เอกสารประกอบ
การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 23

9-10 พฤษภาคม 2567 โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัดขอนแก่น

ISBN 978-616-94130-6-6

บรรณาธิการ

ธเรศ ศรีสถิตย์ วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ ชาติ เจียมไชยศรี เพ็ญศรี วัจฉละญาณ
อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์ สุมนา ราษฎร์ภักดี กิติโรจน์ หวันตาหลา

This cover has been designed using assets from Freepik.com

คณะกรรมการสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

ผู้ทรงคุณวุฒิกิตติมศักดิ์	ศ.กิตติคุณ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์
ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์	ผศ.พิเศษ ปราณี พันธุมสินชัย ดร. เกษมสันติ์ สุวรรณรัต ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
นายก	ศ.กิตติคุณ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์
อุปนายก	รศ.ดร. วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ รศ.ดร. วราวุธ เสือดี
กรรมการกลาง	รศ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ผศ.ดร. ศรัณย์ เตชะเสน รศ.ดร. ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ คุณธีระพล ติรวศิน
ประธานฝ่ายกิจกรรม	รศ.ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ
ประธานฝ่ายวิชาการ	รศ.ดร. ชาติ เจียมไชยศรี
ประธานฝ่ายการเงิน	ศ.ดร. วิษณุ มีอยู่
เลขาธิการ	ผศ.ดร. เพ็ญศรี วัจฉละญาณ

กองบรรณาธิการ

ศ.กิตติคุณ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
รศ.ดร. วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
รศ.ดร. ชาติ เจียมไชยศรี	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร. เพ็ญศรี วัจฉละญาณ	สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
รศ.ดร. อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. สุมนา ราษฎร์ภักดี	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. กิติโรจน์ หวันตาหลา	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เจ้าภาพร่วมจัด

ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประธานคณะกรรมการจัดงาน

รศ.ดร. อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

รศ.ดร. ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. สุมนา ราษฎร์ภักดี	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. วิษณุ แทนบุญช่วย	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. ปณิธาน จูฑาพร	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. พันวัตต์ พึ่งสาย	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. กิติโรจน์ หวันตาหลา	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร. ทศพร สุวรรณเรือง	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการและต้อนรับ

ดร. ทศพร สุวรรณเรือง	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. อำพล วงศ์ษา	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวสุพิชญา เจนใจวิทย์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวศรีรัตน์ สุวรรณาคม	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาววรุณพร ดวงใจ	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวกัญญาภัค สมปัญญา	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์ ประสานงานและประเมินผล

รศ.ดร. กิติโรจน์ หวันตาหลา	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. สุมนา ราษฎร์ภักดี	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวศรีรัตน์ สุวรรณาคม	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาววรุณพร ดวงใจ	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวกัญญาภัค สมปัญญา	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะกรรมการฝ่ายเลขานุการ

นางสาวศรีรัตน์ สุวรรณาคม	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาววรุณพร ดวงใจ	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวกัญญาภัค สมปัญญา	ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หน่วยงานร่วมจัด

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

กระทรวงพลังงาน

กรมควบคุมมลพิษ

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น

กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สารจากนายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) ได้ดำเนินการจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเป็นประจำทุกปีมาตั้งแต่ พ.ศ. 2545 ซึ่งต่อมาใน พ.ศ. 2555 ได้ดำเนินการจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย และผู้มีประสบการณ์ ผู้สนใจนำเสนอผลงานวิจัย ผลงานประยุกต์ และข้อคิดเห็นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ อันจะเป็นการพัฒนาและเผยแพร่องค์ความรู้ เพื่อนำไปใช้ในการป้องกัน และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศและท้องถิ่นได้ ในปี 2567 นี้ สวสท. ได้รับเกียรติอย่างสูงจากศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รวมทั้งการสนับสนุนอย่างดียิ่งจากหน่วยราชการต่าง ๆ ดังนี้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กระทรวงพลังงาน กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม และ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 23 ควบคู่กับการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติครั้งที่ 13 ด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และการจัดการสิ่งแวดล้อม วันที่ 9-10 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัดขอนแก่น

คณะกรรมการจัดการประชุมได้รวบรวมบทคัดย่อ ซึ่งผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการไว้เป็นรูปเล่ม และบทความวิชาการฉบับเต็มในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้คุณภาพเอกสารดังกล่าว เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยในการประชุมมีการบรรยายพิเศษ การเสนอผลงาน ทั้งแบบบรรยายและโปสเตอร์

