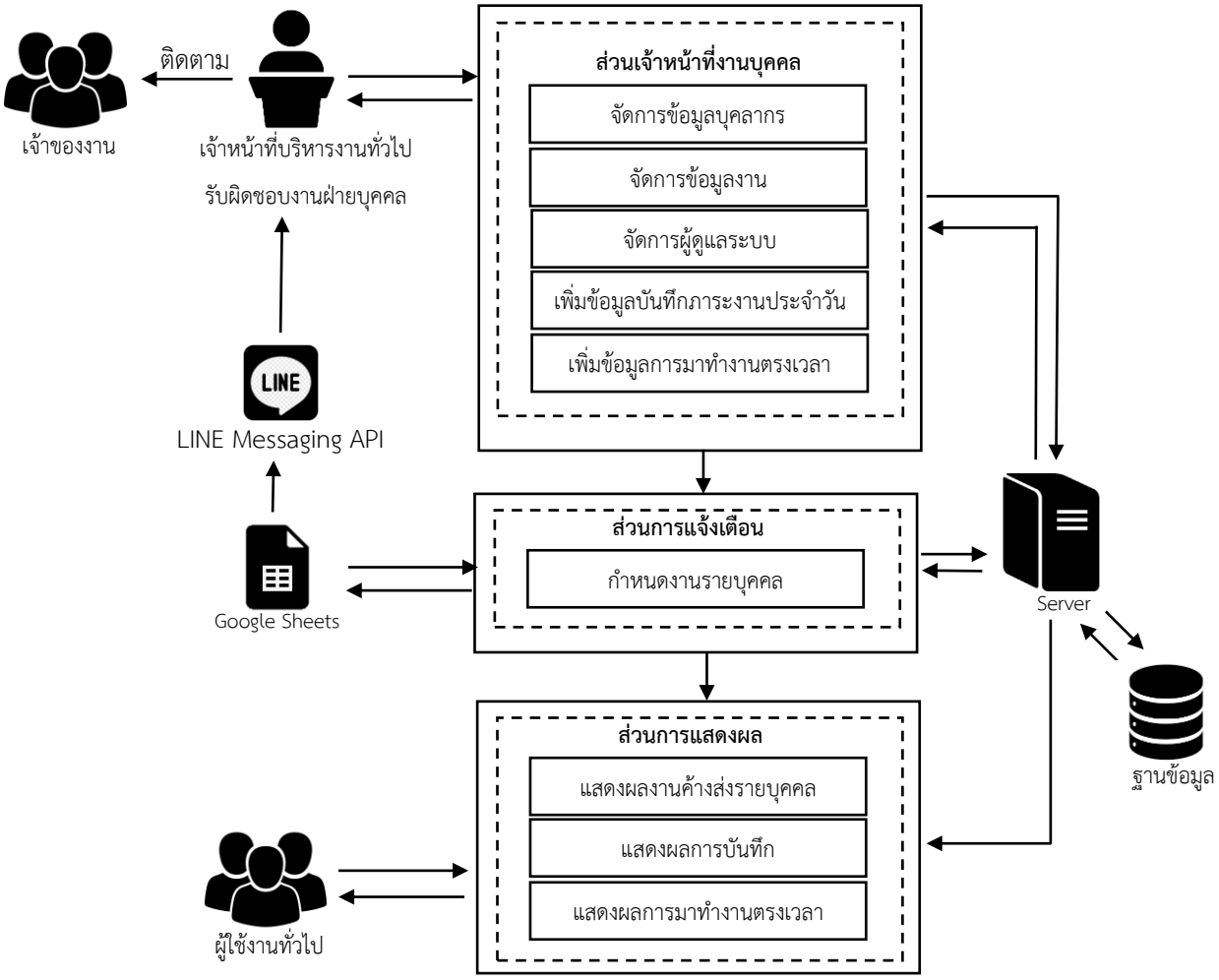
**ขั้นตอนที่ 1** ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลระบบ

ในการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และรวบรวมข้อมูล จากนโยบาย ประกาศ คำสั่ง ของการดำเนินงานด้านบุคคล ของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์งาน กำหนดการส่งงาน ภาระงาน และระยะเวลาการแจ้งเตือนรายบุคคล

**ขั้นตอนที่ 2** วิเคราะห์ระบบ

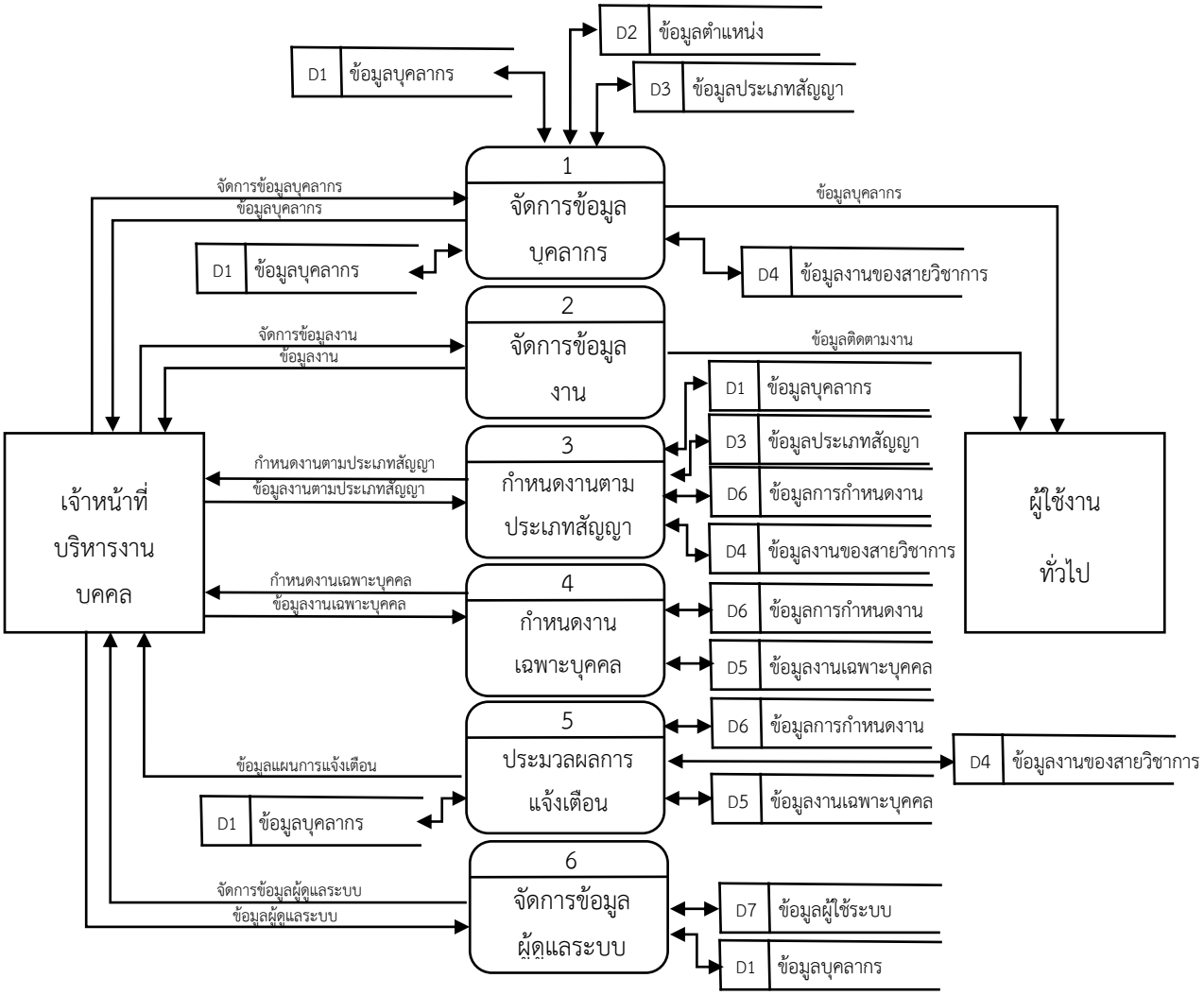
ในการวิเคราะห์ และออกแบบระบบ ผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการ และข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้ระบบ ซึ่งได้แก่ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล จากนั้นทำการศึกษามาและสร้างเป็นแบบจำลองเชิงตรรกะ (Logic Model) เพื่อติดตามและบริหารจัดการการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากรสัตวแพทย์ มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ภาพรวมการทำงานของระบบ แสดงให้เห็นรายละเอียดของระบบดังนี้



**ภาพที่ 1** ภาพรวมการทำงานของระบบ

2. แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD) แสดงให้เห็นรายละเอียดของระบบดังนี้




**ภาพที่ 2** แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD)

**ขั้นตอนที่ 3** การออกแบบระบบ

ในการออกแบบระบบ เพื่อช่วยในการติดตามงานและแจ้งเตือนตามระยะเวลาที่กำหนดสำหรับเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล เพื่อแจ้งเตือนไปยังเจ้าของเรื่องต่อไป โดยเมื่อผู้ใช้ระบบได้ทำการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

ระบบจะทำการประมวลผล และแจ้งเตือนงานต่างๆ ตามกำหนดการที่ได้วางแผนไว้ ผู้วิจัยมีการออกแบบส่วนประสานกับผู้ใช้ (User Interface) การออกแบบในส่วนต่อประสานกราฟิก (GUI) เช่น ลักษณะของ Button, Label, Textbox, Dropdown, Image, Icon, Table, Tab, Dialog, Navigation Bar, Menu, Tooltip, List ต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

**ขั้นตอนที่ 4** การพัฒนาระบบ

ในการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนามีดังนี้ ระบบฐานข้อมูล คือ MySQL, ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา คือ PHP, HTML5, JavaScript, Bootstrap, jQuery และ Ajax ในส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการแจ้งเตือนตามระยะเวลาที่กำหนดคือ LINE Messenger API เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการแจ้งเตือนคือ Google Sheets

**ขั้นตอนที่ 5** การทดสอบระบบ

หลังจากการพัฒนาระบบเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนการทดสอบระบบ เนื่องจากในสถานะความเป็นจริง งานรายบุคคลแต่ละงาน จะมีกำหนดส่งงานมีหน่วยเป็นปี ซึ่งหากจะต้องทดสอบระบบเป็นปี จะทำให้งานวิจัยล่าช้า ผู้วิจัยจึงจำเป็นจะต้องจำลองแผนการทดสอบ โดยปรับเปลี่ยนระยะเวลาสิ้นสุดของงานจากระดับปีให้เป็นระดับสัปดาห์ เพื่อให้สามารถประเมินผลได้ภายในระยะเวลาที่สั้นลง และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการ Upload ระบบที่พัฒนาขึ้น Web Hosting ของวิทยาลัยสัตวแพทยศาสตร์อัครราชกุมารี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จากนั้นให้ผู้ใช้จริง หรือ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล ทำการทดสอบระบบ เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบในทุกฟังก์ชันการทำงาน

**ขั้นตอนที่ 6** การประเมินผล

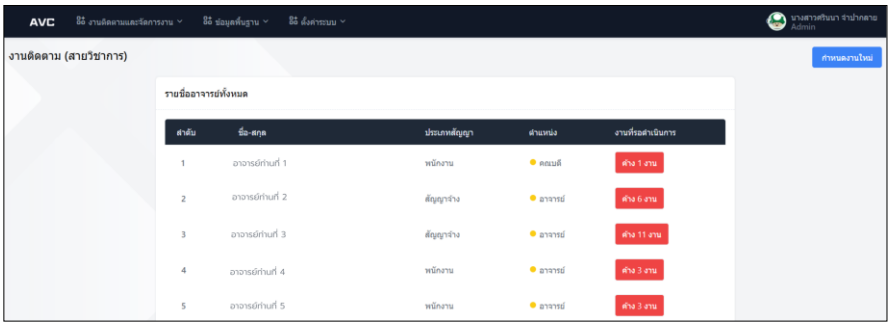
ในส่วนนี้หลังจากที่ได้ทำการทดสอบระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลจากแผนจำลองการทดสอบระบบด้านการแจ้งเตือน โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคิดคำนวณแบบ Manual และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจากระบบ เพื่อวัดความถูกต้อง แม่นยำของระบบ

## 4. ผลการวิจัย

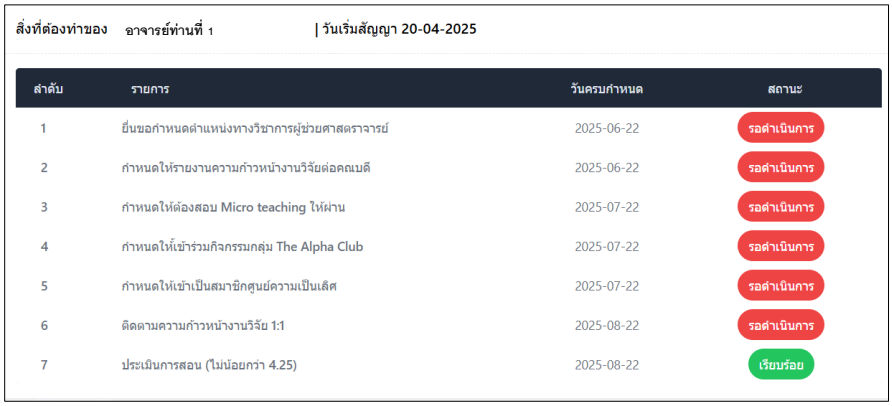
จากการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ ติดตามและบริหารจัดการการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากรสัตวแพทย์ ได้พัฒนาเสร็จสิ้นบรรลุเป้าหมายตามขอบเขตการทำงานที่วางไว้ โดยระบบสามารถช่วยในการวิเคราะห์ และประมวลผลการแจ้งเตือนภาระงาน ให้แก่เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล เพื่อช่วยในการจดบันทึกและติดตามงานของบุคลากรในหน่วยงานต่อไป โดยระบบครอบคลุมการดำเนินงานของบุคลากรสายวิชาการ และบุคลากรสายปฏิบัติการ เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่กำหนดเสร็จสิ้นในระบบแล้ว ระบบจะทำการประมวลผล เพื่อคำนวณหาวันที่จะต้องแจ้งเตือนและทำการแจ้งเตือนผ่าน LINE Messenger API อีกทั้งระบบมีส่วน จัดการข้อมูลบุคลากร จัดการข้อมูลงาน กำหนดงานตามประเภทสัญญา กำหนดงานเฉพาะบุคคล และจัดการข้อมูลผู้ดูแลระบบ โดยมีรายละเอียดหน้าจอดังต่อไปนี้

4.1 **เมนู “งานติดตามและการจัดการงาน”** ทำหน้าที่ในการติดตาม และกำหนดงานให้แก่บุคลากร แบ่งออกเป็น 3 เมนูย่อยดังต่อไปนี้

1) **เมนู “งานติดตาม (สายวิชาการ)”** ทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูลรายละเอียดงานต่างๆ จำนวนงานที่คงค้างรายบุคคลเพื่อช่วยในการติดตามงานจากบุคลากร

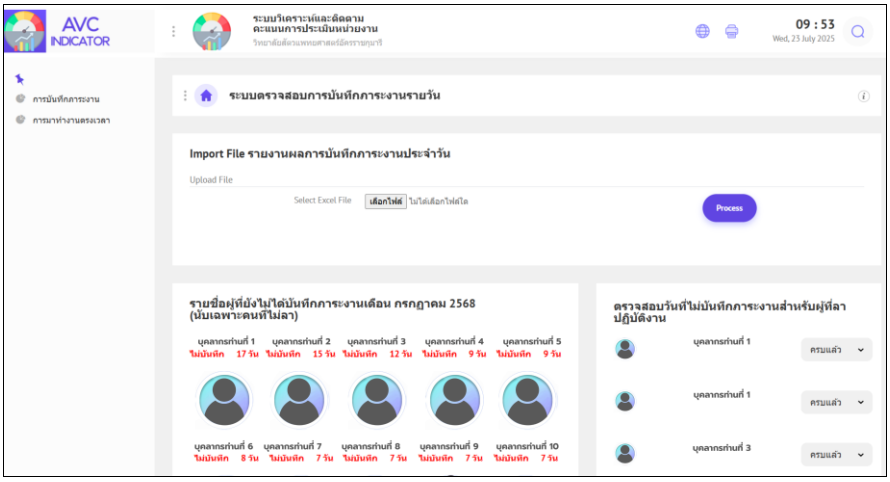


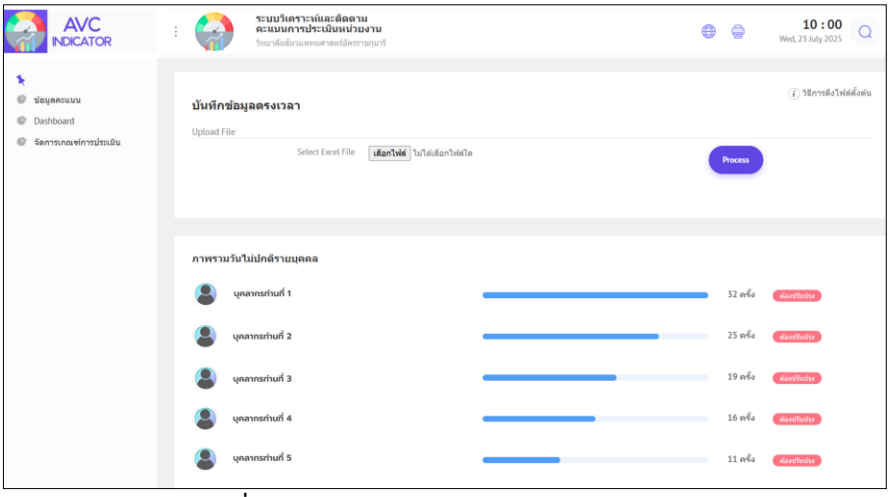

**ภาพที่ 3** หน้าจองานการติดตามงาน ของสายวิชาการ




**ภาพที่ 4** หน้าจอจัดการงานรายบุคคล

2) **เมนู “งานติดตาม (สายปฏิบัติการ)”** ทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูลรายละเอียดข้อมูลการบันทึกภาระงานและรายละเอียดข้อมูลการมาทำงานตรงเวลา

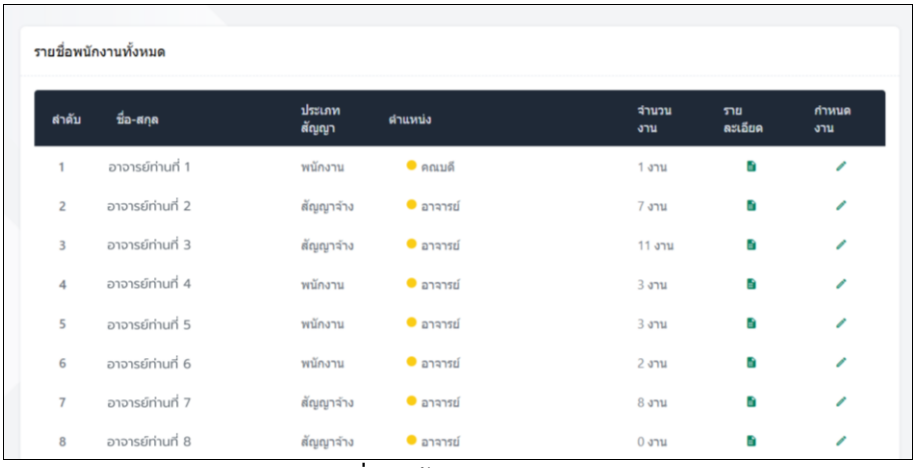


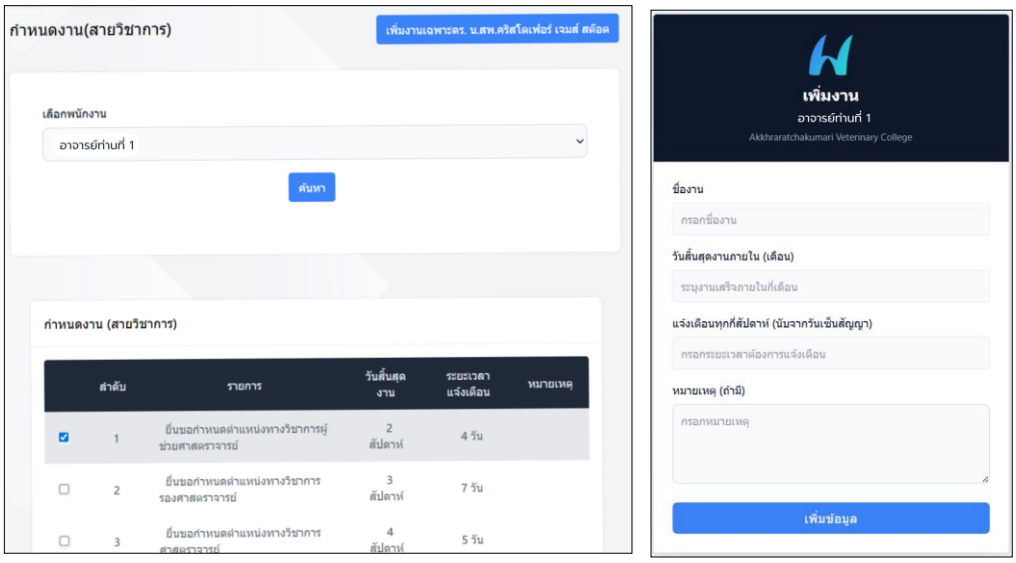

**ภาพที่ 5** หน้าจอรายละเอียดข้อมูลการบันทึกภาระงาน

**ภาพที่ 6** หน้าจอรายละเอียดข้อมูลการมาทำงานตรงเวลา

3) **เมนู “กำหนดงาน”** ทำหน้าที่ในการให้ผู้ใช้ หรือ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล กำหนดงานของบุคลากรในหน่วยงาน รายบุคคล ว่าจะต้องทำอะไรบ้าง เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของมหาวิทยาลัย โดยสามารถเลือกชุดงานตามประเภทสัญญา หรืองานที่ต้องทำเฉพาะบุคคล หลังจากผู้ใช้ป้อนข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะทำการประมวลผลจากวันที่เซ็นสัญญา วันที่สิ้นสุดงาน และระยะเวลาแจ้งเตือน เพื่อคำนวณหาวันที่จะต้องทำการแจ้งเตือนผ่าน LINE Messenger API ไปยังเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคลต่อไป



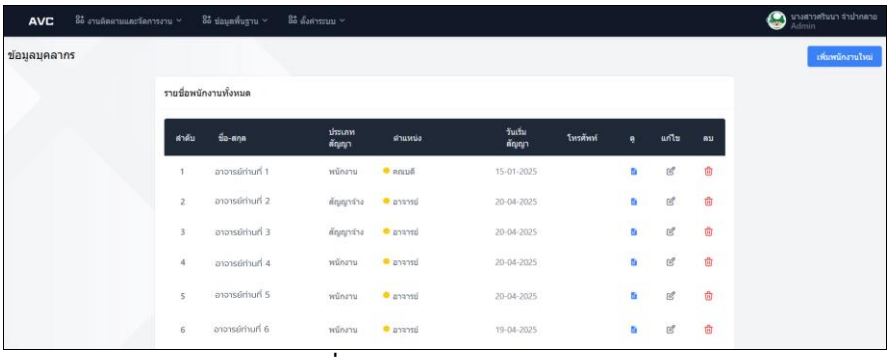

**ภาพที่ 7** หน้าจอการกำหนดงาน




**ภาพที่ 8** หน้าจอการกำหนดงานเฉพาะบุคคล

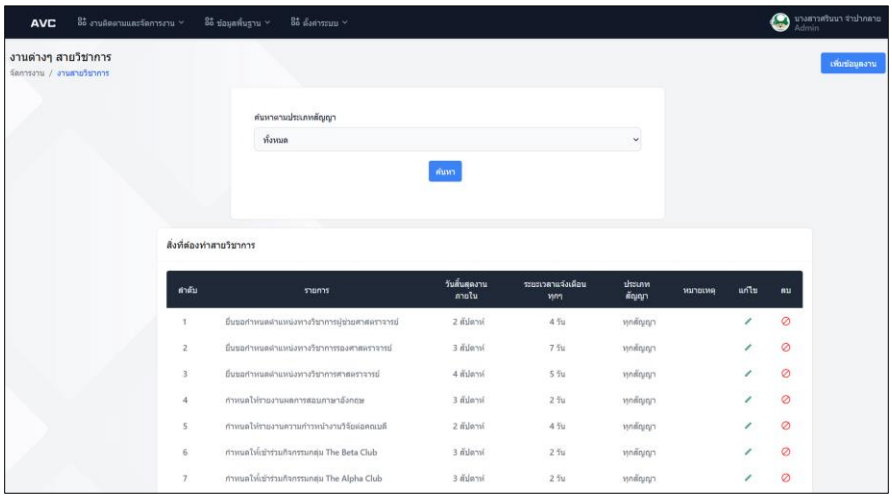
4.2 **เมนู “ข้อมูลพื้นฐาน”** ทำหน้าที่ในจัดการข้อมูลพื้นฐานแบ่งออกเป็น ข้อมูลบุคลากร และข้อมูลงาน แบ่งออกเป็น 2 เมนูย่อยดังต่อไปนี้

1) **เมนู “ข้อมูลบุคลากร”** ทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูลรายละเอียดงานต่างๆ จำนวนงานที่คงค้าง รายบุคคลเพื่อช่วยในการติดตามงานจากบุคลากร



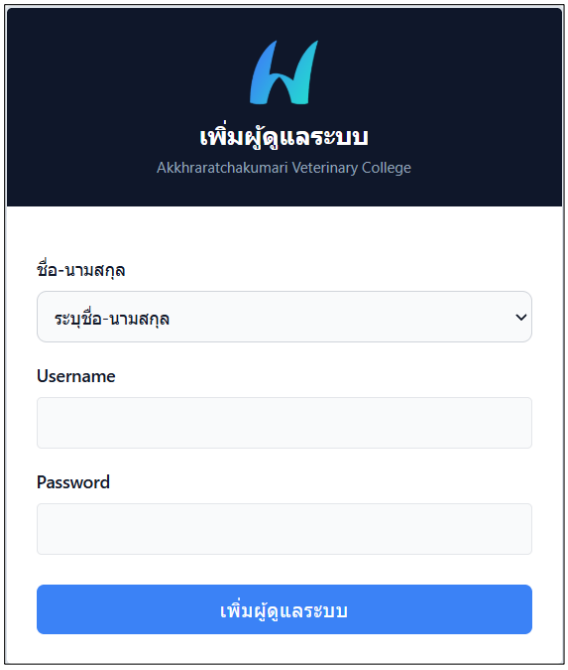

**ภาพที่ 9** หน้าจอการข้อมูลบุคลากร

2) **เมนู "ข้อมูลงาน"** ทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูลรายละเอียดงานต่างๆ จำนวนงานที่คงค้าง รายบุคคลเพื่อช่วยในการติดตามงานจากบุคลากร




**ภาพที่ 10** หน้าจองานของสายวิชาการ

**4.3 เมนู "ตั้งค่าระบบ"** ทำหน้าที่ในจัดการข้อมูลผู้ดูแลระบบ




**ภาพที่ 11** หน้าจอการเพิ่มผู้ดูแลระบบ

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบ ได้ดำเนินการจำลองแผนการทดสอบโดยปรับเปลี่ยนระยะเวลาสิ้นสุดของงานจากระดับปีให้เป็นระดับสัปดาห์ เพื่อให้สามารถประเมินผลได้ภายในระยะเวลาที่สั้นลง จากนั้นคำนวณ และแสดงผลลัพธ์วันที่จะต้องแจ้งเตือน ไปยังเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล โดยสามารถอธิบายวิธีคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์วันแจ้งเตือน ดังต่อไปนี้

จากข้อมูลตั้งต้น สามารถกำหนดตัวแปรต้นทางที่ผู้ใช้กรอกด้วยตนเอง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) **ข้อมูลบุคลากร**

- $Name_i$ : ชื่อ-สกุลของบุคลากร
- $S_i$ : วันเริ่มต้นสัญญาของบุคลากร $i$

| ชื่อ-สกุล | วันเริ่มต้นสัญญาของบุคลากร |
|---|---|
| อาจารย์ท่านที่ 1 | 20-04-2025 |
| อาจารย์ท่านที่ 2 | 20-04-2025 |
| อาจารย์ท่านที่ 3 | 20-04-2025 |
| อาจารย์ท่านที่ 4 | 20-04-2025 |
| อาจารย์ท่านที่ 5 | 20-04-2025 |
| อาจารย์ท่านที่ 6 | 19-04-2025 |

**ภาพที่ 12** ตัวอย่างข้อมูลบุคลากรตั้งต้น

2) **ข้อมูลงานที่ต้องติดตาม**

- $Task_j$: ชื่องาน

- $W_j$ : ระยะเวลาถึงวันสิ้นสุดงาน (หน่วย: สัปดาห์)
- $\delta_j$ : ความถี่ของการแจ้งเตือน (หน่วย: วัน)
- $Type_j$ : ประเภทของสัญญา

| ชื่องาน | วันสิ้นสุดงาน (หน่วย: สัปดาห์) | ความถี่ของการแจ้งเตือน (หน่วย: วัน) | ประเภทของสัญญา |
|---|---|---|---|
| งานที่ 1 | 2 | 4 | พนักงาน |
| งานที่ 2 | 3 | 7 | พนักงาน |
| งานที่ 3 | 4 | 5 | พนักงาน |
| งานที่ 4 | 3 | 2 | สัญญาจ้าง |
| งานที่ 5 | 2 | 4 | สัญญาจ้าง |
| งานที่ 6 | 3 | 2 | สัญญาจ้าง |

**ภาพที่ 13** ตัวอย่างข้อมูลงานที่ต้องติดตามตั้งต้น

เมื่อทราบตัวแปรตั้งต้นแล้ว เข้าสู่กระบวนการคำนวณ 2 ส่วนดังนี้

1) **การคำนวณวันกำหนดส่งงาน (Due Date)** จะได้จากการเพิ่มจำนวนสัปดาห์เข้าไปในวันเริ่มต้นสัญญา โดยใช้สมการ :

$$D_{ij} = S_i + 7.W_j \quad (1)$$

โดยที่ $D_{ij}$ : วันกำหนดส่งงานของบุคลากร $i$ กำหนดส่งงานของ $j$

$7$ : จำนวนวันในหนึ่งสัปดาห์

2) **การคำนวณวันแจ้งเตือน** ระบบจะทำการสร้างลำดับของวันแจ้งเตือน $A_{ijk}$ โดยเริ่มจากวันเริ่มต้นสัญญา $S_i$ ไปจนถึงวันสิ้นสุด $D_{ij}$ โดยเว้นระยะห่างทุก ๆ $D_{ij}$ วัน ดังสมการ :

$$A_{ijk} = S_i + \mathrm{k}.\delta_j \text{ โดยที่ } A_{ijk} \leq D_{ij}, k = 0,1,2,\ldots \quad (2)$$

ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ชุดของวันแจ้งเตือนทั้งหมดที่ควรเกิดขึ้นสำหรับบุคลากรแต่ละคนในแต่ละรายการงาน

| ชื่อ | วันเริ่มสัญญา | งาน | ส่งใน (สัปดาห์) | แจ้งทุก (วัน) | วันกำหนดส่ง | วันแจ้งเตือน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| อาจารย์ท่านที่ 1 | 20 เม.ย. 2568 | งานที่ 1 | 2 สัปดาห์ | 4 วัน | 4 พ.ค. 2568 | 20, 24, 28 เม.ย., 2 พ.ค. |

**ภาพที่ 14** ตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณวันกำหนดส่งงาน และวันแจ้งเตือน

จากภาพที่ 14 ตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณวันกำหนดส่งงาน และวันแจ้งเตือน จะได้ผลลัพธ์การแจ้งเตือนไปยังเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล จำนวน 4 วัน คือ 20, 24, 28 เมษายน 2568 และ 2 พฤษภาคม 2568

จากวิธีคิดข้างต้น ทำให้ทราบ วันกำหนดส่งงาน และวันแจ้งเตือน ของแต่ละงาน และแต่ละบุคคลแล้วนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองแผนการทดสอบระบบโดยใช้ข้อมูลจำลองการแจ้งเตือน จำนวน 835 ครั้ง โดยใช้รายชื่ออาจารย์จำนวน 24 คน งานจำนวน 15 งาน โดยข้อมูลที่ใช้ในการจำลองเพื่อทดสอบระบบนี้ มีรูปแบบสัญญา เงื่อนไขการปฏิบัติงาน กำหนดเวลา และช่วงเวลาการแจ้งเตือนถูกกำหนดให้สอดคล้องกับสถิติการดำเนินงานจริงตามโครงสร้างมาตรฐานของสัญญาจ้างบุคลากรที่ใช้ในหน่วยงาน และโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในระบบเป็นรูปแบบตาราง Google Sheet ซึ่งสามารถนำเข้าข้อมูลและปรับเปลี่ยนเป็นข้อมูลจริง ได้โดยไม่ต้องแก้โค้ดหลัก ดังรายละเอียดการจำลองแผนการทดสอบระบบต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** แบบจำลองแผนการทดสอบระบบ

| ลำดับ | รายชื่ออาจารย์ | จำนวนครั้งที่แจ้งเตือน คำนวณแบบ Manual | จำนวนครั้งที่แจ้งเตือน คำนวณด้วยระบบ | ค่าความถูกต้อง |
|---|---|---|---|---|
| 1 | อาจารย์ท่านที่ 1 | 48 | 48 | 100% |
| 2 | อาจารย์ท่านที่ 2 | 88 | 88 | 100% |
| 3 | อาจารย์ท่านที่ 3 | 22 | 22 | 100% |
| 4 | อาจารย์ท่านที่ 4 | 18 | 18 | 100% |
| 5 | อาจารย์ท่านที่ 5 | 10 | 10 | 100% |
| 6 | อาจารย์ท่านที่ 6 | 50 | 50 | 100% |
| 7 | อาจารย์ท่านที่ 7 | 18 | 18 | 100% |
| 8 | อาจารย์ท่านที่ 8 | 70 | 70 | 100% |
| 9 | อาจารย์ท่านที่ 9 | 14 | 14 | 100% |
| 10 | อาจารย์ท่านที่ 10 | 20 | 20 | 100% |
| 11 | อาจารย์ท่านที่ 11 | 16 | 16 | 100% |
| 12 | อาจารย์ท่านที่ 12 | 25 | 25 | 100% |
| 13 | อาจารย์ท่านที่ 13 | 75 | 75 | 100% |
| 14 | อาจารย์ท่านที่ 14 | 20 | 20 | 100% |
| 15 | อาจารย์ท่านที่ 15 | 16 | 16 | 100% |
| 16 | อาจารย์ท่านที่ 16 | 67 | 67 | 100% |
| 17 | อาจารย์ท่านที่ 17 | 33 | 33 | 100% |

**ตารางที่ 1** จำลองแผนการทดสอบระบบ (ต่อ)

| ลำดับ | รายชื่ออาจารย์ | จำนวนวันแจ้งเตือน คำนวณแบบ Manual | จำนวนวันแจ้งเตือน คำนวณด้วยระบบ | ค่าความถูกต้อง |
|---|---|---|---|---|
| 18 | อาจารย์ท่านที่ 18 | 22 | 22 | 100% |
| 19 | อาจารย์ท่านที่ 19 | 20 | 20 | 100% |
| 20 | อาจารย์ท่านที่ 20 | 24 | 24 | 100% |
| 21 | อาจารย์ท่านที่ 21 | 80 | 80 | 100% |
| 22 | อาจารย์ท่านที่ 22 | 43 | 43 | 100% |
| 23 | อาจารย์ท่านที่ 23 | 20 | 20 | 100% |
| 24 | อาจารย์ท่านที่ 24 | 16 | 16 | 100% |
| | | **835** | **835** | **100%** |

เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น งานวิจัยได้นำระบบเข้าสู่กระบวนการทดสอบและประเมินความพึงพอใจ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความถูกต้อง ความครบถ้วน และความเหมาะสมของระบบในด้านต่าง ๆ
2. การประเมินโดยผู้ใช้จริง (User Acceptance Testing: UAT) เพื่อทดสอบการใช้งานและความพึงพอใจต่อระบบในสภาพแวดล้อมจริง

**ตารางที่ 2** สรุปผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ

| ผลการประเมิน | $\bar{x}$ | $S.D.$ | ระดับประสิทธิภาพ |
|---|---|---|---|
| **ด้านตรงตามความต้องการ (Function Requirement)** | | | |
| ความสะดวกในการเข้าสู่ระบบ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการเพิ่มข้อมูล | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการปรับปรุงข้อมูล | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการนำเสนอข้อมูล | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการออกรายงานผลข้อมูล | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ระบบฐานข้อมูลมีความถูกต้องครบถ้วน | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความสามารถในการเรียกใช้งานในระบบฐานข้อมูล | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการแจ้งเตือน | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความสามารถในการออกแบบระบบได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ระบบสามารถอำนวยความสะดวก เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำงานแบบเดิม | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |

**ตารางที่ 2** สรุปผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ (ต่อ)

| ผลการประเมิน | $\bar{x}$ | $S.D.$ | ระดับประสิทธิภาพ |
|---|---|---|---|
| **ด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ (Function Test)** | | | |
| ความถูกต้องของการทำงานระบบในภาพรวม | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความถูกต้องของระบบในการจัดประเภทของข้อมูล | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความถูกต้องของระบบในการเพิ่มข้อมูล | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความถูกต้องของระบบในการปรับปรุงข้อมูล | 4.33 | 0.58 | ดี |
| ความถูกต้องของระบบในการลบข้อมูล | 4.33 | 0.58 | ดี |
| ความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความน่าเชื่อถือของระบบ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความถูกต้องของกำหนดการแจ้งเตือนจากการประมวลผล | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความสามารถของระบบในการแจ้งเตือนครบถ้วน ถูกต้อง | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความถูกต้องของการรายงานผลต่างๆ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| **ด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test)** | | | |
| ระบบที่พัฒนาง่ายต่อการใช้งาน | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวม | 4.33 | 0.58 | ดี |
| ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความสะดวกในการเข้าใช้ระบบ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ความน่าใช้ของระบบในภาพรวม | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| **ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security Test)** | | | |
| การกำหนดสิทธิ์การเข้าใช้ และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้เข้าใช้ระบบ | 4.67 | 0.58 | ดีมาก |
| ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูล | 4.33 | 0.58 | ดี |
| การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิ์ผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| การตรวจสอบสิทธิ์ก่อนใช้งานของผู้ใช้ระบบในระดับต่าง ๆ | 5.00 | 0.00 | ดีมาก |
| ฐานข้อมูลมีระบบการสำรองข้อมูล | 4.00 | 1.00 | ดีมาก |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.80** | **0.26** | **ดีมาก** |

จากตารางที่ 2 ในส่วนของการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ มีการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) = 4.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ($S.D.$) = 0.26

**ตารางที่ 3** สรุปผลการประเมินโดยผู้ใช้จริง (User Acceptance Testing: UAT)

| ผลการประเมิน | $\overline{x}$ | ระดับประสิทธิภาพ |
|---|---|---|
| **ความพอใจด้านการออกแบบโปรแกรม** | | |
| การออกแบบหน้าจอมีความเป็นสัดส่วน | 5 | ดีมาก |
| เมนูที่ใช้ในระบบเข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน | 5 | ดีมาก |
| ลำดับรายการในเมนูมีความเหมาะสม | 5 | ดีมาก |
| มีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลไม่ซับซ้อน | 5 | ดีมาก |
| มีรูปแบบการนำเสนอข้อมูลไม่ซับซ้อน | 5 | ดีมาก |
| สามารถออกจากโปรแกรมได้เมื่อต้องการ | 5 | ดีมาก |
| **ความพอใจด้านการจัดเก็บข้อมูล** | | |
| มีระบบอำนวยความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูลให้กับผู้กรอกข้อมูล | 5 | ดีมาก |
| สามารถ เพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูล ตามความต้องการได้ | 4 | ดี |
| **ความพอใจด้านการสืบค้นข้อมูล** | | |

| | | |
|---|---|---|
| การค้นหาข้อมูลมีความสะดวก | 4 | ดี |
| การค้นหาข้อมูลมีความรวดเร็ว | 5 | ดีมาก |
| สามารถค้นหาข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ | 5 | ดีมาก |
| **ความพอใจด้านการนำเสนอข้อมูล** | | |
| สามารถแสดงผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว | 5 | ดีมาก |
| ข้อมูลที่แสดงผลมีความถูกต้อง | 5 | ดีมาก |
| ข้อมูลที่แสดงผลมีความครบถ้วน | 5 | ดีมาก |
| ข้อมูลที่แสดงผลตรงกับขอบข่ายของงาน | 5 | ดีมาก |
| ความเป็นปัจจุบันของข้อมูลที่ได้จากการสืบค้น | 5 | ดีมาก |
| **ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security Test)** | | |
| การแจ้งเตือนมีความถูกต้อง | 5 | ดีมาก |
| การแจ้งเตือนมีความครบถ้วน | 5 | ดีมาก |
| สามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานได้ เมื่อเทียบกับวิธีการทำงานแบบเดิม | 5 | ดีมาก |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.89** | **ดีมาก** |

จากตารางที่ 2 ในส่วนของการประเมินโดยผู้ใช้จริง มีการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) = 4.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน ($S.D.$) = 0.00 เนื่องจากมีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในส่วนนี้เพียง 1 คน จึงไม่มีการกระจายข้อมูล

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนการดำเนินงานตามเงื่อนไขสัญญาของบุคลากร ที่พัฒนาระบบตามหลักการ Systems development life cycle : SDLC โดยนำเทคโนโลยีมาช่วยในการวิเคราะห์ และประมวลผล เพื่อคำนวณหาวันที่จะต้องแจ้งเตือนตามงานต่างๆ ของบุคลากรในหน่วยงาน ช่วยเป็นเครื่องมือให้กับเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล ในการช่วยจดจำงานต่างๆ ซึ่งมีปริมาณมาก อีกทั้งมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลา วันสิ้นสุดงาน และหลักฐานต่างๆ ที่ต้องใช้จะต้องติดตามจากบุคลากรทุกคนในหน่วยงาน การทดสอบระบบจากแผนการจำลองจำนวน 835 รอบ พบว่าระบบมีค่าความถูกต้องในการประมวลผล 100% มีผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศเพื่อยอมรับระบบ อยู่ในระดับดีมาก และผลประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้จริง อยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในงานบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญ และช่วยให้เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล ได้มีเครื่องมือในการช่วยจดจำและแจ้งเตือน ติดตามงานต่างๆ จากบุคลากรในหน่วยงาน แก้ปัญหาจำนวนงานที่มีปริมาณมาก และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป รับผิดชอบงานฝ่ายบุคคล และช่วยให้บุคลากรในหน่วยงานดำเนินงานตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด ตามนโยบายมหาวิทยาลัย

เมื่อเชื่อมโยงกับแนวโน้มเทคโนโลยีด้านการบริหารทรัพยากรบุคคล (HR Tech) ในปัจจุบัน พบว่ามีการนำระบบซอฟต์แวร์ด้านทรัพยากรบุคคลมักออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันสื่อสารที่บุคลากรใช้อย่างเป็นประจำ เช่น Slack หรือ Microsoft Teams เพื่อให้ระบบ HR สามารถส่งแจ้งเตือนหรือข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและสะดวก (Bartram, 2025) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร และลดภาระงานฝ่ายบุคคล งานวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวโน้มดังกล่าว โดยเลือกใช้ LINE ซึ่งเป็นเครื่องมือที่บุคลากรคุ้นเคยอยู่แล้ว ทำให้ลดอุปสรรคในการเรียนรู้ระบบใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมของหน่วยงาน ซึ่งใช้การโทรศัพท์หรือส่งอีเมลติดตามงาน พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีข้อได้เปรียบด้านความรวดเร็ว ความแม่นยำ และความสะดวกในการเข้าถึงทุกที่ทุกเวลา อีกทั้งยังสามารถเก็บประวัติการแจ้งเตือน เพื่อนำมาวิเคราะห์การทำงานย้อนหลังได้ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของแนวคิด Data-driven HR (KCT Blog, 2025) ที่มุ่งใช้ข้อมูลเพื่อปรับปรุงการจัดการบุคลากรอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไม่เพียงช่วยแก้ปัญหาการจัดการงานบุคคลที่มีปริมาณมาก แต่ยังสอดรับกับทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยี HR Tech ในระดับสากล ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่ และเสริมสร้างความตรงต่อเวลาของบุคลากรในหน่วยงาน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lappanitchayakul (2018) ที่พัฒนาระบบแจ้งเตือนผ่าน Email พบว่าระบบของงานวิจัยนี้สามารถเข้าถึงผู้ใช้งานได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากบุคลากรเปิดใช้งาน LINE เป็นประจำ ส่งผลให้อัตราการตอบสนองสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่งานวิจัยของ Hussein & Hassan (2025) ซึ่งศึกษาการใช้เครื่องมือการทำงานร่วมกัน โดยใช้ Slack หรือ Microsoft Teams เหมาะกับองค์กรขนาดใหญ่ แต่ต้องมีการติดตั้งและฝึกอบรมเพิ่มเติม ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับหน่วยงานภาครัฐ ข้อได้เปรียบของงานวิจัยนี้คือการใช้เครื่องมือที่ผู้ใช้คุ้นเคยอยู่แล้ว ทำให้สามารถนำไปใช้จริงได้อย่างรวดเร็วและครอบคลุมบุคลากรทุกระดับ อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีจุดอ่อนและความเสี่ยงที่ควรพิจารณา เช่น การพึ่งพา LINE API มากเกินไป ซึ่งอาจกระทบต่อการแจ้งเตือนหาก LINE ปรับเปลี่ยน API หรือหยุดให้บริการ นอกจากนี้ การรับส่งข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ อาจมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคล จึงควรพัฒนาแผนสำรอง เช่น การรองรับการแจ้งเตือนผ่าน Email หรือ Web Application และเพิ่มมาตรการด้านการเข้ารหัสข้อมูล (encryption) เพื่อป้องกันการรั่วไหล ทั้งนี้ การประเมินความเสี่ยงและวางแผนรองรับจะช่วยให้ระบบมีความยั่งยืนและสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในอนาคตได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนจากงานวิจัยสถาบัน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนางานวิจัยภายในมหาวิทยาลัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

น้ำลิน เทียมแก้ว. (2561). *การพัฒนาระบบบริการสารสนเทศเพื่อการวิจัย.* สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์. (2551). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบ.* ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เลขา กบิลสิงห์, วรรณดี สุทธิศักดิ์ และ พรทิพย์ พงษ์สวัสดิ์. (2563). การพัฒนาระบบฐานข้อมูลงานวิจัยโดยใช้ระบบสารสนเทศของบุคลากรมหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม. วารสารวิชาการ ปขมท., *9*(1), 57–67.

Bartram, F. (2025, May 30). *The 11 hottest HR technology trends of 2025 and beyond*. People Managing People. https://peoplemanagingpeople.com/hr-operations/hr-technology-trends/

Hussein, R. M., & Hassan, B. A. (2025). Collaboration tools and their role in agile software projects. arXiv. https://arxiv.org/abs/2506.10985

KCT Blog. (2025, January 2). Data-driven HR: Using data to improve workforce management. Human

Lappanitchayakul, P. (2018). Design of alert systems via email and SMS for network monitoring. Journal of Network Management, 12(3), 45–56.