ในนามของ สวสท. กระผมขอแสดงความยินดีและขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานวิจัยและผลงานประยุกต์ และหน่วยสนับสนุนอื่น ๆ รวมทั้งบริษัทเอกชนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ศูนย์วิชาการเพื่อขับเคลื่อนการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษอากาศ (ศวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) บริษัท แอล เอช มอลล์ แอนด์ โฮเทล จำกัด คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา บริษัท เทอร์ม เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด บริษัท แอสโซซิเอชั่นออฟทรี จำกัด บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทอล เทคโนโลยี จำกัด (GETCO) บริษัท เอนเนอร์ยี่ คอมเพล็กซ์ จำกัด การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) บริษัท เซลลูโลซิก ไบโอแมส เทคโนโลยี จำกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม เครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น สมาคมการจัดการของเสียอย่างยั่งยืน บริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด (มหาชน) บริษัท เอ็นเทค อินดัสเทรียล โซลูชั่น จำกัด บริษัท อาร์.ซี.เทรดดิ้ง แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี บริษัท เพทโทร-อินสตรูเมนท์ จำกัด บริษัท ดีไว พลัส จำกัด บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และสภาวิศวกร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในทุกรูปแบบ และหวังอย่างยิ่งว่าผลการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์
นายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น

การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งจัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) เป็นเวทีสำคัญให้นักวิชาการและนักวิจัยได้นำเสนอผลงานทางวิชาการและเผยแพร่องค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงยังเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องด้านสิ่งแวดล้อม และหน่วยงานต่าง ๆ ที่ดำเนินการโดยให้ความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม นำเสนอผลการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในประเด็นต่าง ๆ อย่างบูรณาการ ในปีนี้มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้รับเกียรติอย่างสูงจาก สวสท. ที่ให้เกียรติเป็นเจ้าภาพร่วมจัดการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 23 ควบคู่กับการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติ ครั้งที่ 13 ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม ในวันที่ 9-10 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัดขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณหน่วยงานราชการและหน่วยงานสนับสนุนอื่น ๆ ทั้งภาคการศึกษาและภาคเอกชน ซึ่งได้กล่าวรายนามแล้วในสารจากนายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์การจัดงานประชุมวิชาการในครั้งนี้ ตลอดจนคณะกรรมการจัดประชุมทุกฝ่ายที่ได้รวบรวมบทคัดย่อ ซึ่งผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการไว้เป็นรูปเล่ม และบทความวิชาการฉบับเต็มในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์

ในนามของมหาวิทยาลัยขอนแก่น กระผมขอแสดงความยินดีและขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานวิจัย ผลงานประยุกต์ และผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อม และหวังอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

รองศาสตราจารย์ นพ. ชาญชัย พานทองวิริยะกุล
อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทบรรณาธิการ

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (สวสท.) ร่วมกับ ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (มข.) และหน่วยงานร่วมจัดอื่น ๆ ได้แก่ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กระทรวงพลังงาน กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม และสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดให้มีการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 23 และการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนานาชาติครั้งที่ 13 ด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม ระหว่างวันที่ 9-10 พฤษภาคม 2567 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้นักวิชาการ นักวิจัย และผู้มีประสบการณ์ ตลอดจนผู้ที่สนใจ ได้นำเสนอผลงานวิจัย ผลการปฏิบัติงาน ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยน เรียนรู้ และเผยแพร่ความรู้ อันจะนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศได้

เอกสารการประชุมวิชาการประกอบด้วย และบทคัดย่อได้ผ่านการกลั่นกรองจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ซึ่งรวบรวมไว้เป็นรูปเล่ม และบทความฉบับสมบูรณ์ ซึ่งรวบรวมไว้ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นเอกสารประกอบการประชุมวิชาการที่มีคุณภาพตามมาตรฐานทั้งระดับประเทศและระดับสากล สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

ในนามกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณนักวิจัย นักวิชาการ ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการจัดส่งบทคัดย่อและบทความฉบับสมบูรณ์ พร้อมนำผลงานเสนอในการประชุมวิชาการ ตลอดจนผู้ที่สนใจเข้าร่วมการประชุมวิชาการ นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้สละเวลา ให้ความร่วมมือในการพิจารณาบทคัดย่อพร้อมให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อผู้เสนอบทความ ทำให้เอกสารประกอบการประชุมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และทำให้การประชุมวิชาการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กองบรรณาธิการ