Marler, J. H., & Parry, E. (2021). Human resource management, strategic involvement and e-HRM technology. The International Journal of Human Resource Management, 32(1), 20–45. https://doi.org/10.1080/09585192.2020.1749687

Sommerville, I. (2016). Software engineering (10th ed.). Pearson Education.

Tziner, A., & Rabenu, E. (2018). Improving performance through human resource management: The influence of the person-organization fit on performance and satisfaction. Edward Elgar Publishing.

# การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้

# The Development of Virtual Reality to Tourism Promoting of Hat Khanom-Mu Ko Thale Tai National Park

**กลิ่นสุคนท์ นิ่มกาญจนา[1*], สฤษดิ์ ปานจันทร์[2]**

**Klinsukon Nimkanjana[1*], Sarit Panjan[2]**

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[1]Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

klinsukon.n@rmursv.ac.th

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[2]Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

sarit.p@rmursv.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อเสมือนจริงสำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยวในเขตอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการนำเสนอข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในรูปแบบดังกล่าว การวิจัยมีลักษณะเป็นการวิจัยและพัฒนา (R&D) โดยดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ พัฒนาเนื้อหาและสื่อในรูปแบบวิดีโอ 360 องศา รวมถึงสร้างแอปพลิเคชันเพื่อเผยแพร่สื่อเสมือนจริงดังกล่าว เครื่องมือวิจัย คือ แบบสอบถามความพึงพอใจ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เจ้าหน้าที่อุทยาน ผู้ประกอบการท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยว จำนวน 50 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ผลการวิจัย พบว่า 1) สื่อเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นสามารถนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวภายในเขตอุทยานได้อย่างสมจริงและน่าสนใจ โดยใช้เทคนิควิดีทัศน์แบบ 360 องศา และ 2) ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อสื่อเสมือนจริงในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะด้านการใช้งาน ($\bar{X}$= 4.67) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{X}$= 4.64) และด้านเนื้อหา ($\bar{X}$= 4.54) โดยรวมผู้ใช้งานเห็นว่าสื่อเสมือนจริงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว และสนับสนุนความสนใจในการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิผล

**คำสำคัญ:** สื่อเสมือนจริง อุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ การท่องเที่ยวเสมือนจริง ความจริงเสมือน

**Abstract**

This research aimed to develop virtual media to promote tourism in Hat Khanom–Mu Ko Thale Tai National Park and to study user satisfaction toward the presentation of ecotourism information in a virtual format. The study employed a research and development (R&D) methodology, beginning with data collection from key tourist attractions, followed by content development and the creation of a 360-degree video-based virtual

media. An application was then developed to deliver this virtual content. The research tools included a satisfaction questionnaire administered to 50 purposively selected participants, comprising park staff, tourism operators, and tourists. The findings revealed that (1) the developed virtual media effectively presented key tourist attractions within the national park using immersive 360-degree video techniques, and (2) user satisfaction with the virtual media was at the highest level across all aspects, particularly in terms of usability ($\bar{X}$ = 4.67), perceived benefits ($\bar{X}$ = 4.64), and content quality ($\bar{X}$ = 4.54). Overall, users found the virtual media engaging, easy to use, and an effective tool for promoting tourism in Hat Khanom–Mu Ko Thale Tai National Park, while also expressing interest in experiencing similar virtual content for other tourist destinations.

**Keywords:** Virtual Media, Hat Khanom-Mu Ko Thale Tai, Virtual Tourism, Virtual Reality

**1. บทนำ**

การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ (Ecotourism) เป็นแนวโน้มสำคัญที่ได้รับความสนใจในระดับโลก เนื่องจากส่งเสริมการท่องเที่ยวควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการเรียนรู้วัฒนธรรมท้องถิ่น อุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีศักยภาพสูงในด้านนี้ โดยมีภูมิทัศน์ธรรมชาติที่สวยงาม เช่น หาดทรายขาวที่โค้งยาวขนานไปกับทิวสน ปะการังที่อุดมสมบูรณ์ทั้งปะการังจาน ปะการังสมอง และปะการังเขากวาง ตลอดจนสัตว์ทะเลหายากอย่างโลมาสีชมพูที่สามารถพบเห็นได้บ่อย (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย ,2562) นอกจากนี้ยังมีแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่น่าสนใจ เช่น เกาะนุ้ยนอก ซึ่งมีตำนานเกี่ยวกับหลวงปู่ทวดเหยียบน้ำทะเลจืด แม้อุทยานแห่งนี้จะมีทรัพยากรท่องเที่ยวที่โดดเด่น แต่ยังขาดการส่งเสริมและประชาสัมพันธ์ในรูปแบบที่ทันสมัยและดึงดูดใจนักท่องเที่ยวในยุคดิจิทัล คณะผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวให้เข้าถึงง่ายและสร้างประสบการณ์ที่แตกต่าง โดยเฉพาะเทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality: VR) ซึ่งสามารถจำลองสภาพแวดล้อมจริงให้ผู้ใช้รู้สึกเหมือนได้อยู่ในสถานที่นั้นจริง ๆ ผ่านการรับรู้ทางสายตาและการโต้ตอบแบบเสมือน (อัจฉราพรรณ โพธิ์ทอง, 2561)

จากแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2566–2570 กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาได้กำหนดให้การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นหนึ่งในกลยุทธ์สำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมท่องเที่ยว โดยเน้นการนำเทคโนโลยีมาสร้างประสบการณ์ที่สะดวก ปลอดภัย และน่าประทับใจให้แก่นักท่องเที่ยว (คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ, 2560) อีกทั้งในยุคหลังการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 เทคโนโลยี VR ได้กลายเป็นทางเลือกใหม่ในการนำเสนอประสบการณ์การท่องเที่ยวแบบไร้พรมแดน ซึ่งหลายประเทศได้เริ่มใช้ในการโปรโมตแหล่งท่องเที่ยว เช่น แคนาดาและออสเตรเลียที่ผลิตสื่อ VR ให้ผู้ใช้สัมผัสสถานที่ท่องเที่ยวในรูปแบบ 360 องศา (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม, 2562) ในประเทศไทย แม้จะมีการใช้ VR ในบางแหล่งท่องเที่ยว เช่น หัวหิน (พรพิมล อุดมเกษมทรัพย์, 2561) และเกาะพะงัน (ดลพร มีฟ้า, 2562) แต่ยังไม่มีการพัฒนาในพื้นที่อุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ การนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวในรูปแบบสื่อเสมือนจริงจึงถือเป็นแนวทางใหม่ที่จะช่วยสร้างประสบการณ์ที่น่าสนใจ เพิ่มความเข้าถึง และส่งเสริมภาพลักษณ์ด้านการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในอุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ และพัฒนาเป็นสื่อเสมือนจริงในรูปแบบวิดีโอ 360 องศา เพื่อจัดทำแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ในการส่งเสริมและประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรมให้กับสาธารณชนได้ในวงกว้าง

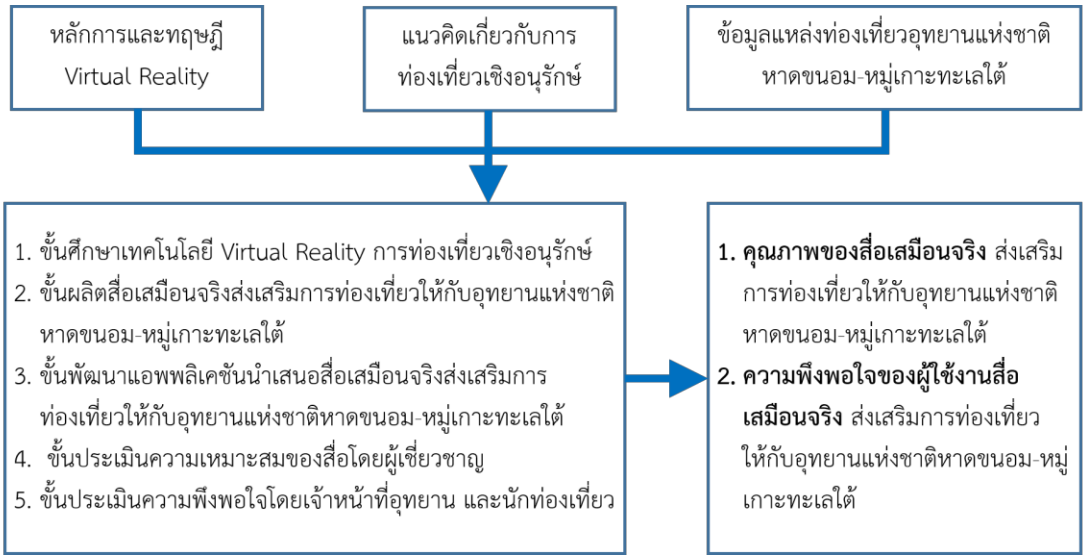
## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสื่อเสมือนจริงแหล่งท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้

2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่อุทยาน ผู้ประกอบการท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยวที่มีต่อเทคโนโลยีการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในรูปแบบสื่อเสมือนจริง

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ กรอบแนวคิดของการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** กรอบแนวความคิดของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินผลสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ โดยมีกรอบแนวคิดหลักแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การศึกษาทฤษฎีและบริบทที่เกี่ยวข้อง

เพื่อวางรากฐานเชิงทฤษฎีและแนวทางในการพัฒนาสื่อเสมือนจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลด้านต่าง ๆ ได้แก่ หลักการของเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว แนวคิดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และศึกษาข้อมูลพื้นที่จริงของอุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ และกิจกรรมท่องเที่ยวที่โดดเด่น เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพในการนำเสนอข้อมูล

2. การออกแบบและพัฒนาสื่อเสมือนจริง

การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

2.1 ศึกษาเทคโนโลยีเสมือนจริง และแนวทางการนำเสนอเนื้อหาการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เพื่อเลือกเทคนิคและรูปแบบการนำเสนอที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานในบริบทการท่องเที่ยว

2.2 ผลิตสื่อเสมือนจริง ดำเนินการบันทึกข้อมูลในรูปแบบวิดีโอ 360 องศา ครอบคลุมแหล่งท่องเที่ยวสำคัญภายในอุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้

2.3 พัฒนาแอปพลิเคชัน ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันที่สามารถนำเสนอเนื้อหาเสมือนจริงดังกล่าว โดยมุ่งเน้นการใช้งานที่สะดวก รองรับการเข้าถึงข้อมูลบนอุปกรณ์พกพา

2.4 ประเมินคุณภาพของสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องจะทำการประเมินความเหมาะสมของสื่อในด้านเนื้อหา ความถูกต้อง ความน่าสนใจ และความสมจริง

2.5 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ทำการเก็บข้อมูลความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ใช้งานที่ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่อุทยาน และนักท่องเที่ยว เพื่อสะท้อนประสบการณ์ในการใช้สื่อ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อไป

3. การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

หลังจากการพัฒนาและนำสื่อเสมือนจริงไปใช้งานจริงแล้ว งานวิจัยได้ดำเนินการประเมินผลใน 2 ส่วน ได้แก่

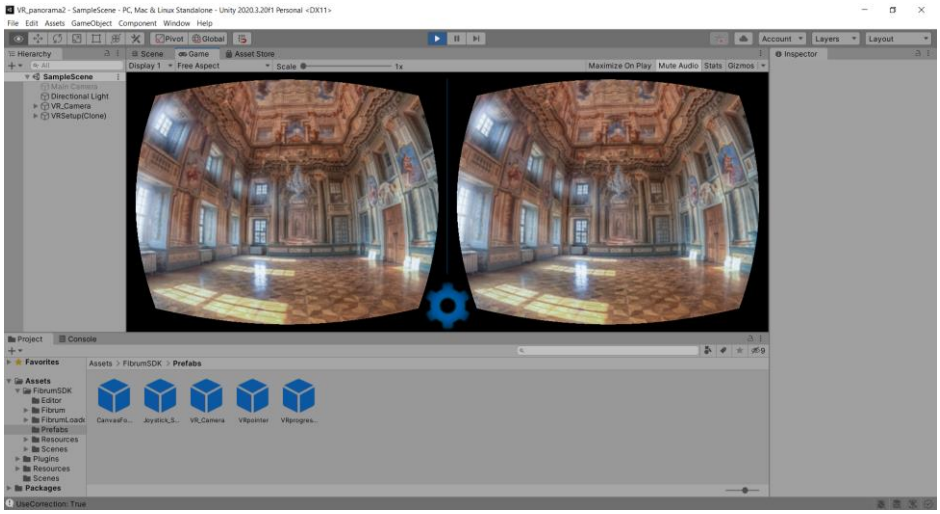
3.1 การประเมินคุณภาพของสื่อเสมือนจริงโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน และความเหมาะสมของสื่อเสมือนจริงในการส่งเสริมการท่องเที่ยว

3.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากเจ้าหน้าที่อุทยาน ผู้ประกอบการท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยวที่ได้ทดลองใช้งานสื่อเสมือนจริง เพื่อวิเคราะห์ความน่าสนใจ และศักยภาพของสื่อในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ และศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อสื่อดังกล่าว โดยกระบวนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว

การพัฒนาสื่อเสมือนจริงโดยใช้ซอฟต์แวร์ Unity3D ซึ่งเป็นเกมเอนจิน (Game Engine) ที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างกราฟิกแบบ 2D และ 3D ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถใช้งานได้ในหลายแพลตฟอร์ม เช่น Android, iOS, Windows, macOS และ Linux มีการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันเสมือนจริงดังภาพที่ 2 ที่สามารถนำเสนอประสบการณ์การท่องเที่ยวผ่านวิดีโอ 360 องศา เพื่อเพิ่มความสมจริงในการรับชม (Jerald, 2015; Unity Technologies, 2020)



**ภาพที่ 2** การสร้างแอปพลิเคชันเสมือนจริงด้วยโปรแกรม Unity3D

2. การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของการวิจัย ได้แก่ นักท่องเที่ยว ผู้ประกอบการ และเจ้าหน้าที่อุทยาน โดยไม่สามารถระบุจำนวนประชากรที่แน่นอนได้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ กลุ่มเป้าหมายจากประชากรดังกล่าวจำนวน 50 คน ซึ่งได้จากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยอาศัยความสมัครใจในการเข้าร่วมการประเมินสื่อ

3. การสร้างเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป เช่น เพศ อายุ และสถานภาพของผู้ตอบ (แบบสอบถามแบบเลือกตอบ)

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้สื่อเสมือนจริง โดยประเมิน 3 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้งาน และด้านประโยชน์ที่ได้รับ โดยใช้มาตรวัดแบบ Likert Scale แบ่งออก 5 ระดับ (ตั้งแต่ 1 = น้อยที่สุด ถึง 5 = มากที่สุด)

ตอนที่ 3 คำถามปลายเปิดเพื่อแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม

แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน และหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item–Objective Congruence: IOC) เพื่อประเมินคุณภาพของเครื่องมือก่อนใช้งานจริง (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลโดยนำสื่อเสมือนจริงไปทดลองให้กลุ่มเป้าหมายใช้งาน ประเมินความพึงพอใจผ่านแบบสอบถามที่กำหนด

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากแบบสอบถามจะถูกตรวจสอบความครบถ้วนและความถูกต้องก่อนนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การแปลความหมายของค่าเฉลี่ย พิจารณาตามเกณฑ์ต่อไปนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

| | | | |
|---|---|---|---|
| ค่าเฉลี่ย | 1.00-1.50 | หมายถึง | น้อยที่สุด |
| ค่าเฉลี่ย | 1.51-2.50 | หมายถึง | น้อย |
| ค่าเฉลี่ย | 2.51-3.50 | หมายถึง | ปานกลาง |
| ค่าเฉลี่ย | 3.51-4.50 | หมายถึง | มาก |
| ค่าเฉลี่ย | 4.51-5.00 | หมายถึง | มากที่สุด |

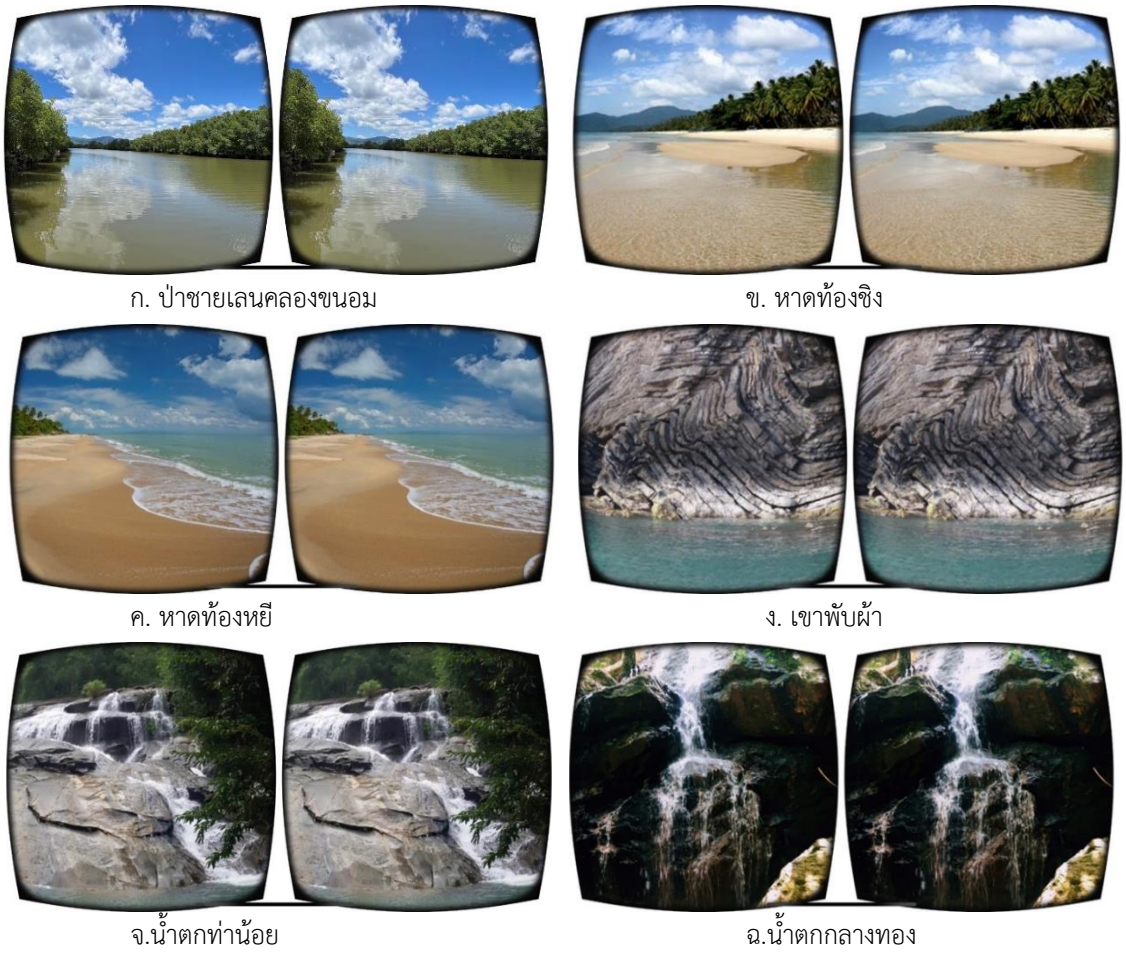
## 4. ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การสร้างสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ จากการดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัย สามารถนำเสนอผลการวิจัย ดังนี้

### 1. ผลการสร้างสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้

ผู้วิจัยมุ่งเน้นการสร้างประสบการณ์เสมือนจริงที่เสริมสร้างความเข้าใจและแรงจูงใจในการเดินทางท่องเที่ยว รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบจากทั้งมุมมองเชิงเทคนิคและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การพัฒนาสื่อเสมือนจริงได้ดำเนินการผ่านกระบวนการออกแบบระบบตามแนวทาง User-Centered Design (UCD) และโครงสร้างเมนูหลักถูกออกแบบภายใต้แนวคิด “ประสบการณ์การท่องเที่ยวแบบมีปฏิสัมพันธ์” (Interactive Experience) โดยแบ่งออกเป็น 5 หมวด ได้แก่ แนะนำอุทยาน สถานที่ท่องเที่ยวเด่น สำรวจแบบ 360 องศา ข้อมูลการเดินทางและติดต่อ และแบบประเมินความพึงพอใจ โดยเมนูสำรวจแบบ

360 องศา แสดงแหล่งท่องเที่ยวจำนวน 6 แหล่ง ดังภาพที่ 3 โดยใช้ภาพพาโนรามาแบบ 360 องศา ที่มีความละเอียด 8192 x 4096 พิกเซล พร้อมมีเสียงบรรยายและเอฟเฟกต์เสียงเพื่อเสริมความสมจริง ส่วนแอปพลิเคชันสามารถรันได้บนอุปกรณ์ Android และ Windows โดยรองรับการใช้งานทั้งในโหมดปกติ (Non-VR) และโหมดสวมแว่น VR ได้ ตัวอย่างการนำไปใช้ ดังภาพที่ 4



ก. ป่าชายเลนคลองขนอม ข. หาดท้องชิง

ค. หาดท้องหยี ง. เขาพับผ้า

จ.น้ำตกท่าน้อย ฉ.น้ำตกกลางทอง

**ภาพที่ 3** การแสดงผลภาพเสมือนจริง 360 องศา สถานที่ท่องเที่ยวในเขตอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้

**ภาพที่ 4** ตัวอย่างการใช้งานแอปพลิเคชันสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้

**2. ผลการประเมินคุณภาพของสื่อเสมือนจริงโดยผู้เชี่ยวชาญ**

การประเมินคุณภาพของสื่อเสมือนจริงโดยผู้เชี่ยวชาญ ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อเสมือนจริง ด้านการท่องเที่ยว และด้านการออกแบบสื่อ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพของสื่อ 3 ด้าน และมีการให้ข้อเสนอแนะ ผลการประเมิน สรุปได้ ดังนี้

1. ด้านเนื้อหา ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าข้อมูลที่นำเสนอในสื่อมีความครบถ้วน ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ของอุทยานฯ โดยเฉพาะการอธิบายจุดเด่นของแต่ละเกาะ เช่น ป่าชายเลนคลองขนอม หาดท้องหยี และหาดท้องชิง ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจบริบททางธรรมชาติได้อย่างชัดเจน ผลการประเมินด้านเนื้อหาอยู่ในระดับมากที่สุด

2. ด้านการใช้งาน ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าส่วนติดต่อผู้ใช้งานของแอปพลิเคชันมีความเรียบง่าย เหมาะกับผู้ใช้ทั่วไป การควบคุมและนำทางภายในระบบทำได้ไม่ซับซ้อน มีข้อเสนอแนะให้เพิ่มไอคอนช่วยเหลือ (Help) สำหรับผู้ใช้งานครั้งแรก

3. ด้านความเหมาะสมโดยรวม ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าการออกแบบสื่อเสมือนจริงสามารถตอบโจทย์การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในบริบทพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการเรียนรู้ก่อนการเดินทาง และการส่งเสริมการเข้าถึงของนักท่องเที่ยวที่มีข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณ ผลการประเมินด้านความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก

**3. ผลการศึกษาความพึงพอใจสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้**

**ตารางที่ 1** จำนวนและร้อยละข้อมูลทั่วไป จำแนกตามสถานภาพผู้ตอบ

| สถานภาพ | จำนวน | ร้อยละ |
|---|---|---|
| นักท่องเที่ยว | 28 | 56 |
| ผู้ประกอบการ | 17 | 34 |
| เจ้าหน้าที่อุทยาน | 5 | 10 |
| **รวม** | **50** | **100.00** |

จากตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละข้อมูลทั่วไป จำแนกตามสถานภาพผู้ตอบแบบประเมิน พบว่า ผู้ตอบแบบประเมินเป็นกลุ่มนักท่องเที่ยวร้อยละ 56.00 รองลงมา คือ กลุ่มผู้ประกอบการ ร้อยละ 34.00 และเจ้าหน้าที่อุทยาน ร้อยละ 10.00

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านเนื้อหา

| ความพึงพอใจต่อการใช้งาน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | $\bar{X}$ | S.D. | แปลผล |
| 1. เนื้อหามีความถูกต้อง | 4.56 | 0.31 | มากที่สุด |
| 2. รูปแบบตัวอักษร ขนาด และสีตัวอักษรมีความชัดเจน อ่านง่าย | 4.23 | 0.14 | มาก |
| 3. คุณภาพของเสียงประกอบมีความชัดเจน | 4.62 | 0.43 | มากที่สุด |
| 4. ภาพวิดีโอสื่อเสมือนจริง 360 องศา มีความสมบูรณ์และชัดเจน | 4.53 | 0.64 | มากที่สุด |
| 5. สื่อเสมือนจริงมีความน่าสนใจ | 4.75 | 0.28 | มากที่สุด |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.54** | **0.31** | **มากที่สุด** |

จากตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านเนื้อหา พบว่า ความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.54) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า สื่อเสมือนจริงมีความน่าสนใจอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.75) คุณภาพของเสียงประกอบมีความชัดเจนอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.62) เนื้อหามีความถูกต้องอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.56) ภาพวิดีโอสื่อเสมือนจริง 360 องศา มีความสมบูรณ์และชัดเจนอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.53) และรูปแบบตัวอักษร ขนาด และสีตัวอักษรมีความชัดเจน อ่านง่าย อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.23) ตามลำดับ โดยภาพรวมผู้ตอบแบบประเมินส่วนใหญ่มีความเห็นไปในทิศทางเดียวกันว่า สื่อเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นมีเนื้อหาที่เหมาะสม ครบถ้วน มีความน่าสนใจ และสามารถถ่ายทอดข้อมูลด้วยภาพและเสียงที่มีคุณภาพ ส่งผลให้เกิดประสบการณ์เสมือนที่น่าประทับใจ

**ตารางที่ 3** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านการใช้งาน

| ความพึงพอใจต่อการใช้งาน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | $\bar{X}$ | S.D. | แปลผล |
| 1. การแสดงผลทำงานได้ถูกต้อง | 4.85 | 0.12 | มากที่สุด |
| 2. ความเร็วของการแสดงผลของสื่อเสมือนจริง มีความเหมาะสม | 4.55 | 0.43 | มากที่สุด |
| 3. ความดังของเสียงในสื่อเสมือนจริง มีความเหมาะสม | 4.46 | 0.71 | มาก |
| 4. เทคนิคนำเสนอข้อมูล มีความน่าสนใจ | 4.80 | 0.22 | มากที่สุด |
| 5. การใช้งานโดยรวม ใช้งานได้ง่าย | 4.67 | 0.45 | มากที่สุด |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.67** | **0.38** | **มากที่สุด** |

จากตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขอระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านการใช้งาน พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้งานในภาพรวมอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.67) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า การแสดงผลทำงานได้ถูกต้องอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.85) เทคนิคนำเสนอข้อมูล มีความน่าสนใจอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.80) การใช้งานโดยรวม ใช้งานได้ง่ายอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.67) ความเร็วของการแสดงผลของสื่อเสมือนจริงมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.55) ความดังของเสียงในสื่อเสมือนจริงมีความเหมาะสมอยู่ใน ระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.46) โดยภาพรวมผู้ตอบแบบประเมินมีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน การใช้งานโดยรวมใช้งานได้ง่าย และใช้เทคนิคนำเสนอที่ทันสมัย

**ตารางที่ 4** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านประโยชน์ที่ได้รับ

| ความพึงพอใจต่อการใช้งาน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | $\bar{X}$ | S.D. | แปลผล |
| 1. สื่อมีความเสถียรภาพ | 4.60 | 0.51 | มากที่สุด |
| 2. การเลือกสถานที่ของการนำเสนอสื่อเสมือนจริง มีความเหมาะสม | 4.65 | 0.16 | มากที่สุด |
| 3. สื่อมีความดึงดูดใจต่อการอยากเดินทางไปท่องเที่ยวสถานที่จริงมากขึ้น | 4.78 | 0.24 | มากที่สุด |
| 4. มีความสนใจอยากชมสื่อเสมือนจริงในสถานที่อื่น ๆ | 4.54 | 0.32 | มากที่สุด |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.64** | **0.30** | **มากที่สุด** |

จากตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อเสมือนจริง ด้านประโยชน์ที่ได้รับ พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้งานในภาพรวมอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.64) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า มีสื่อมีความดึงดูดใจต่อการอยากเดินทางไปท่องเที่ยวสถานที่จริงมากขึ้นอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.78) การเลือกสถานที่ของการนำเสนอสื่อเสมือนจริง มีความเหมาะสมอยู่ใน ระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.65) สื่อมีความเสถียรภาพระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.60) และมีความสนใจอยากชมสื่อเสมือนจริงในสถานที่อื่น ๆ ($\bar{X}$ = 4.54) ตามลำดับ โดยภาพรวมผู้ตอบแบบประเมินมีความคิดเห็นสอดคล้องกันว่าสื่อเสมือนจริง 360 องศา เป็นเครื่องมือที่ส่งเสริมการรับรู้ ความสนใจ และกระตุ้นการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังมีศักยภาพในการต่อยอดเพื่อสร้างการรับรู้และการเข้าถึงสถานที่ท่องเที่ยวอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวางและยั่งยืน

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการวิจัยเรื่อง การพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติหาดขนอม–หมู่เกาะทะเลใต้ พบว่า สื่อเสมือนจริง 360 องศาที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับกลุ่มผู้ใช้เป้าหมายในระดับมากที่สุดในทุกด้าน สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ ดังนี้ 1) ด้านเนื้อหา ผู้ตอบแบบประเมินเห็นว่า สื่อมีความน่าสนใจ มีความถูกต้องของเนื้อหา และมีคุณภาพด้านภาพและเสียงที่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nguyen, S. H. (2025). ที่ระบุว่า สื่อเสมือนจริงที่มีความสมจริงและถูกต้องในเชิงเนื้อหา สามารถเสริมสร้างประสบการณ์ทางการเรียนรู้และกระตุ้นแรงจูงใจในการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ด้านการใช้งาน ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าสื่อมีความเสถียร ใช้งานง่าย และนำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิคที่น่าสนใจ สอดคล้องกับแนวคิดของเกวรินทร์ จันทร์ดำ และคณะ (2565) ที่พบว่า เทคโนโลยีเสมือนจริงที่ได้รับการออกแบบให้มีการโต้ตอบที่ราบรื่นและเข้าใจง่าย จะช่วยเพิ่มความประทับใจและประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ใช้ และ 3) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความรู้สึกอยากเดินทางไปท่องเที่ยวสถานที่จริงมากขึ้น และสนใจที่จะรับชมสื่อเสมือนจริงของสถานที่อื่น ๆ ในอนาคต ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของสื่อเสมือนจริง ในการเป็นเครื่องมือด้านการตลาดเพื่อกระตุ้นการตัดสินใจของนักท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guttentag (2010) ที่ระบุว่าสื่อเสมือนจริงสามารถเป็นเครื่องมือในการส่งเสริมการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยภาพรวมสื่อเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสื่อเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวในยุคดิจิทัล และสามารถต่อยอดเพื่อการนำเสนอแหล่งท่องเที่ยวอื่น ๆ ได้อย่างมีศักยภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้กับงานวิจัยลักษณะเดียวกันที่ผ่านมาพบจุดเด่น คือ การพัฒนาโดยใช้ Unity ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพภาพ แสง และการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าสื่อเสมือนจริงที่พัฒนาด้วย Web-based ทั่วไป และงานวิจัยนี้ใช้การประเมินที่เชื่อมโยงสื่อกับพฤติกรรมของผู้ใช้อย่างเป็นระบบ โดยการวัดผลจากแบบประเมินความพึงพอใจและความตั้งใจในการเดินทางจริง ซึ่งมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่มุ่งเน้นเพียงการสร้างสื่อโดยไม่มีการประเมินผลกระทบ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาการใช้สื่อเสมือนจริงที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวด้วยเหตุผลหลัก 4 ข้อ คือ 1) การให้ประสบการณ์ล่วงหน้าที่ใกล้เคียงของจริง 2) การลดความไม่มั่นใจและความเสี่ยงในการเลือกจุดหมาย 3) การสร้างความรู้สึกมีส่วนร่วมและความเชื่อมโยงทางอารมณ์ และ 4) การจุดประกายแรงบันดาลใจในการเดินทางจริง ดังนั้น พบว่าสื่อเสมือนจริงไม่ใช่เพียงเทคโนโลยีเพื่อความบันเทิงหรือการศึกษา แต่เป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ทางการตลาดที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่มุ่งพัฒนาสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย สรุปข้อเสนอและแนะแนวทางในการนำไปใช้ ดังนี้ 1) ข้อเสนอแนะเชิงการประยุกต์ใช้งาน หน่วยงานภาครัฐและท้องถิ่นด้านการท่องเที่ยวควรนำสื่อเสมือนจริง 360 องศาไปเผยแพร่ในแพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น เว็บไซต์ท่องเที่ยว สื่อสังคมออนไลน์ หรืองานแสดงนิทรรศการ เพื่อสร้างการรับรู้และเพิ่มแรงจูงใจในการเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยว และควรมีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่หรือผู้ประกอบการให้สามารถใช้งานสื่อเสมือนจริงได้อย่างเหมาะสม และ 2) ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการและงานวิจัยในอนาคต ควรศึกษาการใช้สื่อเสมือนจริงร่วมกับเทคโนโลยีอื่น เช่น AR, AI เพื่อเพิ่มความหลากหลายและความสมจริงในการรับชม และควรมีการวิจัยเชิงเปรียบเทียบระหว่างสื่อเสมือนจริงกับสื่อรูปแบบอื่นในการส่งเสริมการท่องเที่ยว เพื่อประเมินประสิทธิผลในด้านต่าง ๆ อย่างรอบด้าน เพื่อพัฒนาสื่อที่เข้าถึงและตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุม

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยให้ทุนสนับสนุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2565 ขอขอบคุณอุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ และสมาคมท่องเที่ยวขนอมที่ให้ข้อมูลสำหรับดำเนินการวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม. (2562). แนวโน้มเทคโนโลยีเพื่อการท่องเที่ยวในอนาคต. https://www.mhesi.go.th

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.). (2562). อุทยานแห่งชาติหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้.https://thai.tourismthailand.org

เกวรินทร์ จันทร์ดำ, สิทธิ เดชวชิราศรีศิริกุล และจารุกัญญ์ จิตรวงศ์นันท์. (2065). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันความเป็นจริงเสมือน 360 องศา ส่งเสริมการท่องเที่ยวรอบกว๊านพะเยา. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 8(2), 67-80.

คณะกรรมการนโยบายการท่องเที่ยวแห่งชาติ. (2560). แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2566 – 2570). กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. https://www.dot.go.th

ดลพร มีฟ้า. (2567). การสร้างสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเกาะพะงัน. RMUTP Research Journal Humanities and Social Sciences, 9 (1), 41-56.

พรพิมล อุดมเกษมทรัพย์. (2561). การพัฒนาระบบความจริงเสมือนเพื่อการนำเที่ยว กรณีศึกษาการท่องเที่ยวหัวหิน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ). http://dspace.bu.ac.th/handle/123456789/3729

อัจฉราพรรณ โพธิ์ทอง. (2561). VR เทคโนโลยีโลกเสมือนจริง. https://il.mahidol.ac.th/th/i-Learning-Clinic/general-articles/vr-เทคโนโลยีโลกเสมือนจริง/

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 9). สุวีริยาสาส์น

Jerald, J. (2015). The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. ACM Books.

Guttentag, D. A. (2010). Virtual reality: Applications and implications for tourism. Tourism management, 31(5), 637-651. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003

Nguyen, S. H. (2025). Leveraging virtual reality experiences to shape tourists' behavioral intentions: The mediating roles of enjoyment and immersion. Journal of Zoological and Botanical Gardens, 6(2), 24. https://doi.org/10.3390/jzbg6020024

Unity Technologies. (2020). Unity Manual: Unity User Manual 2020.3 (LTS).
https://docs.unity3d.com/Manual/index.html

# การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมังคุด

# The Development of the Smart Farm System using the Internet of Things Technology for Mangosteen Farm

**สฤษดิ์ ปานจันทร์[1*], กลิ่นสุคนท์ นิ่มกาญจนา[2], นภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร[3]**

**Sarit Panjan[1*], Klinsukon Nimkanjana[2], Napassawan Liamnimitr[3]**

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[1]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, sarit.p@rmutsv.ac.th

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[2]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, klinsukon.n@rmutsv.ac.th

[3] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[3]Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, napassawan.l@rmutsv.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับสวนมังคุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการระบบรดน้ำและลดต้นทุนแรงงาน โดยออกแบบและพัฒนาระบบที่ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน สมาร์ทปั๊มน้ำ ระบบแบ่งโซนรดน้ำ และแอปพลิเคชันควบคุมผ่าน Blynk และแจ้งเตือนด้วย LINE Notify ทำการติดตั้งและทดสอบระบบในสวนมังคุดที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถลดระยะเวลาในการรดน้ำจากเฉลี่ย 9.5 ชั่วโมงต่อวัน เหลือเพียง 2 ชั่วโมงต่อวัน ลดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 1,026 บาท และลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ได้อย่างสิ้นเชิง ด้านความพึงพอใจของเกษตรกรอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.72) ระบบสามารถใช้งานได้สะดวก มีความเสถียร และตอบสนองต่อความต้องการได้ดี

**คำสำคัญ:** ระบบรดน้ำอัตโนมัติ มังคุด สมาร์ทฟาร์ม อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

**Abstract**

This research aims to develop a smart farming system utilizing Internet of Things (IoT) technology for mangosteen orchards, with the objective of enhancing irrigation management efficiency and reducing labor costs. The system was designed and developed to include soil moisture sensors, smart water pumps, irrigation zoning mechanisms, and a control application via Blynk, with notification support through LINE Notify. The system was installed and tested in a mangosteen orchard located in Nakhon Si Thammarat Province. The research findings indicate that the system successfully reduced the average daily irrigation time from 9.5 hours to only 2 hours, decreased monthly electricity costs by an average of 1,026 THB, and eliminated the need for

manual labor entirely. Farmer satisfaction was rated at the highest level, with an average score of 4.72. The system demonstrated ease of use, operational stability, and responsiveness to user needs.

**Keywords:** Automatic irrigation system, Mangosteen, Smart farming, Internet of Things

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เอื้อต่อการทำการเกษตร ส่งผลให้มีการผลิตสินค้าเกษตรหลากหลายชนิด ซึ่งไม่เพียงแต่ใช้บริโภคภายในประเทศเท่านั้น แต่ยังสามารถส่งออกสร้างรายได้ให้แก่ประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญในแต่ละภูมิภาค ในพื้นที่ภาคใต้จังหวัดนครศรีธรรมราช ถือเป็นแหล่งผลิตพืชสวนที่สำคัญ โดยเฉพาะ “มังคุด” ซึ่งเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลาย เช่น กรดอะมิโน เส้นใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้มังคุดกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูง จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2563) พบว่า ผลผลิตมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2562 มีสัดส่วนผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 38% ส่งผลให้ครัวเรือนมีรายได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม การผลิตมังคุดให้มีคุณภาพและปริมาณที่เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยการจัดการที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะ “การให้น้ำ” ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการออกผลของต้นมังคุด กรมวิชาการเกษตร (2563) ได้กำหนดแนวทางการให้น้ำในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตไว้อย่างละเอียด เช่น การให้น้ำ 80–120 ลิตรต่อต้นทุก 3–4 วันในช่วงต้นอายุมากกว่า 1 ปี เป็นต้น แม้จะมีแนวทางที่ชัดเจน แต่ในทางปฏิบัติ เกษตรกรจำนวนมากยังคงใช้วิธีการคาดคะเนในการให้น้ำ เนื่องจากการวัดและบันทึกปริมาณน้ำของแต่ละต้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและใช้เวลามาก ส่งผลให้ผลผลิตมังคุดมีคุณภาพต่ำหรือปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยเฉพาะเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ซึ่งสามารถสื่อสาร ควบคุม และจัดเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนที่ประชาชนส่วนใหญ่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (เอกรินทร์ วทัญญูเลิศสกุล, 2560)

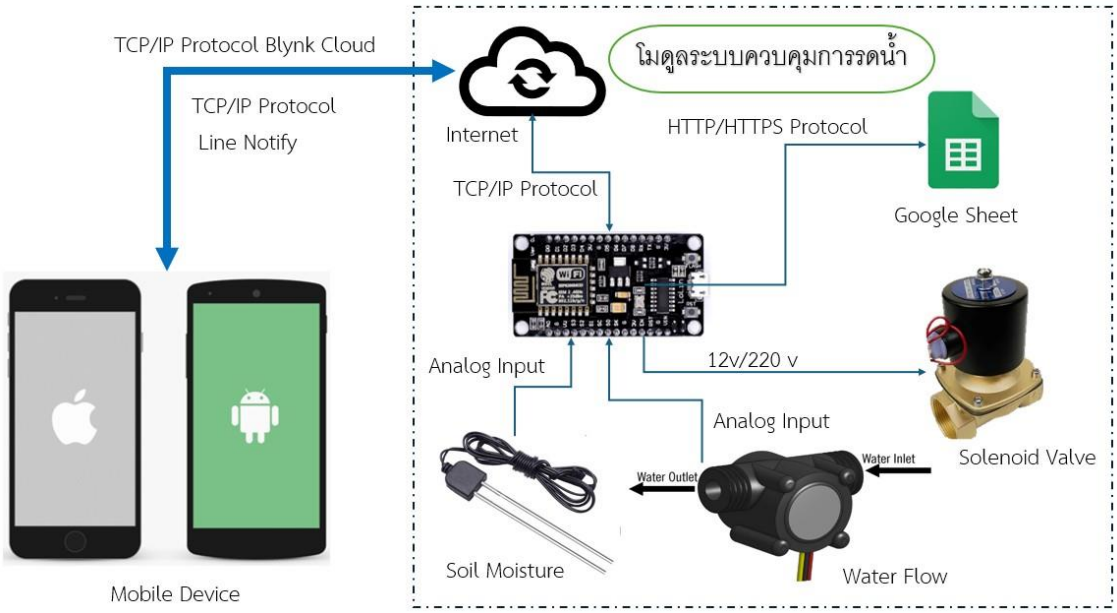
คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับสวนมังคุดในหมู่ที่ 11 ตำบลท้ายสำเภา อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเกษตรกรปลูกมังคุดเป็นอาชีพหลัก เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการควบคุมการให้น้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตมังคุดให้มีคุณภาพและปริมาณที่เหมาะสม

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับสวนมังคุด โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้น ในการควบคุมปริมาณน้ำที่ให้กับต้นมังคุดอย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของต้นมังคุด

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

สถาปัตยกรรมรวมของการพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมังคุด แสดงดังภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** สถาปัตยกรรมของระบบ

สถาปัตยกรรมของระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติในสวนมังคุดโดยใช้เทคโนโลยี IoT ประกอบด้วย อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่เชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังโมดูลควบคุมการรดน้ำ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและอัตราการไหลของน้ำ จากนั้นข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมวาล์วโซลินอยด์ และส่งผลการทำงานไปบันทึกไว้ใน Google Sheets เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามผลการทำงานของระบบได้แบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ได้

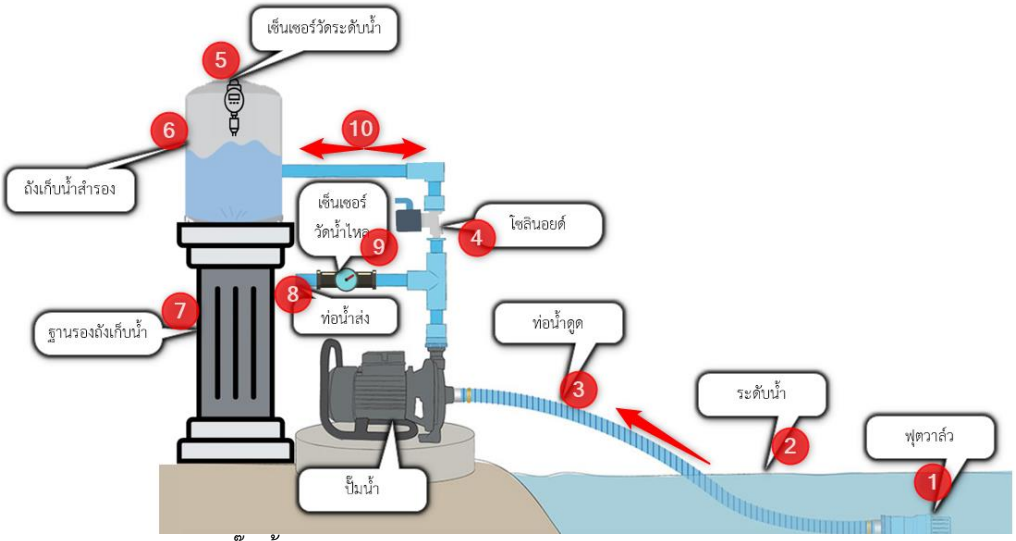
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินผลระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมังคุด โดยมีกรอบแนวคิดหลักแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและกำหนดปัญหา

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจสวนมังคุดเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาและความต้องการของเกษตรกร พื้นที่สวนมังคุดหมู่ที่ 11 ตำบลท้ายสำเภา อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยศึกษาสภาพพื้นที่ เช่น ขนาดพื้นที่ จำนวนต้นมังคุด ระยะห่างของต้นมังคุด ระบบปั๊มน้ำ แหล่งน้ำ ระบบไฟฟ้า และสัญญาณอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการออกแบบระบบให้สอดคล้องกับบริบทจริงของพื้นที่เป้าหมายจากการสัมภาษณ์เกษตรกร พบปัญหาหลักที่ต้องการให้ระบบสามารถแก้ไข ได้แก่ ปั๊มน้ำไม่ทำงาน ต้องกรอกน้ำด้วยตนเองบ่อยครั้งไม่มีระบบติดตามสถานะการให้น้ำแบบเรียลไทม์ไม่สามารถควบคุมระบบรดน้ำจากระยะไกลได้

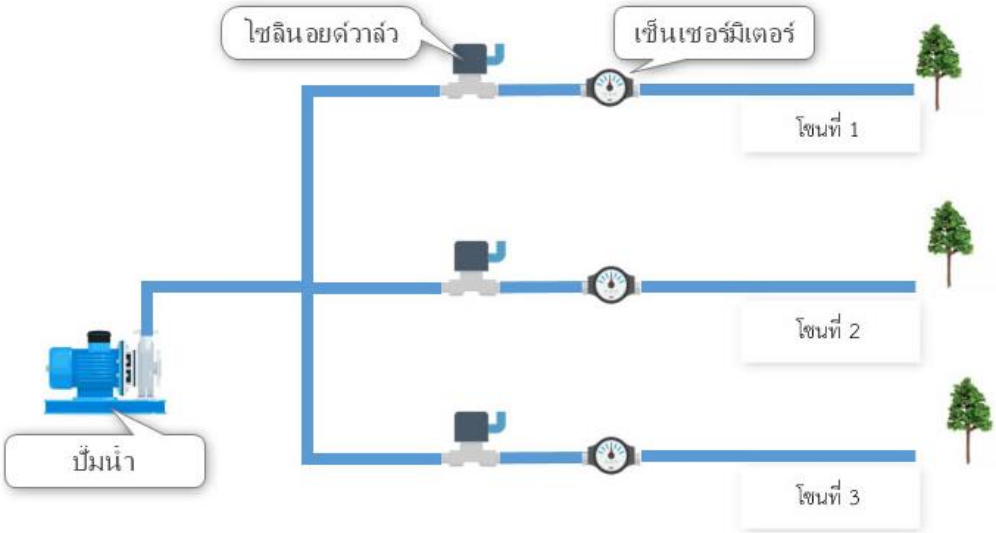
ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1) การออกแบบระบบสมาร์ทปั๊มน้ำ จากปัญหาปั๊มน้ำไม่ทำงานเนื่องจากไม่มีน้ำเหลือค้างในท่อหรือมีอากาศเข้าไปในระบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสมาร์ทปั๊มน้ำให้สามารถตรวจสอบและแก้ไขปัญหาโดยอัตโนมัติ เช่น การเปิดโซลินอยด์วาล์ว เพื่อกรอกน้ำเข้าสู่ปั๊มเมื่อตรวจพบว่าไม่มีการไหลของน้ำ และเปิดปั๊มน้ำใหม่เมื่อระดับน้ำเหมาะสม รวมถึงออกแบบระบบสำรองน้ำและระบบเติมน้ำให้ทำงานอย่างเป็นลำดับ ดังภาพที่ 2



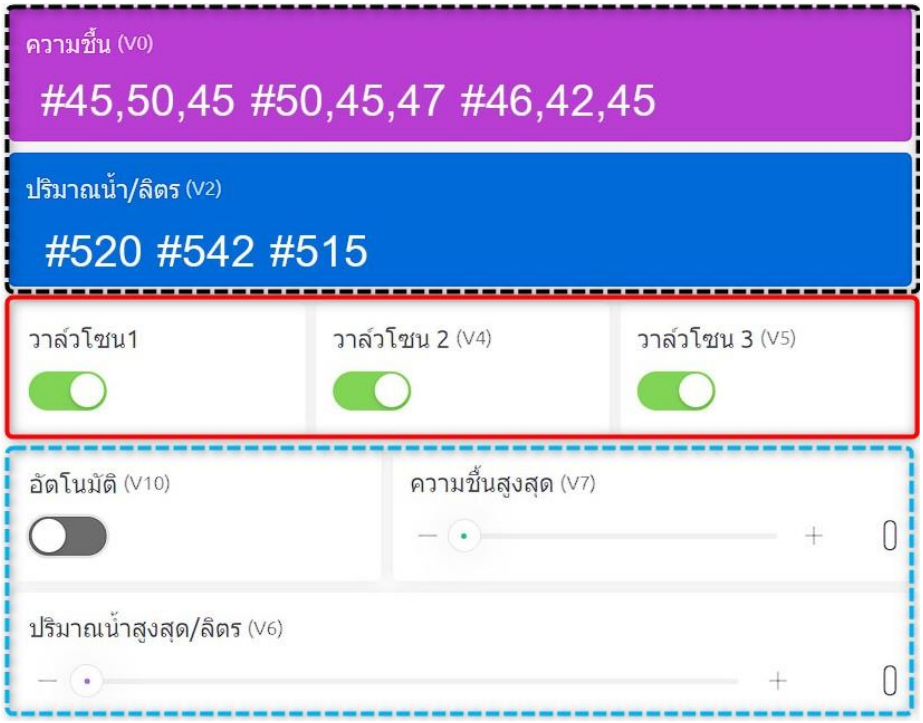

**ภาพที่ 2** การออกแบบระบบสมาร์ทปั๊มน้ำ

2) การออกแบบระบบให้น้ำแบบแบ่งโซน ผู้วิจัยได้แบ่งพื้นที่สวนต้นมังคุดออกเป็น 3 โซน โซนละ 20 ต้น เพื่อลดภาระปั๊มน้ำและให้ปริมาณน้ำที่สม่ำเสมอและใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุมการให้น้ำในแต่ละโซน ดังภาพที่ 3 โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติตามค่าที่ตั้งไว้ผ่านแอปพลิเคชัน




**ภาพที่ 3** การออกแบบระบบให้น้ำแบบแบ่งโซน

3) การออกแบบโครงสร้างระบบและส่วนติดต่อผู้ใช้ เป็นออกแบบการทำงานของ NodeMCU แบ่งออกเป็น 2 โมดูล ได้แก่ 1) โมดูลตรวจวัด เป็นการใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินและปริมาณน้ำ และ 2) โมดูลควบคุม เป็นการควบคุมปั๊มน้ำและวาล์วผ่านข้อมูลที่ส่งจาก Google Sheet ไปยัง Blynk Cloud พร้อมระบบแจ้งเตือนเมื่อระบบผิดพลาด โดยออกแบบหน้าแอปพลิเคชันส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 4




**ภาพที่ 4** การออกแบบหน้าแอปพลิเคชันส่วนติดต่อผู้ใช้งานในระบบ

ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งระบบสมาร์ทฟาร์ม

ดำเนินการติดตั้งทั้งฮาร์ดแวร์ (ระบบปั๊มน้ำ เซ็นเซอร์ โครงข่ายน้ำ) และซอฟต์แวร์ (แอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟน Android) ในพื้นที่สวนมังคุดจริง พร้อมอบรมเกษตรกรและมอบคู่มือการใช้งานระบบ

ขั้นตอนที่ 4 ติดตามผลและปรับปรุงระบบ

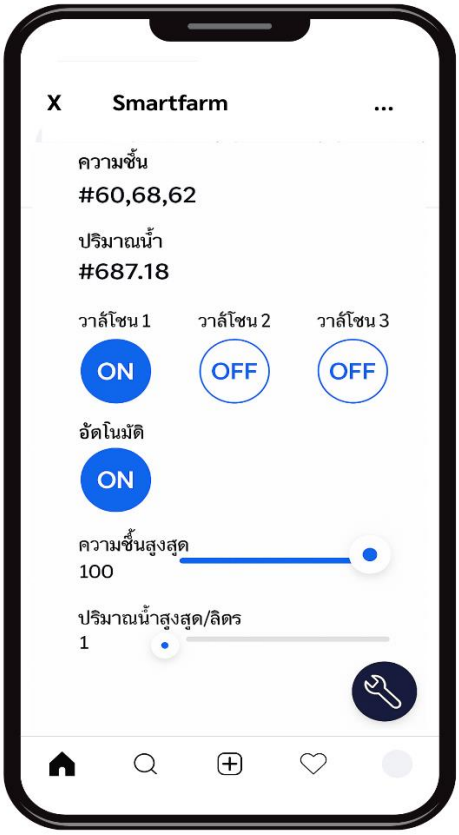
หลังจากติดตั้งระบบแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตามการใช้งานจริง เพื่อวิเคราะห์ข้อผิดพลาดหรือปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคสนาม พร้อมทั้งปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูงสุด ก่อนส่งมอบให้เกษตรกรใช้งานในระยะยาว

## 4. ผลการวิจัย

การดำเนินงานของโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับสวนมังคุด สามารถนำเสนอผลการวิจัย ดังนี้

**1. ผลการพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับสวนมังคุด โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง**

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับสวนมังคุดต้นแบบ ประกอบด้วย 2 ระบบย่อย ดังนี้ 1) ระบบสมาร์ทปั๊มน้ำ เป็นการออกแบบให้ปั๊มสามารถแก้ไขปัญหาการไม่ดูดน้ำได้โดยอัตโนมัติผ่านการกรอกน้ำอัตโนมัติ (ใช้โซลินอยด์วาล์ว และการตั้งเวลา) และ 2) ระบบให้น้ำแบบแบ่งโซน คือ เป็นการแบ่งพื้นที่ส่วนมังคุดออกเป็น 3 โซน ควบคุมการรดน้ำด้วยโซลินอยด์วาล์ว และสามารถตั้งค่าระดับความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ (0-100%) และตั้งค่าปริมาณน้ำสูงสุด (ลิตร) ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมและแสดงผลผ่าน Blynk และเก็บข้อมูลประวัติการรดน้ำลงใน Google Sheet ได้ รวมถึงผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดน้ำได้ ดังภาพที่ 5 และสามารถรับแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ดังภาพที่ 6




**ภาพที่ 5** หน้าแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อควบคุมปั๊ม เปิด-ปิดน้ำ

**ภาพที่ 6** หน้าแอปพลิเคชันรับแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

**2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสมาร์ทฟาร์ม**

การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับสวนมังคุดโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ได้รับการประเมินผลใน 4 ด้านหลัก ได้แก่ องค์ประกอบระบบ การประหยัดพลังงาน ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และข้อเสนอแนะจากเกษตรกร โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** สรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์

| รายการประเมิน | รายละเอียด | ผลลัพธ์ที่ได้ |
|---|---|---|
| องค์ประกอบระบบ | สมาร์ทปั๊ม, ระบบแบ่งโซน, แอปควบคุม Blynk + LINE Notify | ทำงานได้ครบทุกฟังก์ชัน, ควบคุมได้จากระยะไกล |
| การประหยัดพลังงาน | จากเดิมรดน้ำทั้งวัน 8.00–17.30 น. เหลือเพียง 2 ชม. | ลดเวลาใช้งานปั๊ม ~76%, ลดค่าไฟเฉลี่ย 34.2 บาท/วัน |
| ความพึงพอใจผู้ใช้งาน | ประเมินจากแบบสอบถาม 5 ระดับ | ค่าเฉลี่ย 4.72 (ระดับมากที่สุด) |
| ข้อเสนอแนะจากเกษตรกร | เพิ่มการแจ้งเตือนเสียง, ปรับแสดงผลให้ง่าย | ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ |

การเปรียบเทียบระหว่างการรดน้ำต้นมังคุดแบบดั้งเดิมกับระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้น พบว่า ระบบสมาร์ทฟาร์มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากร ทั้งด้านเวลา พลังงาน แรงงาน และความแม่นยำในการให้น้ำได้อย่างชัดเจน โดยสรุปผลการเปรียบเทียบในด้านต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** สรุปผลการเปรียบเทียบการรดน้ำแบบเดิมกับระบบสมาร์ทฟาร์ม

| รายการเปรียบเทียบ | การรดน้ำแบบเดิม | ระบบสมาร์ทฟาร์ม | ความแตกต่าง |
|---|---|---|---|
| เวลาที่ใช้ในการรดน้ำต่อวัน (ชั่วโมง) | 9.5 ชั่วโมง (8:00–17:30 น.) | 2.0 ชั่วโมง | ลดลง 7.5 ชั่วโมง/วัน (ลดลง 78.9%) |
| ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท) | ประมาณ 1,300 บาท | ประมาณ 274 บาท | ประหยัดค่าไฟฟ้า ≈ 1,026 บาท |
| จำนวนแรงงานที่ใช้ในการรดน้ำ | 1 คน | ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคน | ลดต้นทุนแรงงานและเพิ่มเวลาว่าง |
| การควบคุมการให้น้ำ | การเดินรดน้ำ | ควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน | สะดวก ปรับแต่งและสั่งงานจากระยะไกลได้ |
| ความแม่นยำการให้น้ำ | คาดคะเนด้วยสายตา | ให้น้ำตามค่าเซ็นเซอร์ความชื้นและวัดปริมาณน้ำ | มีความแม่นยำและสม่ำเสมอกว่า |
| ปัญหาการทำงานของปั๊มน้ำ | ต้องกรอกน้ำบ่อย | ระบบอัตโนมัติแก้ปัญหาได้ | ลดภาระงานและความเสี่ยงปั๊มเสียหาย |
| การแจ้งเตือนระบบผิดพลาด | ไม่มีระบบแจ้งเตือน | มีแจ้งเตือนผ่านแอปและ LINE | ทราบปัญหาได้ทันที |

การประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรที่ใช้งานระบบสมาร์ทฟาร์ม ได้ดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามระดับความพึงพอใจ 2 ด้าน คือ ด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ (Function) และ ด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability) โดยใช้มาตรวัดแบบ Likert Scale แบ่งออก 5 ระดับ (ตั้งแต่ 1 = น้อยที่สุด ถึง 5 = มากที่สุด) (บุญชม ศรีสะอาด, 2556) กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ใช้งานระบบสมาร์ทฟาร์ม จำนวน 10 คน ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจ แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรที่ใช้ระบบสมาร์ทฟาร์ม ด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ (Function)

| ความพึงพอใจต่อการใช้งาน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | S.D. | แปลผล |
| 1. ความถูกต้องในการจัดเก็บข้อมูล | 4.56 | 0.35 | มากที่สุด |
| 2. ความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล | 4.60 | 0.30 | มากที่สุด |
| 3. ความถูกต้องการทำงานของโหมดอัตโนมัติ | 4.65 | 0.25 | มากที่สุด |
| 4. ความถูกต้องการทำงานในโหมดควบคุมด้วยตนเอง | 4.63 | 0.36 | มากที่สุด |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.61** | **0.32** | **มากที่สุด** |

ผลการประเมิน พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.61 คะแนน รายละเอียดของผลการประเมินในแต่ละข้อสรุปได้ ดังนี้ ความถูกต้องของระบบในโหมดอัตโนมัติ ได้คะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 4.65 อยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงความมั่นใจของผู้ใช้งานต่อการทำงานของระบบให้น้ำอัตโนมัติตามเงื่อนไขของเซ็นเซอร์อย่างมีประสิทธิภาพ ความถูกต้องของระบบในโหมดควบคุมด้วยตนเอง ได้คะแนนเฉลี่ย 4.63 อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่แม่นยำของระบบเมื่อต้องควบคุมผ่านแอปพลิเคชันโดยตรง ความถูกต้องของระบบในการนำเสนอข้อมูล ได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.60 อยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถนำเสนอข้อมูลที่สำคัญต่อการตัดสินใจ ความถูกต้องในการจัดเก็บข้อมูลได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.56 อยู่ในระดับมากที่สุด สะท้อนถึงความเชื่อมั่นของเกษตรกรต่อการบันทึกข้อมูลจากเซ็นเซอร์ เช่น ค่าความชื้นในดินและสถานะของปั๊มน้ำ ซึ่งมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดรวมระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในมุมมองของเกษตรกร ซึ่งเป็นผู้ใช้งานจริง

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความพึงพอใจของเกษตรกรที่ใช้ระบบสมาร์ทฟาร์ม ด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability)

| ความพึงพอใจต่อการใช้งาน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | S.D. | แปลผล |
| 1. ความง่ายในการเรียกใช้งานแอปพลิเคชัน | 4.80 | 0.30 | มากที่สุด |
| 2. ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวม | 4.82 | 0.35 | มากที่สุด |
| 3. ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ | 4.80 | 0.35 | มากที่สุด |
| 4. ความง่ายสะดวกในการเข้าใช้งาน | 4.90 | 0.60 | มากที่สุด |
| **ค่าเฉลี่ย** | **4.83** | **0.40** | **มากที่สุด** |

จากผลการประเมิน พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดทุกในข้อหัวประเมิน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.83 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในกลุ่มเกษตรกรทั่วไป รายละเอียดของผลการประเมินในแต่ละข้อสรุปได้ ดังนี้ ความง่ายและสะดวกในการเข้าใช้งานระบบ ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.90 ซึ่งสะท้อนถึงความสะดวกในการเข้าถึงแอปพลิเคชัน ไม่ว่าจะเป็นการเข้าสู่ระบบ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ หรือการควบคุมฟังก์ชันต่าง ๆ ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอโดยภาพรวม ได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.82 บ่งชี้ถึงความเป็นมิตรกับผู้ใช้ (user-friendly) ของการออกแบบหน้าจอ ทั้งในด้านการจัดวางเมนู การเลือกสี และรูปแบบการนำเสนอข้อมูล ความง่ายในการเรียกใช้งานแอปพลิเคชัน ได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.80 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานสามารถเปิดและใช้งานระบบผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างง่ายดาย โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านเทคโนโลยีขั้นสูง ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ ได้คะแนนเฉลี่ย 4.80 แสดงให้เห็นว่าข้อความที่ปรากฏ เช่น คำสั่งและข้อมูลสถานะ มีความชัดเจน เข้าใจง่าย ลดความสับสนในการใช้งาน จากผลการประเมินข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการตอบสนองต่อกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในด้านความง่ายในการใช้งาน ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

จากการดำเนินการพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) สำหรับสวนมังคุด พบว่าระบบที่ออกแบบและติดตั้งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการควบคุมระบบรดน้ำอัตโนมัติ การประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการของเกษตรกรได้อย่างครบถ้วน ระบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สมาร์ทปั๊ม ระบบแบ่งโซนรดน้ำ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และแอปพลิเคชันควบคุมผ่าน Blynk และ LINE Notify ผลการทดสอบการทำงานของระบบแสดงให้เห็นว่าสามารถลดเวลาในการรดน้ำจากเดิมเฉลี่ยวันละ 9.5 ชั่วโมง เหลือเพียง 2 ชั่วโมงต่อวัน (ลดลงร้อยละ 78.9) ส่งผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 1,026 บาทต่อเดือน และลดการพึ่งพาแรงงานคนอย่างสิ้นเชิง ด้านความพึงพอใจของเกษตรกร พบว่าผู้ใช้งานมีระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับ “มากที่สุด” (ค่าเฉลี่ย 4.72) โดยเฉพาะในด้าน การทำงานตามหน้าที่ (Function) และ ความง่ายต่อการใช้งาน (Usability) ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงถึง 4.61 และ 4.83 ตามลำดับ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morchid et al., (2024) ที่ระบุว่า ระบบ IoT ในภาคเกษตรกรรมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการทรัพยากร ลดต้นทุน และเพิ่มความสะดวกในการควบคุมจากระยะไกล รวมถึงสนับสนุนแนวทางเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) ซึ่งมีการใช้งานแพร่หลายในประเทศไทยมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (สถาบันวิจัยและพัฒนาเกษตรอัจฉริยะ, 2565) ขณะเดียวกัน งานวิจัยของ ธีระวัฒน์และคณะ (2564) พบว่า เกษตรกรไทยมีแนวโน้มยอมรับเทคโนโลยีสมาร์ทฟาร์มหากระบบสามารถใช้งานง่ายและให้ผลตอบแทนที่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะจากเกษตรกรในงานวิจัยนี้ที่ต้องการระบบแจ้งเตือนเสียงเพิ่มเติมและอินเทอร์เฟซที่เข้าใจง่าย ระบบที่พัฒนานี้จึงไม่เพียงแต่ลดต้นทุนและแรงงานเท่านั้น แต่ยังสามารถปรับใช้ได้กับสภาพแวดล้อมและความต้องการของเกษตรกรไทยโดยตรง ถือเป็นแนวทางหนึ่งของการนำเทคโนโลยีมาช่วยพัฒนาเกษตรกรรมไทยอย่างยั่งยืน

จากผลการวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อการนำระบบไปใช้จริงและการต่อยอดในอนาคต ดังนี้ 1) การขยายระบบไปยังพืชชนิดอื่น ควรศึกษาความเหมาะสมของระบบกับพืชชนิดอื่น เช่น ทุเรียน ลองกอง หรือกาแฟ ซึ่งมีความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถออกแบบระบบที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดได้อย่างแม่นยำ 2) การเพิ่มฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูล ควรพัฒนาระบบให้สามารถจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง เพื่อใช้ในการวางแผนการให้น้ำ การจัดสรรทรัพยากร และการ

คาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต 3) การพัฒนาอินเทอร์เฟซให้เหมาะกับผู้ใช้งานในท้องถิ่น ควรปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) ให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่ถนัดด้านเทคโนโลยี โดยเน้นความเรียบง่าย ใช้ภาษาไทย และมีคู่มือใช้งานอย่างชัดเจน 4) การเชื่อมต่อกับระบบสภาพอากาศ การเพิ่มฟังก์ชันเชื่อมต่อกับข้อมูลพยากรณ์อากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการให้น้ำ และลดความสิ้นเปลืองทรัพยากรในช่วงที่ฝนตก

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยให้ทุนสนับสนุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2565

**7. เอกสารอ้างอิง**

กรมวิชาการเกษตร. (2563). แนวทางการให้น้ำมังคุดในแต่ละช่วงอายุ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. http://www.doa.go.th

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2566). รองปลัดฯ พีรพันธ์ เตรียมแผน “บริหารจัดการมังคุด จ.นครศรีธรรมราช” ช่วงผลผลิตมังคุดในฤดูออกสู่ตลาด มิ.ย.-ต.ค. 66. สืบค้นจาก https://www.moac.go.th/news-preview-451391792012

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2563). ข้อมูลแปลงใหญ่มังคุด ต.นาเรียง ปี 2563. สืบค้นจาก https://www.moac.go.th/news-preview-441991792028

ธีระวัฒน์ ขันเงิน, ธีรวัฒน์ เหลืองมั่นคง, และ ปราโมทย์ อุตตะมัง. (2564). การพัฒนาเทคโนโลยีสมาร์ทฟาร์มเพื่อการเกษตรกรรมอัจฉริยะ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 40(2), 89–101.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 9). สุวีริยาสาส์น.

สถาบันวิจัยและพัฒนาเกษตรอัจฉริยะ. (2565). รายงานการประเมินผลระบบเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย. สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). ข้อมูลสถิติพืชเศรษฐกิจ ปี 2562–2563. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://www.oae.go.th

เอกรินทร์ วทัญญูเลิศสกุล. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในภาคการเกษตร. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 5(2), 45-52.

Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A., & Sabbar, Y. (2024). Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. Ain Shams Engineering Journal, 15(3), 102509. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509

# ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

# Factors Affecting the Implementation of AI in Organizations: A Case Study of an IT Consulting Company in Bangkok

**วราภรณ์ บ่อทอง[1]*, ธรรณพ อารีพรรค[2]**

**Waraporn Borthong[1]*, Thannob Aribarg[2]**

[1]วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[1]College of Digital Innovation Technology, Rangsit University, waraporn.b63@rsu.ac.th

[2]วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[2]College of Digital Innovation Technology, Rangsit University, thannob.a@rsu.ac.th

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยมุ่งเน้นการสำรวจการใช้งาน AI ในกระบวนการทำงานต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล การจัดทำรายงาน การช่วยจัดทำเอกสาร การให้คำปรึกษา และการสนับสนุนงานภายในองค์กร รวมถึงศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำ AI มาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการวิจัยใช้วิธีเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นพนักงาน กรณีศึกษาบริษัทฯ ดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า องค์กรมีการใช้งานระบบ AI โดยการใช้งาน AI ในองค์กรที่ปรึกษาด้าน IT มีแนวโน้มเน้นการสนับสนุนงานที่ปรึกษาและการขยายบริการเป็นหลัก รองลงมาคือการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการสืบค้นข้อมูลโดยใช้ AI ส่วนการใช้งานในด้านการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ งานประจำซ้ำซ้อน และด้านความมั่นคงยังอยู่ในระดับต่ำ จึงควรให้การส่งเสริมการฝึกอบรมด้าน AI ให้กับบุคลากร การกำหนดนโยบายการใช้งาน AI อย่างชัดเจน และการประเมินผลการใช้งานอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานขององค์กร

**คำสำคัญ:** ปัญญาประดิษฐ์ เทคโนโลยีสารสนเทศ บริษัทที่ปรึกษา

**Abstract**

This research aims to study the factors affecting the implementation of artificial intelligence (AI) in organizations, with a case study of an information technology consulting firm in Bangkok. The study focuses on the application of AI in various operational processes, including data analysis, report generation, document preparation, consulting, and internal support. It also examines the factors influencing AI adoption within the organization to

propose effective approaches for maximizing its benefits. This quantitative research utilized a questionnaire as the data collection tool, targeting employees of the selected firm. The results revealed that AI is being used primarily to support consulting services and service expansion. Secondary uses include improving efficiency, streamlining workflows, and data retrieval through AI. However, the use of AI in strategic decision-making, repetitive tasks, and security remains limited. Therefore, it is recommended to promote AI training for staff, establish clear policies for AI usage, and implement continuous performance evaluations to enhance organizational effectiveness.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Information Technology, Consulting Company

**1. บทนำ**

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้เปลี่ยนจากเทคโนโลยีเฉพาะทางมาเป็นความจำเป็นพื้นฐานของธุรกิจในปัจจุบัน การนำ AI มาใช้ไม่ใช่เรื่องง่าย แต่ต้องอาศัยการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลอย่างรอบด้าน พร้อมทั้งวางกลยุทธ์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลให้สอดคล้องกับระดับความพร้อมของเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มความคล่องตัวทางธุรกิจ ปัจจุบัน AI มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทำงานในภาคธุรกิจ การศึกษา และบริการต่าง ๆ โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน โดยเฉพาะในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา "เจเนอเรทีฟเอไอ" (Generative AI) เช่น ระบบที่สามารถสร้างข้อความ ภาพ หรือโค้ด ได้รับความนิยมและเริ่มถูกนำมาใช้ในหลายฟังก์ชันงาน

จากรายงาน McKinsey Global Survey on AI (2024) พบว่า 65% ขององค์กรทั่วโลกได้นำ Generative AI มาใช้ในอย่างน้อยหนึ่งกระบวนการหลัก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปีก่อนอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม สำหรับองค์กรที่ให้บริการที่ปรึกษาทางเทคโนโลยีสารสนเทศ การใช้งาน AI ยังคงมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากต้องพิจารณามาตรฐานด้านความมั่นคงปลอดภัย ความถูกต้องของเนื้อหา และข้อกฎหมาย เช่น PDPA และ GDPR

รายงานของ Gene Rapoport, Sanjin Bicanic และ Muyiwa Talabi (2025) ระบุว่า ปัจจุบัน 95% ของบริษัทในสหรัฐอเมริกาใช้งาน Generative AI ซึ่งเพิ่มขึ้น 12% ในเวลาเพียงหนึ่งปี และการใช้งานจริงในงานผลิตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยฝ่าย IT เป็นหน่วยงานที่เติบโตเร็วที่สุด แม้จะมีประโยชน์ทางธุรกิจอย่างชัดเจนในกลุ่มผู้ใช้งานที่พึงพอใจ (ประมาณ 60%) แต่ก็ยังมีความท้าทายเรื่องช่องว่างทักษะ ปัญหากับผู้ให้บริการ และความกังวลด้านความปลอดภัยและการสนับสนุนภายใน

งานวิจัยของสำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร (2566) ชี้ว่า ภาครัฐไทยเริ่มนำ AI มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดความซ้ำซ้อน และยกระดับการให้บริการ โดยเน้นการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล แต่การใช้งานที่ยั่งยืนต้องอาศัยการพัฒนาทักษะบุคลากร การปลูกฝังแนวคิด AI และการวางแผนใช้งานที่เหมาะสม

บทความของ Suprit Kumar Pattanayak (2563) ระบุว่า Generative AI ช่วยเพิ่มความเร็วและคุณภาพการให้คำปรึกษาแก่ลูกค้าในธุรกิจที่ปรึกษา แต่ก็มีประเด็นจริยธรรมที่ต้องคำนึง เช่น ความเป็นธรรมของอัลกอริทึม การคุ้มครองข้อมูล และความรับผิดชอบของผู้ใช้ ซึ่งจำเป็นต้องมีมาตรฐานรองรับเพื่อให้เกิดการใช้งานที่ปลอดภัยและเกิดประโยชน์สูงสุดในระยะยาว

นอกจากนี้ AI กำลังเข้ามาในงานธุรกิจบริการที่ปรึกษา จากการทำงานที่มักอิงกับ "คนที่มีความเชี่ยวชาญ" และ "การลงมือทำเป็นขั้นตอน" ปัจจุบันกำลังเปลี่ยนไป เมื่อมีการนำ AI agents และ copilots เข้ามาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ลดงานซ้ำซ้อน และเร่งผลลัพธ์ให้เร็วขึ้นและแม่นยำ ดังนั้น เมื่อ AI ไม่ใช่แค่เครื่องมือที่เข้ามาช่วยงาน แต่มาในรูปแบบผู้ให้คำปรึกษา

ซึ่งนับเป็นจุดเปลี่ยนบริการที่ปรึกษา ที่ไม่ใช่แค่เรื่องความสามารถของมนุษย์ แต่ยังมองไปถึงเครื่องมือที่ใช้ เพื่อช่วยสร้างการตัดสินใจที่ฉลาดยิ่งกว่าเดิม Fast Company Executive Board (2025)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เพื่อเข้าใจบริบทการใช้งานจริง ปรับปรุงทักษะ และพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ AI อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในอนาคต ตลอดจนสร้างโอกาสในบริการทางธุรกิจใหม่ เพื่อลดช่องว่างความคาดหวังของลูกค้าที่ต้องการผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แม่นยำ และมีต้นทุนถูกลง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากพนักงานในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ที่มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 124 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือหลักในการเก็บข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

### 3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

พนักงานในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ที่มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 124 คน โดยคำนวณจากสูตรของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane, 1967) ดังสูตรต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

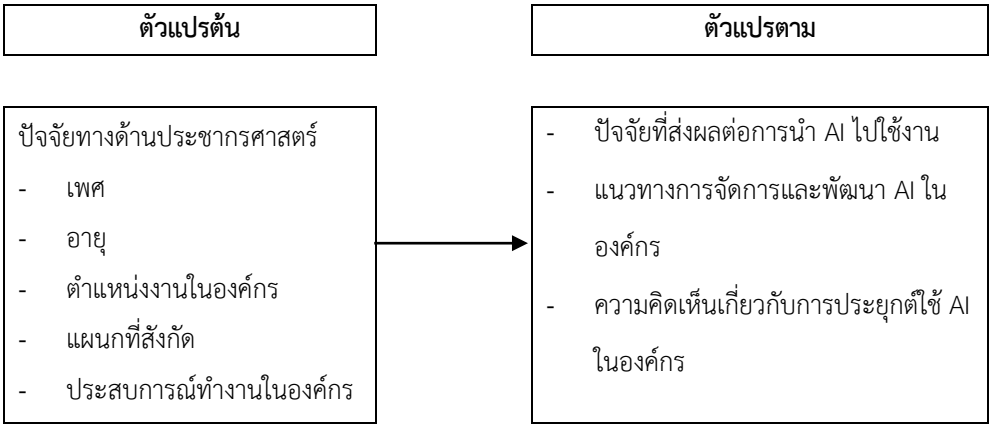
$n$ = ขนาดบุคลากรกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ
N = ขนาดบุคลากรทั้งหมด
$e$ = ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้มีขนาดของกลุ่มประชากรเป้าหมาย จำนวน 124 คน และความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ที่ 0.05 ดังนั้น จึงคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้ ดังนี้

$$n = \frac{124}{1 + (124)(0.05)^2}$$

ดังนั้น ขนาดกลุ่มตัวอย่าง = 95 คน ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจริงจำนวน 100 คน เพื่อชดเชยความเสี่ยงสำหรับผลลัพธ์ที่ใช้การไม่ได้/ไม่สมบูรณ์ (Nonresponse/Invalid) เพื่อให้จำนวนข้อมูลที่ใช้งานได้ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ และเพิ่มความแม่นยำของผลการวิจัย

**3.3 กรอบแนวคิด**




รูปที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

**3.4 สมมติฐานทางสถิติ**

1) ปัจจัยด้านเพศมีความสัมพันธ์ต่อความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการใช้งานงาน AI
2) ปัจจัยด้านอายุมีผลต่อความคิดเห็นการนำระบบ AI มาใช้ส่งผลต่อความมั่นคงของงาน
3) ปัจจัยด้านแผนกที่สังกัดมีผลต่อความคิดเห็นการนำ AI มาช่วยลดความซ้ำซ้อนในกระบวนการทำงาน

**3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ แบบสอบถามออนไลน์ โดยสร้างด้วย Google Forms ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ตอน ได้แก่:

1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2) ประสบการณ์ และการใช้งาน AI ในงานองค์กร
3) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI ไปใช้
4) แนวทางการจัดการและพัฒนา AI ในองค์กร
5) ข้อเสนอแนะหรือความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ AI ในองค์กรที่ปรึกษา

**3.6 การสร้างและตรวจสอบแบบสอบถาม**

ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามโดยอ้างอิงจากกรอบแนวคิดการวิจัยและทฤษฎีของ Technology Acceptance Model หรือ TAM (Davis, 1989) และ Unified Theory of Acceptance and Use of Technology หรือ UTAUT (Venkatesh et al., 2003) เพื่อวัดความตั้งใจใช้ และพฤติกรรมการใช้งาน AI ในองค์กร จากนั้นนำแบบสอบถามไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา (Content Validity) และปรับแก้ตามคำแนะนำก่อนนำไปใช้จริง

### 3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเผยแพร่แบบสอบถามผ่านช่องทางออนไลน์ไปยังกลุ่มเป้าหมายที่ทำงานในองค์กรในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยเก็บรวบรวมข้อมูลภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ โดยประชาสัมพันธ์ผ่านอีเมล์บริษัท

### 3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถามจะถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่

- ค่าความถี่ (Frequency)
- ร้อยละ (Percentage)
- การทดสอบค่าที (T-Test)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

### 3.9 ข้อจำกัดของการวิจัย

1) การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามออนไลน์อาจมีข้อจำกัดด้านความหลากหลายของกลุ่มตัวอย่าง
2) การได้รับความร่วมมือจากผู้ตอบแบบสอบถามอาจจะไม่สามารถตอบกลับได้ตามจำนวนที่ผู้วิจัยต้องการ

## 4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้รวบรวมผลจากผู้ตอบแบบสอบถามในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จากจำนวนพนักงานทั้งหมด 124 คนมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 100 คน มีผลสรุปดังนี้

**ตารางที่ 1** ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

| หัวข้อย่อย | สรุปผลสำคัญจากผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามหัวข้อย่อย |
|---|---|
| เพศ | หญิง76%/ ชาย24% |
| อายุ | 25 – 34 ปี 51.00%/ 35 – 44 ปี 29.00% / 45 ปีขึ้นไป 12.00% / ต่ำกว่า 25 ปี 8.00% |
| ตำแหน่งงานในองค์กร | พนักงานทั่วไป 81.00% / หัวหน้างาน 12.00% / ผู้บริหารระดับกลาง 5.00% / ผู้บริหารระดับสูง 2.00% |
| แผนกที่สังกัด | บริการที่ปรึกษา 23.00% / บริหารโครงการและบริหารสัญญา 14.00% / งานขายและวางกลยุทธ์สำหรับลูกค้า 10.00% / งานทรัพยากรบุคคล ธุรการ และจัดซื้อ 10.00% / งานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ 9.00 % / งานด้านบัญชีและการเงิน 7.00% / งานขาย 5.00% / งานสนับสนุนด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5.00% / อื่นๆ 5.00% / บริการจัดการงานประชุม / งานสัมมนา 4.00% / การตลาดดิจิทัล 2.00% / บริการด้านนวัตกรรม 2.00% / งานกลยุทธ์และธรรมาภิบาล 2.00% |

**ตารางที่ 2** ประสบการณ์การใช้งาน AI ในงานองค์กร

| หัวข้อย่อย | สรุปผลสำคัญจากผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามหัวข้อย่อย |
|---|---|
| ประสบการณ์ทำงานในองค์กร | อายุงาน 1–3 ปี 47.00% / อายุงาน 4–6 ปี 24.00% /อายุงานมากกว่า 6 ปี 20.00% / อายุงานต่ำกว่า 1 ปี 9.00% |
| ประสบการณ์การใช้งาน AI | ใช้งานแล้ว 62.00% / ยังไม่มีแผนจะใช้งาน 21.00% / วางแผนจะใช้งาน 16.00%/ ยังไม่ทราบว่าจะใช้หรือไม่ 1.00% |
| ฟังก์ชัน AI ที่ใช้งาน | การแปลภาษา 70.89% / การเขียนและสร้างเนื้อหา 53.16% / การค้นคว้า วิเคราะห์และจัดสรุปข้อมูล 43.04% / การออกแบบและสร้างสื่อ 36.71% / การแปลงข้อความจากภาพหรือเอกสารที่สแกน (OCR) 26.58% / การประมวลผลเอกสาร 20.25% / ระบบแชทบอต/ตอบอัตโนมัติ 20.25% / การวิเคราะห์ข้อมูล 12.66% / การจัดตารางงาน 12.66% / การตรวจสอบคุณภาพเอกสาร/โค้ด 12.66% / การช่วยเตรียมเอกสารข้อเสนอ (Proposal Automation) 10.13% / การพัฒนาซอฟต์แวร์หรือการเขียนโค้ด 7.59% / การวางแผนทรัพยากรองค์กร 7.59% / การวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ 6.33% / การประเมินผลและให้ข้อเสนอแนะอัตโนมัติ 6.33% / การวิเคราะห์ความคิดเห็นลูกค้า 5.06% / การช่วยสรรหาบุคลากร 2.53% |
| ประเภทของ AI นำมาช่วยในการทำงาน | ChatGPT 91.14% / Google Gemini 48.10% / Microsoft Copilot 30.38% / Canva 27.85% / Claude 10.13% / Gamma 10.13% / Grammarly 8.86% / Alisa 6.33% / Notion 5.06% / Perplexity 5.06% / Google Calendar AI Assistant 3.80% / DeepL 2.53% / Adobe Acrobat AI Assistant 2.53% / GitHub Copilot 2.53% / SonarQube 2.53% / Microsoft Azure AI Services 1.27% / Microsoft Designer 1.27% / Darktrace 1.27% / อื่นๆ 1.27% |

**ตารางที่ 3** ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI ไปใช้งาน

| หัวข้อย่อย | สรุปผลสำคัญจากผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามหัวข้อย่อย |
|---|---|
| ความคิดเห็นเกี่ยวกับ AI ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน | เห็นด้วย 44.00% / เห็นด้วยมาก 41.00% / ไม่ทราบ 15.00% |
| ประสบการณ์การฝึกอบรมเกี่ยวกับ AI | เคยอบรม 52.00% / ไม่เคยอบรม 48.00% |
| ประโยชน์ของการฝึกอบรม AI | ระดับมาก 74.00% / ระดับปานกลาง 23.00% / ระดับน้อย 2.00% / ไม่ได้ผล 1.00% |
| การส่งผลต่อความมั่นคงของงาน | เพิ่มความมั่นคง 35.00% / ไม่ทราบ 31.00% / ไม่เปลี่ยนแปลง 20.00% / ลดความมั่นคง 14.00% |
| ความกังวลหลักในการใช้งาน AI | ความปลอดภัยขอข้อมูล 67.00% / ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ 49.00% / ขาดความเข้าใจหรือทักษะในการใช้งาน 46.00% / การพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป 32.00% / ผลกระทบต่อการจ้างงาน 26.00% / จริยธรรมและความยุติธรรม 24.00% / การควบคุมและความรับผิดชอบ 21.00% / ต้นทุนการนำไปใช้ 18.00% |

**ตารางที่ 4** แนวทางการจัดการ และพัฒนา AI ในองค์กร

| หัวข้อย่อย | สรุปผลสำคัญจากผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามหัวข้อย่อย |
|---|---|
| ความพร้อมขององค์กรในการนำ AI มาใช้งาน | ระดับปานกลาง 50.00% / ระดับสูงมาก 26.00% / ยังไม่เริ่มต้น 16.00% / ระดับต่ำ 8.00 % |
| การวางแผนกลยุทธ์เกี่ยวกับ AI ขององค์กร | มีบางส่วน 46.00% / ไม่ทราบ 28.00% / ระบุชัดเจน 17.00% / ไม่มีเลย 9.00% |
| นโยบายกำกับการใช้งาน AI ขององค์กร | ไม่ทราบ 49.00% / มีบางส่วน 24.00% / ไม่มีเลย 19.00% / มี 8.00% |
| การกำหนดบทบาทและหน้าที่ของผู้ใช้ AI ขององค์กร | ไม่ทราบ 61.00% / ไม่มีเลย 19.00% / มีบางส่วน 17.00% / ระบุชัดเจน 3.00% |
| ระบบตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ AI ขององค์กร | ไม่ทราบ 65.00% / ไม่มีเลย 19.00% / มีบางส่วน 12.00% / มี 4.00% |
| การช่วยลดขั้นตอนซ้ำซ้อนในกระบวนการทำงาน | ระดับมาก 49.00% / ระดับปานกลาง 40.00% / ระดับน้อย 7.00% / ไม่มีเลย 4.00% |
| การสนับสนุนจากองค์กรเพื่อส่งเสริมให้บุคลากรเรียนรู้และทดลองใช้ AI | สนับสนุนบางส่วน 46.00% / ไม่ทราบ 32.00% / สนับสนุนมาก 21.00% / ไม่สนับสนุน 1.00% |

**ตารางที่ 5** ข้อเสนอแนะใช้งาน AI

| หัวข้อย่อย | สรุปผลสำคัญจากผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามหัวข้อย่อย |
|---|---|
| ผลสำรวจความต้องการการจัดอบรมเกี่ยวกับ AI | หลักสูตรพื้นฐาน 66.00% / การใช้งานเป็นเชิงกล 54.00% / ความมั่นคงปลอดภัย 49.00% / จริยธรรม 22.00% |
| ปัญหาหลักในการใช้งาน AI | ทักษะ/เทคนิคในการใช้ 79.00% / ความเข้าใจของ 50.00% / ขาดทรัพยากร 28.00% / ไม่มีปัญหา 8.00% |
| ผลสำรวจความคิดเห็น AI จะเป็นเทคโนโลยีหลักในสายงานที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ | เห็นด้วย 42.00% / ด้วยมาก 27.00% / ไม่ทราบ 25.00% / ไม่เห็นด้วย 6.00% |
| การมีความรู้ด้าน AI จะสามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งในบริการงานที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ | การให้คำปรึกษาด้าน AI Governance 75.00% / การจัดอบรมการใช้งาน AI สำหรับลูกค้า 75.00% / การให้คำปรึกษา AI Policy 69.00% / การจัดทำมาตรฐาน ISO/IEC 42001 68.00% |
| การส่งผลต่อประสิทธิภาพของบริการที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ | เพิ่มขึ้นมาก 35.00% / เพิ่มขึ้นเล็กน้อย 27.00% / ไม่เปลี่ยนแปลง 26.00% / ลดลง 12.00% |
| แนวทางเพื่อให้การใช้งาน AI ยั่งยืน | การส่งเสริมความรู้ 82.00% / วางแผนระยะยาว 58.00% / การจัดทำจริยธรรมการใช้งาน 41.00% / กำหนดผู้รับผิดชอบด้าน AI ภายในองค์กร 32.00% |

**ตารางที่ 6** ผลการตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยใช้สถิติ T-Test และ ANOVA

| สมมติฐาน | วิธีการวิเคราะห์ | ค่า p - value | ระดับนัยสำคัญ (α) | สรุปผล |
|---|---|---|---|---|
| เพศมีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการใช้งาน AI | T-Test | < 0.001 | 0.05 | มีนัยสำคัญ |
| กลุ่มอายุงานกับความคิดเห็นเกี่ยวกับ AI ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของบริการที่ปรึกษา | ANOVA | 0.016 | 0.05 | มีนัยสำคัญ |

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการวิจัยพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีช่วงอายุระหว่าง 25–34 ปี เป็นพนักงานทั่วไป ในแผนกบริการที่ปรึกษา ซึ่งมีประสบการณ์ในองค์กรระหว่าง 1–3 ปี ภาพรวมส่วนใหญ่มีประสบการณ์ใช้งานแล้ว ฟังก์ชันที่ใช้งานมากที่สุดคือการแปลภาษา และเลือกใช้ ChatGPT และเห็นด้วยว่า AI ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เคยมีประสบการณ์ฝึกอบรม AI ซึ่งเห็นว่าการอบรมประโยชน์ในระดับมาก และ AI มีผลต่อความมั่นคงของงาน รวมถึงมีความกังวลเรื่องความปลอดภัยข้อมูล ทั้งนี้องค์กรมีความพร้อมในระดับปานกลาง มีการกำหนดกลยุทธ์ AI บางส่วน และยังไม่ทราบเกี่ยวกับการกำหนดนโยบาย AI บทบาทหน้าที่ของผู้ใช้ AI และยังไม่มีการตรวจสอบผลลัพธ์ โดยส่วนใหญ่ยังเห็นว่า AI ช่วยลดขั้นตอนซ้ำซ้อนในระดับมาก และมีการสนับสนุนการเรียนรู้/ทดลองใช้เพียงบางส่วน รวมถึงมีข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ AI ในองค์กร โดยมีความต้องการอบรม AI ขั้นพื้นฐาน ซึ่งปัญหาหลักคือทักษะและเทคนิคการใช้งาน อย่างไรก็ตามยังเห็นด้วยว่า AI เป็นเทคโนโลยีหลัก และสามารถเป็นหนึ่งในบริการที่ปรึกษา ที่จะทำให้ประสิทธิภาพของบริการที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และควรส่งเสริมให้มีการใช้งาน AI ในองค์กร ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี TAM ในมิติการรับรู้ประโยชน์ของเทคโนโลยี (Perceived Usefulness: PU) และความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use: PEOU) (Davis, 1989) และกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี UTAUT ในมิติความคาดหวังว่าเทคโนโลยีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงาน (Performance Expectancy: PE) และความคาดหวังการใช้เทคโนโลยี (Effort Expectancy: EE) ที่อธิบายว่าการรับรู้ประโยชน์และความง่ายในการใช้งานจะผลักดันความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยี (Behavioral Intention: BI) และการใช้จริง (Use Behavior: UB) ของเทคโนโลยี ในขณะที่ความกังวลด้านความปลอดภัยและนโยบายที่ยังไม่ชัดเจนสะท้อนมิติ Facilitating Conditions (FC) ของ UTAUT ที่ยังไม่แข็งแรงพอ (Venkatesh et al., 2003)

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวโน้มจากรายงานที่พบว่าองค์กรส่วนใหญ่ใช้งาน AI ในไม่กี่ฟังก์ชันสำคัญก่อน โดยฟังก์ชันที่ได้รับความนิยมยังคงเป็นการขยายบริการและปรับปรุงกระบวนการทำงานเป็นหลัก ตามที่ McKinsey Global Survey on AI (2024) รายงานว่าองค์กรโดยเฉลี่ยใช้งาน AI ในสามฟังก์ชันธุรกิจหลัก ซึ่งยังถือว่าเป็นสัดส่วนที่ไม่สูงนัก ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย ผลการศึกษาพบว่า องค์กรเน้นใช้งาน AI เพื่อขยายงานที่ปรึกษาและบริการ (23.26%) และ ประหยัดเวลา/ลดขั้นตอน (20.93%) สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าองค์กรโฟกัสโซลูชันที่ให้ความคุ้มค่าทางธุรกิจสูงสุดก่อน ส่วนการใช้งานในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (4.65%) งานประจำซ้ำซ้อน (4.65%) และด้านความมั่นคง (2.33%) ยังอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนกรอบความพร้อมและความเชื่อมั่นขององค์กรที่อาจยังไม่มากพอสำหรับสเกลการใช้งานในฟังก์ชันรอง ซึ่งตีความได้ตามกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี TAM/UTAUT ได้ว่าการรับรู้ประโยชน์ของเทคโนโลยี (PU) และความคาดหวังว่าเทคโนโลยีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงาน (PE) จาก

การลดขั้นตอนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เป็นตัวขับเคลื่อนหลักของความตั้งใจที่จะใช้เทคโนโลยี (BI) มากกว่ากิจกรรมที่ต้องมีเงื่อนไขสนับสนุน เช่น ทรัพยากร และการสนับสนุนระบบ AI จากองค์กร (FC) และอิทธิพลทางสังคม (Social Influence: SI) สูง เช่น การใช้งานเชิงกลยุทธ์หรือด้านความมั่นคง

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบเทียบผลการทดสอบ T-Test และ ANOVA กับสมมติฐาน แสดงให้เห็นว่า เพศมีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการใช้งาน AI ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เพศมีผลต่อความคิดเห็นต่อการใช้งาน AI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 4.27$, $p < 0.001$) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ อาจกล่าวได้ว่าเพศชายและเพศหญิงมีมุมมองต่อความสามารถของ AI ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกัน ส่วนอายุงานมีผลต่อการรับรู้ผลกระทบของ AI ต่อบริการที่องค์กรให้บริการ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อายุงานมีผลต่อความคิดเห็นเกี่ยวกับผลของ AI ต่อประสิทธิภาพของบริการที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่องค์กรให้บริการ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 4.02$, $p = 0.016$) ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ อาจกล่าวได้ว่า พนักงานที่มีช่วงอายุงานต่างกันมีมุมมองต่อบทบาทของ AI ในการสนับสนุนบริการที่ปรึกษาที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี UTAUT ที่ระบุตัวปรับ (Moderators: เพศ, อายุ, ประสบการณ์, ความสมัครใจใช้ (voluntariness)) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความคาดหวังว่าเทคโนโลยีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงาน (PE) ความคาดหวังการใช้เทคโนโลยี (EE) อิทธิพลทางสังคม (SI) กับความตั้งใจใช้ (BI) และการใช้จริง (UB) กล่าวคือ กลุ่มที่มีประสบการณ์มากกว่ามักรับรู้ความพยายามในการใช้ และเห็นประโยชน์ชัดเจนกว่าจึงมีแนวโน้มตั้งใจใช้งานที่สูงกว่า

จากผลการวิจัยข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในองค์กร กรณีศึกษาบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเน้นการสนับสนุนงานที่ปรึกษาและการขยายบริการเป็นหลัก รองลงมาคือการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการสืบค้นข้อมูลโดยใช้ AI ส่วนการใช้งานในด้านการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ งานประจำซ้ำซ้อน และด้านความมั่นคงยังอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการรับรู้ประโยชน์ของเทคโนโลยี (PU) และความง่ายในการใช้งาน (PEOU หรือความคาดหวังการใช้เทคโนโลยี (EE) คือเรื่องสำคัญของการยอมรับการใช้ AI ขณะที่การยกระดับเงื่อนไขสนับสนุน (FC) และอิทธิพลทางสังคม (SI) ยังเป็นความท้าทายที่ต้องพัฒนา

### 5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1) ข้อจำกัด: กลุ่มตัวอย่างจำกัดเฉพาะพนักงานในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จึงอาจไม่สะท้อนการใช้งานสำหรับภายนอกองค์กร
2) แนวทางวิจัยถัดไป: ทำงานวิจัยข้ามองค์กร เปรียบเทียบรูปแบบการใช้งาน AI ในภาคธุรกิจอื่นๆ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พนักงานในบริษัทให้คำปรึกษาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เป็นอย่างสูง ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. (2566). การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการพัฒนาระบบราชการภาครัฐ. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.