ธเรศ ศรีสถิตย์
วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ
ชาติ เจียมไชยศรี
เพ็ญศรี วัจฉละญาณ
อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์
สุมนา ราษฎร์ภักดี
กิติโรจน์ หวันตาหลา

สารบัญ

		หน้า
09R1-01	คุณลักษณะทางฟลูออเรสเซนส์และการเกิดสารพลอยได้ของสารอินทรีย์ละลายน้ำจากน้ำชะถ่านชีวภาพ วรฤทัย เคนสิงห์ และ ปณิธาน จูฑาพร	1
09R1-02	ตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด กรณีศึกษา บ้านโพนสูง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จาริณี จงปลื้มปิติ พลเทพ เวงสูงเนิน รัฐพล สมนา และ เกียรติสุดา สมนา	8
09R1-03	การบ่มมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ชมพูนุท เลิศอานันท์กร และ มนัสกร ราชากรกิจ	13
09R1-04	การพัฒนาชุดกิจกรรมด้านธรณีวิทยา เพื่อส่งเสริมความตระหนักและรู้เท่าทันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกแก่เยาวชนในจังหวัดปทุมธานี อรทัย สุราฤทธิ์ ศิรประภา ศรีสุพรรณ สิรีพัชร จีนสิน และ วิสูจน์ สุพงษ์	19
09R1-05	การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อุไรวรรณ ภูนาพลอย อริยะ คงสถิต กฤติยาพรรณ อินทสันตา หทัยรัตน์ สิงห์โต อาทิตยา คำไพ และ ณัฐพร จิระวัฒนาสมกุล	27
09R1-06	การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควัน ธนาธิป มายูร ปาร์ย อรรถพิสาล และ กิติโรจน์ หวันตาหลา	35
09R1-07	การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากของเสียพลาสติกและผงไม้ ณัฐภัทร หัชชะวณิช พิชญ รัชฎาวงศ์ และ อนินท์ มีมนต์	43
09R1-08	แนวคิดการจัดการของเสียแบบเศรษฐกิจหมุนเวียนโดยใช้หลัก 8R's: กรณีศึกษาในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร ปานวาด ณ ศรีโต และ จีมา ศรลัมพ์	50
09R1-09	ผลของสารลดฟองต่อการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล พุทธพร แสงเทียน ณัฐยา พูนสุวรรณ ไท แสงเทียน ศิริวิมล ถินถาวร และ กาญจนรัตน์ แหวนหล่อ	58
09R2-01	การดูดซับสารไตรโคลคาร์บานด้วยไบโอชาร์ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร วรรณศร สายสุวรรณ ขวัญชนก สอนสุภาพ และ สุมนา ราษฎร์ภักดี	66

09R2-02	การสะสมและที่มาของไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 ไมโครเมตร) ของปลาซาร์ดีนกระป๋องในซอสมะเขือเทศ ฐิติวัฒน์ มาตฤปโยธร ถนอมศักดิ์ บุญภักดี และ สุปราณี แก้วภิรมย์	74
09R2-03	ผลกระทบของของแข็งละลายน้ำและสารอินทรีย์ละลายน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อคคูเลชัน-ตกตะกอน วลิตา ภู่ประเสริฐ พลอยไพลิน ร่มโพธิ์ภักดิ์ และ ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล	82
09R2-04	กระบวนการนำกลับนิกเกิลจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้งานแล้วด้วยวิธีการทางไฟฟ้า อภิชัจ จักหงษ์สุวรรณ เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ ชดชนก อัฑฒพงศ์ นาตยา โมราวรรณ และ อรทัย ครุฑหุ่น	89
09R2-05	การจัดการขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวก่อนสถานการณ์โควิด-19 สินีนาฏ พวงมณี และ สุกัญญา ดังเด่น	96
09R2-06	การกำจัดฝุ่นควัน (PM 2.5) ปล่องโรงงาน ด้วยฟิวเตอร์ร่วมกับสารเคลือบผิว ชัยโรจน์ ประมวลมาศ ชูชีพ ประจิตร และ ณัฐนิช ประมวลมาศ	103
09R2-07	การประเมินฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เพื่อการจัดการคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลอง AERMOD กรณีศึกษา เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์ เจษฎานันท์ เวียงนนท์ และ ภรณ์ดรัลรัตน์ สุชามาลาวงษ์	107
09R2-08	การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะแบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี บุญรักษ์ แวนบอเซอร์ และ ดลเดช ตั้งตระการพงษ์	115
09R2-09	การทำปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าโดยใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ กัลยา กลิ้งกลม และ เทพทัย อุดมจรรยา	121
09R3-01	การกำจัดไตรโคลคาร์บานในน้ำด้วยกระบวนการ VUV ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี และ พัชรธิดา ภาพพา	126
09R3-03	การสร้างและคะตะไลติกแอกทิวิตี้ของเหล็กออกไซด์แบบนิวเคลียสเอกพันธ์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ศิวพล แก้วนาเคียน จินต์ อโณทัย และ นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ	132
09R3-04	การกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนควบคู่กับการผลิตโพลีไฮดรอกซี-แอลคาโนเอตด้วยจุลินทรีย์เชื้อผสมร่วมกับการเติม *Thauera mechernichensis* (TL1) นวภัทร ช่อทอง และ เบญจพร สุวรรณศิลป์	140
09R3-05	การออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน ณัษฐพงษ์ ธนวัฒชัยมงคล อภิกฤษฎิ์ ตันสุดเจริญยิ่ง อังศุธร งามประสิทธิ์ สุวัฒน์ชัย ประพาศ และ ศุภชัย ทิพย์ยอและ	147