Pattanayak, S. K. (2563). Generative AI กับการยกระดับความเร็วและคุณภาพการให้คำปรึกษาทางธุรกิจ: ประเด็นจริยธรรมและการกำกับดูแล. วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีสารสนเทศ, 3(2), 15–29.

Fast Company Executive Board. (2025, February 12). How AI agents and copilots are rewriting the rules of consulting. Fast Company. https://www.fastcompany.com/12345678/ai-agents-rewrite-consulting

Rapoport, G., Bicanic, S., & Talabi, M. (2025, May 7). *Survey: Generative AI's uptake is unprecedented despite roadblocks*. Bain & Company. Retrieved from https://www.bain.com/insights/survey-generative-ai-uptake-is-unprecedented-despite-roadblocks/

McKinsey & Company. (2024). *The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value*. Retrieved from https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-2024

Yamane, T. (1967). Statistics: An introductory analysis (2nd ed.). New York, NY: Harper & Row.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly, 27*(3), 425–478.

# การศึกษาความรู้ ปัญหาและอุปสรรค ของบุคลากร IT ต่อ พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 กรณีศึกษาบริษัท System Integration (SI) แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร

# A Study of IT Personnel's Knowledge, Problems, and Obstacles Regarding the Personal Data Protection Act B.E. 2562 (2019): A Case Study of a System Integration (SI) Company in Bangkok.

**รติกิตติ์ กล่อมวิเศษ[1], ชุติมา พิศาลย์[2]**

**Ratikit Klomwises[1], Chutima Pisarn[2]**

[1]วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

[1]Corresponding author. Email: ratikit.k63@rsu.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา 1) เพื่อศึกษาระดับความรู้ ความเข้าใจ และความพร้อมของบุคลากร IT ในบริษัท System Integration (SI) ในการปฏิบัติตาม พ.ร.บ. คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 2) เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรค ต่อการใช้พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ของบุคลากร IT บริษัท System Integration (SI) ผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษาแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) ประกอบด้วย การวิจัยเชิงปริมาณ จากกลุ่มเป้าหมายบุคลากรในบริษัท System Integration (SI) ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้หรือจัดการข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 60 ราย และการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับบุคลากรระดับผู้บริหารหรือผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 5 ราย ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 68.4 และเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 31.6 ระดับการศึกษา ปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 61.7 ปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 38.3 จำแนกอายุการทำงาน 10 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 73.3 อายุการทำงานต่ำกว่า 5 ปี คิดเป็นร้อยละ 16.7 และจำแนกอายุการทำงาน 5-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 10.0 บุคลากรของบริษัท System Integration (SI) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ผ่านแกณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 88.3 ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหา และอุปสรรค พบว่า ระบบฐานข้อมูลเดิมมักไม่มีมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูล ยังมีจุดอ่อนในด้านนโยบาย และการจัดการข้อมูลที่ยังไม่เป็นระบบ ผู้ใช้งานที่ไม่มีความเข้าใจในหลัก PDPA รวมถึงข้อจำกัดของระบบ IT ที่ล้าสมัย

**คำสำคัญ:** พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ความพร้อม ปัญหาและอุปสรรค

**Abstract**

This research has the following objectives: 1) to study the level of knowledge, understanding, and readiness of IT personnel in a System Integration (SI) company in complying with the Personal Data Protection Act B.E. 2562 (2019); and 2) to study the current situation, problems, and obstacles regarding the use of the Personal Data Protection Act B.E. 2562 (2019) by IT personnel in a System Integration (SI) company. The researcher employed a mixed-methods research approach, consisting of quantitative research with a target group of 60 personnel from a System Integration (SI) company who are involved with the use or management of personal data, and qualitative research through in-depth interviews with 5 executives or personnel responsible for personal data management. The study found that among the 60 samples, the majority were male (68.4%) and female (31.6%). Regarding education level, bachelor's degree holders accounted for 61.7% and master's degree holders for 38.3%. In terms of years of work experience, 73.3% had 10 years or more, 16.7% had less than 5 years, and 10.0% had 5-10 years. The study revealed that 88.3% of the IT personnel at the System Integration (SI) company passed the knowledge and understanding criteria regarding the Personal Data Protection Act B.E. 2562 (2019). The findings on problems and obstacles indicated that legacy database systems often lack data storage standards, there are weaknesses in policies and unsystematic data management, users lack an understanding of the principles of PDPA, and there are limitations with outdated IT systems.

**Keywords:** Personal Data Protection Act, readiness, problems and obstacles.

**1. บทนำ**

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับข้อมูลเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลจากบนเว็บไซต์ แพลตฟอร์ม การกรอกแบบฟอร์ม การทำธุรกรรมต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งการสมัครงาน และรูปแบบของข้อมูลที่หน่วยงานมีการจัดเก็บ คือข้อมูลส่วนบุคคล ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อม ได้แก่ ชื่อ นามสกุล หมายเลขโทรศัพท์ ที่อยู่ อีเมล หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน รูปถ่าย ประวัติการทำงาน และอายุ นอกจากนั้นก็ยังมี Personal Data Sensitive ข้อมูลส่วนบุคคลที่ละเอียดอ่อนที่มีการควบคุมเข้มงวดขึ้นมาอีกขั้น ได้แก่ เชื้อชาติ ชาติพันธุ์ ความคิดเห็นทางการเมือง ความเชื่อทางศาสนา หรือ ปรัชญา พฤติกรรมทางเพศ ประวัติอาชญากรรม สุขภาพ ความพิการ สหภาพแรงงาน พันธุกรรมชีวภาพ ข้อมูลสุขภาพ หรือข้อมูลอื่นใดที่กระทบต่อเจ้าของข้อมูลส่วนบุคคลในทำนองเดียวกันตามหลักเกณฑ์ที่คณะกรรมการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลจะประกาศกำหนดล้วนแต่เป็น “ข้อมูลส่วนบุคคล” ทั้งสิ้น เพราะฉะนั้น ในแต่ละองค์กรจึงจำเป็นต้องให้มีกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลขึ้น (ทำไมเราถึงต้องให้ความสำคัญกับ PDPA, 2021) การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลจึงกลายเป็นประเด็นที่สำคัญยิ่ง ทั้งในด้านสิทธิมนุษยชน ความมั่นคง และภาพลักษณ์องค์กร

ประเทศไทยได้ออกพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ซึ่งมีผลบังคับใช้เต็มรูปแบบเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เพื่อยกระดับมาตรฐานการคุ้มครองข้อมูลให้สอดคล้องกับกฎหมายสากล การที่พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 มีผลบังคับใช้อย่างเต็มรูปแบบ ทำให้บริษัทผู้ให้บริการทางเทคโนโลยีจำเป็นต้องปรับกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับกฎหมาย เพื่อป้องกันความเสี่ยงทางกฎหมายและรักษาความน่าเชื่อถือในสายตาลูกค้า โดยเฉพาะในบริษัทที่มี

บทบาทเป็นผู้ออกแบบระบบและโซลูชันด้าน IT ย่อมต้องแบกรับความคาดหวังในการคุ้มครองข้อมูลและรักษาความมั่นคงปลอดภัยของระบบให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล

ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นที่มาของการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์ระดับความรู้ของบุคลากรด้าน IT ในบริษัท System Integration (SI) ปัญหา อุปสรรค ของการใช้พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินงานให้ถูกต้องตามกฎหมาย และเสริมสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรในฐานะผู้รับผิดชอบต่อข้อมูลส่วนบุคคลของลูกค้าและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างแท้จริง

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความรู้ ความเข้าใจ และความพร้อมของบุคลากร IT ในบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศในการปฏิบัติตาม พ.ร.บ. คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

2. เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรค ต่อการใช้พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ของเจ้าหน้าที่บริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) ประกอบด้วย

3.1.1 การวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อประเมินความรู้ ความเข้าใจ และความพร้อมของบุคลากรในการปฏิบัติตาม พ.ร.บ. คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 โดยใช้แบบทดสอบชนิดถูก–ผิด จำนวน 30 ข้อ

3.1.2 การวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับบุคลากรระดับผู้บริหารหรือผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 5 คน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคที่พบในกระบวนการดำเนินงาน

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร

- ประชากรในการวิจัยนี้คือบุคลากร IT ในบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งหนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้หรือจัดการข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 184 คน

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

- กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มโดยใช้สูตรของ Yamane (1973) ในการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้จำนวนที่เหมาะสมและสามารถเป็นตัวแทนของประชากรได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (sampling error) ที่ระดับ 0.1 หรือ 10% จึงได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมเท่ากับ 64 คน โดยคำนวณจากสูตร:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

- n = ขนาดกลุ่มตัวอย่าง
- N = ขนาดประชากร (184 คน)
- e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (0.1)

เพื่อความเหมาะสมกับบริบทของการวิจัยและข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากร ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คน ซึ่งเพียงพอในการสะท้อนความคิดเห็นและพฤติกรรมของกลุ่มเป้าหมายในระดับหนึ่ง ทั้งนี้ยังอยู่ภายใต้กรอบของการวิจัยเชิงสำรวจที่ต้องการการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความรู้ของบุคลากร IT ต่อ พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562

- กลุ่มตัวอย่างเชิงคุณภาพ จำนวน 5 คน ได้จากการคัดเลือกตามคุณลักษณะเฉพาะ (Key Informants) ได้แก่ ผู้บริหารระดับกลาง–สูง หรือเจ้าหน้าที่ที่ดูแลด้าน PDPA โดยตรง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 แบบทดสอบ (เชิงปริมาณ)

เป็นแบบทดสอบชนิดถูก–ผิด จำนวน 30 ข้อ ครอบคลุม 3 ด้าน ผู้ทดสอบจำนวน 60 ท่าน ได้แก่:

1. หมวดที่ 1: ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ พ.ร.บ. คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล
2. หมวดที่ 2: ความเข้าใจในบทบาทของเจ้าหน้าที่ในองค์กร
3. หมวดที่ 3: ความพร้อมและแนวทางปฏิบัติในองค์กร

วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), ค่าสูงสุด–ต่ำสุด และร้อยละ (Percentage) กำหนดระดับผลการประเมินตามตารางดังนี้:

| คะแนน (จาก 30) | ร้อยละ (%) | ระดับผลการประเมิน |
|---|---|---|
| 27 – 30 | 90 – 100% | ดีเยี่ยม (Excellent) |
| 24 – 26 | 80 – 89% | ดีมาก (Very Good) |
| 21 – 23 | 70 – 79% | ผ่านเกณฑ์ (Pass) |
| ต่ำกว่า 21 | ต่ำกว่า 70% | ไม่ผ่านเกณฑ์ (Not Pass) |

3.3.2 การวิจัยเชิงคุณภาพ

สัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อสอบถามมุมมองของผู้บริหารหรือผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 5 ท่าน เกี่ยวกับ ปัญหา และอุปสรรค แนวทางการดำเนินการที่เกี่ยวข้องพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ดังกล่าว

3.3.3 จริยธรรมในการวิจัย

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บเป็นความลับ ไม่มีการเปิดเผยชื่อหรือข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ให้ข้อมูล ผู้เข้าร่วมทุกคนได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย และให้ความยินยอมก่อนเข้าร่วม

**4. ผลการวิจัย**

ตอนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ทำแบบสอบถาม

เป็นการวิจัยถึงลักษณะทั่วไปของปัจจัยส่วนบุคคล ของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา อายุการทำงาน

**ตารางที่ 1** แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามเพศ

| เพศ | จำนวน | ร้อยละ |
|---|---|---|
| ชาย | 41 | 68.4 |
| หญิง | 19 | 31.6 |
| **รวม** | **60** | **100.0** |

จากตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 41 คน คิดเป็น ร้อยละ 68.40 และเป็นเพศหญิง จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 31.60

**ตารางที่ 2** แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับการศึกษา

| ระดับการศึกษา | จำนวน | ร้อยล่ะ |
|---|---|---|
| ปริญญาตรี | 37 | 61.7 |
| ปริญญาโท | 23 | 38.3 |
| ปริญญาเอก | 0 | 0 |
| **รวม** | **60** | **100.0** |

จากตารางที่ 2 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในระดับการศึกษาปริญญาตรี จำนวน 37 คน คิดเป็น ร้อยละ 61.70 และระดับการศึกษาปริญญาโท จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 38.30

**ตารางที่ 3** แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามอายุการทำงาน

| อายุการทำงาน | จำนวน | ร้อยล่ะ |
|---|---|---|
| ต่ำกว่า 5 ปี | 10 | 16.7 |
| 5-10 ปี | 6 | 10.0 |
| 10 ปีขึ้นไป | 44 | 73.3 |
| **รวม** | **60** | **100.0** |

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อายุการทำงานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป จำนวน 44 คน คิดเป็น ร้อยละ 73.30 จำนวน 23 คน อายุการทำงานต่ำกว่า 5 ปี จำนวน 10 คนคิดเป็นร้อยละ 16.70 และ อายุการทำงาน 5-10 ปี จำนวน 6 คนคิดเป็นร้อยละ 10.0

**ตารางที่ 4** แสดงผลการทำทดสอบ

| คะแนน (จาก 30) | ร้อยละ (%) | ระดับผลการประเมิน | ระดับผลคะแนนผู้ทำแบบทดสอบ | ร้อยล่ะ |
|---|---|---|---|---|
| 27 – 30 | 90 – 100% | ดีเยี่ยม (Excellent) | 8 | 13.3 |
| 24 – 26 | 80 – 89% | ดีมาก (Very Good) | 30 | 50.0 |
| 21 – 23 | 70 – 79% | ผ่านเกณฑ์ (Pass) | 15 | 25.0 |
| ต่ำกว่า 21 | ต่ำกว่า 70% | ไม่ผ่านเกณฑ์ (Not Pass) | 7 | 11.7 |
| | **รวม** | | **60** | **100** |

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลทดสอบระดับคะแนน 24–26 จำนวน 30 คน อยู่ในระดับดีมาก คิดเป็น ร้อยละ 50.0 ผลทดสอบระดับคะแนน 21- 23 จำนวน 15 คน อยู่ในระดับผ่านเกณฑ์ คิดเป็น ร้อยละ 25.0 ผลทดสอบระดับคะแนน 27- 30 จำนวน 8 คน คิดเป็น ร้อยละ 13.3 อยู่ในระดับดีเยี่ยม และ ต่ำกว่า 21 จำนวน 7 คน คิดเป็น ร้อยละ 11.7 ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์

**ตารางที่ 5** สรุปผลการสัมภาษณ์เชิงลึก

| คำถาม | สรุปคำตอบแบบสอบถาม |
|---|---|
| 1.เจ้าหน้าที่ IT มักพบอุปสรรคใดในการแยกแยะข้อมูลส่วนบุคคลออกจากข้อมูลทั่วไปในระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ | - ปัญหาการจัดเก็บข้อมูลแบบที่ไม่มีมาตรฐาน ระบบฐานข้อมูลเดิมมักไม่มีมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูล เช่น ไม่มีการระบุ metadata หรือ tag ให้ข้อมูลที่เป็น PII (Personally Identifiable Information) ทำให้ยากต่อการคัดแยกหรือกรองข้อมูลส่วนบุคคลออกจากข้อมูลทั่วไป<br>- ระบบเดิม (Legacy Systems) ไม่มีการระบุประเภทข้อมูล ระบบเก่ามักพัฒนาโดยไม่มีแนวคิดเรื่องการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล จึงไม่มีการแยกประเภทข้อมูลไว้ตั้งแต่ต้น ส่งผลให้ต้องย้อนตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดด้วยมือ<br>- ความซับซ้อนของโครงสร้างฐานข้อมูล ระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่มักประกอบด้วยหลายตารางและหลายความสัมพันธ์ ทำให้เจ้าหน้าที่ IT ต้องใช้เวลามากในการตรวจสอบแต่ละฟิลด์ว่ามีข้อมูลส่วนบุคคลหรือไม่ |
| 2.การขาดความเข้าใจของผู้ใช้งานระบบ (End-users) ส่งผลต่อการปฏิบัติตาม พ.ร.บ. PDPA อย่างไร | - การที่เปิดเผยข้อมูลโดยไม่รู้ตัว ผู้ใช้งานที่ไม่มีความเข้าใจในหลัก PDPA อาจเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคล เช่น รายชื่อลูกค้า เบอร์โทร หรือที่อยู่อีเมล ผ่านอีเมล กลุ่มไลน์ หรือระบบสื่อสารอื่น ๆ โดยไม่รู้ตัวว่าเป็นการละเมิดสิทธิของเจ้าของข้อมูล<br>- การละเลยการขอความยินยอม ผู้ใช้งานจำนวนมากไม่ตระหนักถึงความสำคัญของ “การขอความยินยอมอย่างชัดเจน” (explicit consent) และอาจใช้ข้อมูลส่วนบุคคลโดยไม่ผ่านกระบวนการนี้ ส่งผลให้การดำเนินงานผิดกฎหมายโดยไม่รู้ตัว |

| คำถาม | สรุปคำตอบแบบสอบถาม |
|---|---|
| | - ทำให้เกิดความเสียหายต่อภาพลักษณ์องค์กร การกระทำผิดพลาดของ End-users อันเกิดจากความไม่เข้าใจ อาจนำไปสู่การฟ้องร้องหรือเสียค่าปรับ ส่งผลให้ชื่อเสียงขององค์กรเสียหาย และลดความเชื่อมั่นจากลูกค้าหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง |
| 3.โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า (Legacy Systems) เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติตาม PDPA อย่างไร | - โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า ขาดฟังก์ชันในการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล ระบบเก่ามักไม่มีความสามารถในการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลอย่างละเอียด ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลเกินขอบเขตหน้าที่ ซึ่งขัดต่อหลักการปกป้องข้อมูลของ PDPA<br>- โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า ไม่มีการสำรองข้อมูลแบบปลอดภัย ระบบเก่าบางระบบมีการสำรองข้อมูลแบบรวมกันทั้งหมด โดยไม่มีการเข้ารหัส หรือไม่สามารถแยกข้อมูลส่วนบุคคลออกจากข้อมูลทั่วไปในไฟล์สำรอง ทำให้หากมีการขโมยหรือรั่วไหล ก็ไม่สามารถควบคุมผลกระทบได้<br>- โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า ไม่รองรับการลบข้อมูลอย่างปลอดภัย (Right to Erasure) ตาม PDPA เจ้าของข้อมูลมีสิทธิขอลบข้อมูลของตน แต่ระบบเก่ามักไม่มีฟังก์ชันการลบแบบปลอดภัย และอาจยังเก็บข้อมูลไว้ในรูปแบบสำรอง (backup) ที่ไม่สามารถควบคุมได้ |
| 4.ปัญหาการประสานงานระหว่างฝ่ายกฎหมายและฝ่าย IT มีผลต่อการปฏิบัติตาม PDPA อย่างไร | -ทำให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในข้อกฎหมาย ฝ่าย IT อาจตีความกฎหมายผิดหรือไม่เข้าใจหลักการของ PDPA เช่น การจัดเก็บความยินยอม หรือสิทธิของเจ้าของข้อมูล เพราะไม่ได้รับคำอธิบายที่เข้าใจง่ายจากฝ่ายกฎหมาย ทำให้การออกแบบระบบผิดพลาดตั้งแต่ต้น<br>- การเลือกเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม หากฝ่าย IT เลือกเครื่องมือหรือระบบโดยไม่ปรึกษาฝ่ายกฎหมาย อาจเลือกใช้ระบบที่ไม่สามารถตอบสนองสิทธิของเจ้าของข้อมูล หรือไม่มีการป้องกันตามมาตรฐาน PDPA<br>- ฝ่าย IT ขาดการฝึกอบรมด้านกฎหมาย หากฝ่ายกฎหมายไม่ได้ถ่ายทอดความรู้ให้ฝ่าย IT ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายหรือไม่จัดอบรมร่วมกัน จะทำให้ฝ่าย IT ไม่มีทักษะเพียงพอในการตัดสินใจเชิงกฎหมายขณะดูแลข้อมูล |
| 5. เพราะเหตุใดการเก็บ log file การเข้าถึงข้อมูลจึงเป็นทั้งมาตรการสำคัญและอุปสรรคของการปฏิบัติตาม PDPA | - เป็นหลักฐานในการตรวจสอบย้อนหลัง (Audit Trail) การเก็บ log file ช่วยให้องค์กรสามารถตรวจสอบว่าใครเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลเมื่อใด อย่างไร ซึ่งจำเป็นต่อการสอบสวนกรณีเกิดเหตุข้อมูลรั่วไหลหรือถูกนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต |

| คำถาม | สรุปคำตอบแบบสอบถาม |
|---|---|
| | - ขาดความรู้หรือบุคลากรในการจัดการ log อย่างเหมาะสม เจ้าหน้าที่ IT อาจขาดความรู้ด้านความมั่นคงไซเบอร์ หรือไม่มีการอบรมในการวิเคราะห์และบริหารจัดการ log file อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้ log ที่จัดเก็บไว้ไม่มีประโยชน์<br>- ความเสี่ยงในการเก็บ log file ที่มีข้อมูลส่วนบุคคล บาง log file อาจบันทึกข้อมูลที่เป็น PII (เช่น ชื่อผู้ใช้, เบอร์โทร, IP address) ซึ่งหากไม่มีการควบคุมที่ดี ก็เสี่ยงต่อการละเมิด PDPA เสียเอง |