09R3-06	การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่มีต่อ “คุณภาพน้ำผิวดิน” มยุรี พิมพ์งาม และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ	155
09R3-07	การประยุกต์ระบบนิวโร-ฟัซซีแบบปรับตัวได้เพื่อพัฒนาแบบจำลองความดันตก ในระบบท่อประปาเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองสีเขียว ไพจิตร ผาวัน และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์	161
09R3-08	การหาความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดขนาดที่ดินประเภทอนุรักษ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องการวางผังเมืองรวมเมือง/ชุมชน ชิษณุ อัมพรายน์ และ สุรพันธ์ สันติยานนท์	168
09R3-09	การบริหารจัดการน้ำเสียหน่วยไตเทียมในโรงพยาบาล ภูดิศ พัฒนสัตยวงศ์ และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ	175
10R1-01	ผลกระทบของฝนต่อการกระจายและการอุบัติของขยะพลาสติกในคลองระบายน้ำชุมชน โดยการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก สมชาย อัศวสงคราม ชนาธิป สมบัติทอง ณัฐนนท์ ตุลยานันต์ ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์ และ เจนยุกต์ โล่ห์วัชรินทร์	180
10R1-02	วัสดุ SiO_2 – CaO จากกากของเสียเพื่อการดูดซับอาร์เซนิก ชัญญานุช เรืองโอชา และ รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย	188
10R1-03	การพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดจากกากกาแฟและใบจามจุรี พิชญ รัชฎาวงศ์ และ จิตรภาณุ อัศวพิชญโชติ	196
10R1-04	การทำนายเสียงรบกวนที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้างคันป้องกันน้ำท่วม สมลาภ บุญทศ ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช เสรีย์ ตู้ประกาย และ ชลอ จารุสุทธิรักษ์	203
10R1-05	ความสอดคล้องของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรปกับกฎเกณฑ์องค์การการค้าโลก กรณีศึกษา: ผลกระทบต่อภาคธุรกิจของไทย ชีมณัฐญ์ ครุฑคง และ อัจฉริยา วงษ์บูรณาวาทย์	209
10R1-06	ระบบการควบคุมและจัดการสินค้าคงคลังเพื่อลดต้นทุนสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา: คลังยาและเวชภัณฑ์โรงพยาบาลวชิรพยาบาล อดิสร วงศ์วรเสถียร และ ชัชพล มงคลิก	217
10R1-07	การศึกษาแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบาผสมหินฝุ่น ประชุม คำพุฒ อรรถพล มาลัย และ กฤษฎา มานะโส	224
10R1-08	การศึกษาการใช้น้ำยางพาราพัฒนาแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ อมเรศ บกสุวรรณ ประชุม คำพุฒ อรรถพล มาลัย และ ปทุมพร พวงเพ็ชร	230