**5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

ผลการทดสอบจากการให้บุคลากรของบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) ทำแบบทดสอบความรู้ความเข้าใจจำนวน 30 ข้อ จาก 60 คน ของพ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ผลการทดสอบอยู่ในระดับคะแนน 21–30 คิดเป็น 88.3% ถือว่าผ่านเกณฑ์ พนักงานของบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) มีความรู้ความเข้าใจดีเยี่ยม

จากการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) สภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรค ของพ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ผู้บริหารระดับกลาง–สูง หรือเจ้าหน้าที่ที่ดูแลด้าน PDPA โดยตรง จึงนำมาวิเคราะห์ในข้อมูลมิติต่าง ๆ โดยสรุปได้ดังนี้

1.อุปสรรคในการแยกแยะข้อมูลส่วนบุคคลออกจากข้อมูลทั่วไปในระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ คือ ระบบฐานข้อมูลเดิมมักไม่มีมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูล ระบบเก่ามักพัฒนาโดยไม่มีแนวคิดเรื่องการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล จึงไม่มีการแยกประเภทข้อมูลไว้ตั้งแต่ต้น ส่งผลให้ต้องย้อนตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดด้วยมือ และความซับซ้อนของโครงสร้างฐานข้อมูล

2.การขาดความเข้าใจของผู้ใช้งานระบบ (End-users) ส่งผลต่อการปฏิบัติตาม พ.ร.บ. PDPA คือ ผู้ใช้งานที่ไม่มีความเข้าใจในหลัก PDPA อาจเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคล ทำให้เกิดความเสียหายต่อภาพลักษณ์องค์กร การกระทำผิดพลาดของ End-users อันเกิดจากความไม่เข้าใจ อาจนำไปสู่การฟ้องร้องหรือเสียค่าปรับ ส่งผลให้ชื่อเสียงขององค์กรเสียหาย

3.โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า (Legacy Systems) เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติตาม PDPA คือ โครงสร้างระบบ IT แบบเก่า ขาดฟังก์ชันในการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลเกินขอบเขตหน้าที่ ซึ่งขัดต่อหลักการปกป้องข้อมูลของ PDPA และไม่มีการสำรองข้อมูลแบบปลอดภัย

4.ปัญหาการประสานงานระหว่างฝ่ายกฎหมายและฝ่าย IT มีผลต่อการปฏิบัติตาม PDPA คือ ฝ่าย IT อาจตีความกฎหมายผิดหรือไม่เข้าใจหลักการของ PDPA การเลือกเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม หากฝ่าย IT เลือกเครื่องมือหรือระบบโดยไม่ปรึกษาฝ่ายกฎหมาย และฝ่าย IT ขาดการฝึกอบรมด้านกฎหมาย หากฝ่ายกฎหมายไม่ได้ถ่ายทอดความรู้ให้ฝ่าย IT ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายหรือไม่จัดอบรมร่วมกัน

5.เหตุใดการเก็บ log file การเข้าถึงข้อมูลจึงเป็นทั้งมาตรการสำคัญและอุปสรรคของการปฏิบัติตาม PDPA คือ เป็นหลักฐานในการตรวจสอบย้อนหลัง (Audit Trail) และความเสี่ยงในการเก็บ log file ที่มีข้อมูลส่วนบุคคล หากไม่มีการควบคุมที่ดีก็เสี่ยงต่อการละเมิด PDPA เสียเอง

จากผลการทดสอบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ของบุคลากรในบริษัทเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) จำนวน 60 คน พบว่า พนักงานจำนวน 88.3% มีคะแนนอยู่ในช่วง 21–30 คะแนนจากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับ “ผ่านเกณฑ์” หรือมีความรู้ความเข้าใจที่ดีเยี่ยมเกี่ยวกับกฎหมายฉบับนี้ในเชิงทฤษฎี

อย่างไรก็ตาม ผลการสัมภาษณ์เชิงลึกกลับเผยให้เห็นว่า แม้บุคลากรจะมีความรู้เชิงทฤษฎีในระดับสูง แต่ยังคงมี “ช่องว่างด้านความเข้าใจ” ในเชิงปฏิบัติ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสี่ยงในการดำเนินงานจริง เช่น การจัดเก็บหรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลโดยไม่ตั้งใจ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนในแนวทางปฏิบัติตามกฎหมาย การขาดการอบรมที่ต่อเนื่อง และการขาดเครื่องมือหรือระบบสนับสนุนภายในองค์กร

ดังนั้น ผลสัมภาษณ์เชิงลึกจึงทำหน้าที่เสริมให้เห็นมิติที่ลึกขึ้นว่า แม้พนักงานจะมี “พื้นฐานความรู้” ที่ดีจากแบบทดสอบ แต่ก็ยังมี “ความต้องการพัฒนา” ในด้านการนำไปใช้จริง โดยเฉพาะการฝึกอบรมที่เน้นสถานการณ์จำลอง การสร้างระบบสนับสนุนภายในองค์กร และการปรับปรุงกระบวนการให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎหมาย PDPA อย่างเป็นระบบ

**7. เอกสารอ้างอิง**

ณิชาฉัฐ ปฏสาศิลป. (2560). ข้อบังคับการคุ้มครองข้อมูลทั่วไปของสหภาพยุโรป. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.

ราชกิจจานุเบกษา. (2562). พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลสวนบุคคล พ.ศ. 2562. สืบค้นจาก https://www.ratchakitcha.soc.go.th

วัชรินทร บูรพาอารยวงศ. (2563). การศึกษาปจจัยที่สงผลตอความตั้งใจของพนักงานบริษัทเอกชนในการปฏิบัติงาน ตามนโยบายรักษาความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับ PDPA พ.ร.บ.คุ้มครองข้อมูลสวนบุคคล พ.ศ. 2562 ในบริษัท.มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร.

Kasidis Satangmongkol (2019). รีวิวสูตรคำนวณจำนวนตัวอย่างของ อ.Taro Yamane. https://datarockie.com/blog/yamane-sample-size-calculation/

Optimus. (2562). ทำไมเราถึงต้องให้ความสำคัญกับ PDPA.https://optimus.co.th/important-pdpa.

# ภาคผนวก

คำสั่งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ที่ ๑๖๕ / ๒๕๖๘
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการจัดงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔

---

ด้วย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จัดกิจกรรมงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔ ในวันที่ ๒๗ สิงหาคม ๒๕๖๘ ณ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ทักษะ และประสบการณ์จากการศึกษาค้นคว้าวิจัย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๖ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ ตามความในมาตรา ๓๘ แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. ๒๕๓๔ แก้ไขเพิ่มเติมตามพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๕๐ มาตรา ๓๑ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ และคำสั่งมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ ๒๓๐/๒๕๖๓ เรื่อง การมอบอำนาจให้คณบดี ผู้อำนวยการสำนัก สถาบันและหัวหน้าหน่วยงานที่เรียกชื่ออย่างอื่นที่มีฐานะเทียบเท่าคณะปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี จึงแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการจัดงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔ ดังนี้

**๑. คณะกรรมการอำนวยการ**

| | |
|---|---|
| ๑.๑ อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา | ประธานกรรมการ |
| ๑.๒ ผศ.ดร.ชยันต์ นันทวงศ์ | รองประธานกรรมการ |
| ๑.๓ ผศ.ดร.ศศิโสพิต บัวดา | กรรมการ |
| ๑.๔ อาจารย์นารีรัตน์ บุญลักษณ์ | กรรมการ |
| ๑.๕ ผศ.ดร.นเรศ สวัสดิ์รักษา | กรรมการ |
| ๑.๖ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ | กรรมการ |
| ๑.๗ ผศ.ดร.จีรพรรณ เทียนทอง | กรรมการ |
| ๑.๘ รศ.ดร.นันทวุฒิ นิยมวงษ์ | กรรมการ |
| ๑.๙ ผศ.บุญญฤทธิ์ เงินคำ | กรรมการ |
| ๑.๑๐ ผศ.มณีรัตน์ น้ำจันทร์ | กรรมการ |
| ๑.๑๑ อาจารย์ ดร.ดุษฎี คำบุญเรือง | กรรมการ |
| ๑.๑๒ ผศ.วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์ | กรรมการ |

/ ๑.๑๓ ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ ...

๑.๑๓ ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ กรรมการ
๑.๑๔ อาจารย์เอกวิทย์ สิทธิวะ กรรมการ
๑.๑๕ ผศ.ดร.นารีรมย์ รัตนสัมฤทธิ์ กรรมการ
๑.๑๖ อาจารย์ทศพร โพธิ์เนียม กรรมการ
๑.๑๗ นางทัศนีย์ ทรัพย์ประมวล กรรมการและเลขานุการ
๑.๑๘ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

<u>หน้าที่</u> วางแผนการจัดงานและให้คำปรึกษาแก่คณะกรรมการฝ่ายต่าง ๆ

**๒. คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์**

๒.๑ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ ประธานกรรมการ
๒.๒ อ.รังสิตา จันทร์หอม รองประธานกรรมการ
๒.๓ นายอาทิตย์ แก้ววงษา กรรมการ
๒.๔ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช กรรมการ
๒.๕ นางสาวเจนจิรา เดชพงค์ กรรมการ
๒.๖ นางสาวอัญชลี แสนสง กรรมการ
๒.๗ น.ส.วลีรัตน์ ต้วงมหาสอน กรรมการและเลขานุการ

<u>หน้าที่</u> ๑) ประชาสัมพันธ์กิจกรรม
๒) จัดเตรียมเอกสารข้อมูลประชาสัมพันธ์กิจกรรม
๓) จัดทำประกาศผลการแข่งขัน

**๓. คณะกรรมการฝ่ายรับบทความ**

๓.๑ ผศ.ดร.ชยันต์ นันทวงศ์ ประธานกรรมการ
๓.๒ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช รองประธานกรรมการ
๓.๓ อ.กฤษณะ ขุมเพ็ชร กรรมการ
๓.๔ นายศิริชัย ทวีผล กรรมการ
๓.๕ นางสาวเจนจิรา เดชพงค์ กรรมการ
๓.๖ นางสาวอัญชลี แสนสง กรรมการ
๓.๗ นางสาวกานต์ชนก จุนจั่น กรรมการและเลขานุการ

<u>หน้าที่</u> ๑) ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของบทความ
๒) ประสานงานกับผู้ส่งบทความ

**๔. คณะกรรมการประสานงานผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้องนำเสนอผลงาน**

๔.๑ ผศ.ดร.ชยันต์ นันทวงศ์ ประธานกรรมการ
๔.๒ ผศ.ดร.นเรศ สวัสดิ์รักษา รองประธานกรรมการ
๔.๓ อ.ดร.ดุษฎี คำบุญเรือง กรรมการ
๔.๔ ผศ.ดร.จีรพรรณ เทียนทอง กรรมการ

/ ๔.๕ ผศ.ดร.ธนัชพร ...

๔.๕ ผศ.ดร.ธนัชพร ศรีนพคุณ กรรมการ
๔.๖ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ กรรมการ
๔.๗ ผศ.ดร.นารีรมย์ รัตนสัมฤทธิ์ กรรมการ
๔.๘ ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ กรรมการ
๔.๙ อ.รังสิตา จันทร์หอม กรรมการ
๔.๑๐ อ.ณฐพร มีสวัสดิ์ กรรมการ
๔.๑๑ รศ.ดร.นันทวุฒิ นิยมวงษ์ กรรมการ
๔.๑๒ อ.กฤษณะ ขุมเพ็ชร กรรมการ
๔.๑๓ น.ส.วลีรัตน์ ด้วงมหาสอน กรรมการและเลขานุการ
๔.๑๔ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

**หน้าที่** ๑) ประสานงานผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง
๒) อำนวยความสะดวกให้กับผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง

**๕. คณะกรรมการฝ่ายประสานงานห้องนำเสนอผลงาน**

๕.๑ ผศ.ดร.จีรพรรณ เทียนทอง ประธานกรรมการ
๕.๒ อ.ดร.ดุษฎี คำบุญเรือง รองประธานกรรมการ
๕.๓ ผศ.ดร.ธนัชพร ศรีนพคุณ กรรมการ
๕.๔ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ กรรมการ
๕.๕ ผศ.ดร.นารีรมย์ รัตนสัมฤทธิ์ กรรมการ
๕.๖ ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ กรรมการ
๕.๗ อ.รังสิตา จันทร์หอม กรรมการ
๕.๘ อ.ณฐพร มีสวัสดิ์ กรรมการ
๕.๙ รศ.ดร.นันทวุฒิ นิยมวงษ์ กรรมการ
๕.๑๐ อ.กฤษณะ ขุมเพ็ชร กรรมการ
๕.๑๑ นายอาทิตย์ แก้ววงษา กรรมการ
๕.๑๒ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช กรรมการ
๕.๑๓ น.ส.เจนจิรา เดชพงค์ กรรมการ
๕.๑๔ น.ส.อัญชลี แสนสง กรรมการ
๕.๑๕ น.ส.อรณิชา แก้วเทศ กรรมการ
๕.๑๖ นายศิริชัย ทวีผล กรรมการ
๕.๑๗ นายณัฏฐ์ นุชนารถ กรรมการ
๕.๑๘ น.ส.กานต์ชนก จุนจั่น กรรมการ
๕.๑๙ นายศราวุธ ธะในสวรรค์ กรรมการและเลขานุการ

**หน้าที่** ๑) ประสานงานภายในห้องนำเสนอผลงาน
๒) อำนวยความสะดวกภายในห้องนำเสนอผลงาน

/ ๖. คณะกรรมการฯ ...

**๖. คณะกรรมการฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ**

| | |
|---|---|
| ๖.๑ อาจารย์กฤษณะ ขุมเพ็ชร | ประธานกรรมการ |
| ๖.๒ นายอาทิตย์ แก้ววงษา | รองประธานกรรมการ |
| ๖.๓ นายณัฏฐ์ นุชนารถ | กรรมการ |
| ๖.๔ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| ๖.๕ นายศราวุธ ธะในสวรรค์ | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** ดูแลเทคโนโลยีสารสนเทศให้เกิดความเรียบร้อยในการจัดงาน

**๗. คณะกรรมการฝ่ายจัดทำ Proceedings**

| | |
|---|---|
| ๗.๑ ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ | ประธานกรรมการ |
| ๗.๒ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ | รองประธานกรรมการ |
| ๗.๓ อ.กฤษณะ ขุมเพ็ชร | กรรมการ |
| ๗.๔ นางทัศนีย์ ทรัพย์ประมวล | กรรมการ |
| ๗.๕ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช | กรรมการ |
| ๗.๖ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| ๗.๗ นางสาวเจนจิรา เดชพงค์ | กรรมการ |
| ๗.๘ นางสาวอัญชลี แสนสง | กรรมการ |
| ๗.๙ น.ส.วลีรัตน์ ด้วงมหาสอน | กรรมการ |
| ๗.๑๐ น.ส.กานต์ชนก จุนจั่น | กรรมการ |
| ๗.๑๑ นายอาทิตย์ แก้ววงษา | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** จัดทำ Proceedings ในการประชุมวิชาการให้เกิดความเรียบร้อย

**๘. คณะกรรมการฝ่ายประสานงานวารสาร**

| | |
|---|---|
| ๘.๑ รศ.ดร.ชลดา เดชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์ | ประธานกรรมการ |
| ๘.๒ รศ.ดร.นันทวุฒิ นิยมวงษ์ | รองประธานกรรมการ |
| ๘.๓ ผศ.ดร.จีรพรรณ เทียนทอง | กรรมการ |
| ๘.๔ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** ประสานงานการจัดทำวารสารวิชาการให้เกิดความเรียบร้อยและบรรลุตามวัตถุประสงค์

**๙. คณะกรรมการฝ่ายเกียรติบัตร**

| | |
|---|---|
| ๙.๑ นายอาทิตย์ แก้ววงษา | ประธานกรรมการ |
| ๙.๒ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช | รองประธานกรรมการ |
| ๙.๓ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| ๙.๔ น.ส.วลีรัตน์ ด้วงมหาสอน | กรรมการ |
| ๙.๕ นายศราวุธ ธะในสวรรค์ | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** ประสานงานด้านรายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อจัดทำวุฒิบัตร (สำหรับผู้เข้าร่วมทุกกิจกรรม)

/ ๑๐. คณะกรรมการฯ ...

**๑๐. คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล**

| | |
|---|---|
| ๑๐.๑ ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ | ประธานกรรมการ |
| ๑๐.๒ นายอาทิตย์ แก้ววงษา | รองประธานกรรมการ |
| ๑๐.๓ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| ๑๐.๔ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** ออกแบบ/จัดทำ/แจกแบบสอบถาม/ประมวลผลแบบสอบถาม และจัดทำรายงานสรุปผลการจัดกิจกรรม เพื่อเสนอต่อกรรมการบริหารของคณะ

**๑๑. คณะกรรมการฝ่ายการเงินและพัสดุ**

| | |
|---|---|
| ๑๑.๑ ผศ.ดร.นเรศ สวัสดิ์รักษา | ประธานกรรมการ |
| ๑๑.๒ นางทัศนีย์ ทรัพย์ประมวล | รองประธานกรรมการ |
| ๑๑.๓ น.ส.ชนิตร์นันท์ กุลนาพันธ์ | กรรมการ |
| ๑๑.๔ นางวัชรี ไหมทอง | กรรมการ |
| ๑๑.๕ น.ส.วลีรัตน์ ด้วงมหาสอน | กรรมการ |
| ๑๑.๖ นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| ๑๑.๗ น.ส.วรพรรณ เวศานนทเวช | กรรมการและเลขานุการ |

**หน้าที่** อำนวยความสะดวกด้านการจัดเตรียมเอกสารสำคัญในการเบิก-จ่ายงบประมาณ เพื่อใช้ในการจัดกิจกรรมต่างๆ ในเรื่องการจัดซื้อ-จัดจ้าง ดูแลและกำกับการตรวจสอบการขออนุมัติเรื่องซื้อ-จ้างให้เป็นไปด้วยความถูกต้อง เรียบร้อย และทันเวลา

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๘

(อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประกาศคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
เรื่อง ประกาศผลรางวัลบทความวิจัยดีเด่น (Best Paper Award)
ในงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔
(The 4th NSRU Conference on Science and Technology)

---

ด้วย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ได้จัดงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔ (The 4th NSRU Conference on Science and Technology) ซึ่งดำเนินการภายใต้ กิจกรรมสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ (ส่วนภูมิภาค) ประจำปี ๒๕๖๘ เพื่อการสร้างเครือข่ายแลกเปลี่ยนองค์ความรู้จากการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเปิดโอกาสในการฝึกประสบการณ์การทำวิจัยและการนำเสนอผลงานวิจัยของนิสิต นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและอุดมศึกษา รวมถึงคณาจารย์และนักวิจัย โดยได้เปิดรับบทความวิจัยทั้งในรูปแบบฉบับเต็มและบทคัดย่อที่ครอบคลุมทั้งวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศ รวมถึงการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

ในการนี้ คณะได้ดำเนินการจัดงานประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ครั้งที่ ๔ (The 4th NSRU Conference on Science and Technology) ซึ่งดำเนินการภายใต้ กิจกรรมสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ (ส่วนภูมิภาค) ประจำปี ๒๕๖๘ ในวันที่ ๒๗ สิงหาคม ๒๕๖๘ ผ่านระบบออนไลน์ ด้วยโปรแกรม Zoom และ ณ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ (อาคาร ๑๓) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรียบร้อยแล้ว จึงประกาศผลรางวัลบทความวิจัยดีเด่น (Best Paper Award) ดังต่อไปนี้

**กลุ่มที่ ๑ วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป)**

ชื่องานวิจัย การพัฒนากาวชีวภาพปราศจากบอแรกซ์จากแป้งมันสำปะหลังกับกัวร์กัมสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูก

ชื่อผู้วิจัย นายสาธุกานต์ กาบคำ นางสาวปวีณ์ธิดา ปักใคหัง นายพิพัฒน์ เนียมเปรม และนางสาวนพรัตน์ วิริยะกิจพัฒนา

**กลุ่มที่ ๒ คณิตศาสตร์ สถิติ วิทยาการข้อมูล และการสอนคณิตศาสตร์**

-

**กลุ่มที่ ๓ วิทยาศาสตร์สุขภาพ อาหาร และสิ่งแวดล้อม**

ชื่องานวิจัย การปรับปรุงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง

ชื่อผู้วิจัย นางสาววรภาณี แสงประทีป และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศนิ จิระสถิต

/ กลุ่มที่ ๔ ...

**กลุ่มที่ ๔ การสอนวิทยาศาสตร์**

ชื่องานวิจัย การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ความท้าทายเป็นฐานร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

ชื่อผู้วิจัย นางอังคนา จันทรประเสริฐ

**กลุ่มที่ ๕ คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีมัลติมีเดีย**

ชื่องานวิจัย การปรับปรุงกระบวนการลางานของการประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้แนวคิดการจัดการกระบวนการธุรกิจ (BPM)

ชื่อผู้วิจัย นางสาววิยาภรณ์ ปรีชากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พิศาลย์

จึงประกาศให้ทราบโดยทั่วกัน

ประกาศ ณ วันที่ ๔ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๘

(อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## คณะกรรมการฝ่ายจัดทำรายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ (Proceedings)

| | |
|---|---|
| คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี<br>(อาจารย์คณินณัฏฐ์ โชติพรสีมา) | ที่ปรึกษา |
| รองคณบดีฝ่ายวิชาการ<br>(ผศ.ดร.ชยันต์ นันทวงศ์) | ที่ปรึกษา |
| ผศ.ดร.ฤทัยรัตน์ โพธิ | ประธานกรรมการ |
| ผศ.ดร.รักชาติ ประเสริฐพงษ์ | รองประธานกรรมการ |
| อาจารย์กฤษณะ ขุมเพ็ชร | กรรมการ |
| นางทัศนีย์ ทรัพย์ประมวล | กรรมการ |
| นางสาววรพรรณ เวศานนทเวช | กรรมการ |
| นายศิริชัย ทวีผล | กรรมการ |
| นางสาวเจนจิรา เดชพงค์ | กรรมการ |
| นางสาวอัญชลี แสนสง | กรรมการ |
| นางสาววลีรัตน์ ด้วงมหาสอน | กรรมการ |
| นางสาวกานต์ชนก จุนจั่น | กรรมการ |
| นายอาทิตย์ แก้ววงศา | กรรมการและเลขานุการ |

**จัดทำโดย**

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
398 หมู่ 9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
หมายเลขโทรศัพท์: 056-219100 ต่อ 1401 – 1404 โทรสาร: 056-882531
E-Mail: science@nsru.ac.th
https://st.nsru.ac.th

# PROCEEDINGS

## The 4th NSRU Conference on Science and Technology

**คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**
398 หมู่ 9 ถ.สวรรค์วิถี ต.นครสวรรค์ตก อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000
หมายเลขโทรศัพท์: 056-219100 ต่อ 1401 - 1404

https://st.nsru.ac.th

nsruscience