10R1-09	การศึกษาผลิตภัณฑ์อิฐปูพื้นผสมขยะเศษแก้วและขยะพลาสติก ประชุม คำพุฒ	237
10R1-10	ความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากการผลิต หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ กิตติพงษ์ สุวีโร และ ประชุม คำพุฒ	243
10R1-11	รูปแบบการกระจายตัวและความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู ธีระ ประไพศรี มนต์ธัช มะกล่ำทอง และ เกริดา โคตรชารี	248
10R2-01	การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากงานอิเวนต์ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิสุทธิ์ เพียรมนกุล พีรวิชญ์ ฐาปนวงศ์เวช คริส เปราธ์มินทร์ บาวเวนส์ ปฏิพล ศักดิ์ธนวัฒน์ และคณะ	253
10R2-02	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปาแบบต่างๆ ของการประปาส่วนภูมิภาค ชัยยงค์ ปึงธนาพิทักษ์ และ ชาติ เจียมไชยศรี	259
10R2-03	การประเมินคุณภาพน้ำ บริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออก จังหวัดปทุมธานี สู่โปรแกรมการจัดการเรียนรู้ โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน สิรีพัชร จีนสิน ศิรประภา ศรีสุพรรณ อรทัย สุราฤทธิ์ วิสูจน์ สุพงษ์ และ ปพิชญา เตียวกุล	266
10R2-04	การออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิด ณัฐพันธ์ ทวีกสิกรรม เพ็ญพิชา สท้านวัตร สรวิศ เผ่าทองศุข และ วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี	273
10R2-05	ระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นระดับห้องปฏิบัติการสำหรับอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็ก สุนันท์ ดาวกระจาย นาตยา โมราวรรณ และ ชดชนก อัฑฒพงศ์	281
10R2-06	การนำขยะประเภทขวดและถุงพลาสติกนำไปจัดการเพื่อนำไปใช้วัสดุในคอนกรีตบล็อกเชิงตัน นรารัชต์พร นวลสวรรค์ สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ และ ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์	287
10R2-07	การใช้ผงเหล็กจากกระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณเพื่อนำไปผลิตคอนกรีตบล็อก ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์ ดนยภรณ์ พรรณสวัสดิ์ และ นรารัชต์พร นวลสวรรค์	292
10R2-08	การนำถุงมือและเศษผ้ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ กรณีศึกษา บริษัท ไดกิ้น คอมเพรสเซอร์ อินดัสทรีส์ จำกัด พีรพร พิมพ์งาม สมภพ สนองราษฎร์ วิภาดา เดชะปัญญา เทียมมะณีย์ รัตนวีระพันธ์ สุพัฒน์พงษ์ มัตราช และ กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา	298
10R2-09	การประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำขนาดเล็ก ณัดกิจ ชารีรัตน์ บุศราพร เลิศศรี และ อริสรา ยามสุข	306

10R2-10	การประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมของร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลระดับชุมชน กุลวรรณ โสรัจจ์ อนุวัฒน์ ยินดีสุข และ ธีรวรรณ บุญโทแสง	312
10R2-11	การกำจัดโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนในคอนเดนเสทด้วยวัสดุ SiO2-CaO จากกากของเสียอุตสาหกรรม วรกันต์ คุ้มบัณฑิตย และ รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย	319
10R2-12	การจำแนกวัสดุภายในห้องพักอพาร์ทเมนต์ ทับทิม ชาติสุวรรณ์ และ มณีรัตน์ องค์วรรณดี	325
10R2-13	การศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ศตวรรษ ทนารัตน์ อังคนิษา นันทานี ธนภัทร จันทร์ฟอง สรชัช อินถานะ และ โสมนัส สมประเสริฐ	330
09P-01	การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง อนิรุจน์ มะโนธรรม ศิริมา เอมวงษ์ ธนวรกฤต โอฬารธนพร และ มัตติกา บุญมา	335
09P-02	การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่ วันชัย บุญอำไพ และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ	340
09P-03	การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ศศิชา ธัชโอภาส และ วิไล เจียมไชยศรี	347

09R1-01

คุณลักษณะทางฟลูออเรสเซนส์และการเกิดสารพลอยได้ของสารอินทรีย์ละลายน้ำจากน้ำชะถ่านชีวภาพ

Fluorescence Characteristics and Disinfection By-Products Formation of Organic Matter from Biochar Leachate

วรฤทัย เคนสิงห์[1] และ ปณิธาน จูฑาพร[2*]
Worareuthai Khensing[1] and Panitan Jutaporn[2*]
[1]นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
[2*]รองศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์: 062 167 8688, E-mail: panitju@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและรูพรุนสูง ส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ แต่ข้อจำกัดของถ่านชีวภาพเมื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ คือ การชะละลายของสารอินทรีย์ออกจากถ่านชีวภาพ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสารอินทรีย์ในน้ำชะถ่านชีวภาพที่ผลิตจากของเหลือทางการเกษตร 2 ชนิด ได้แก่ ถ่านชีวภาพดั้งเดิม (BCRaw) และถ่านชีวภาพเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 800°C (BC800) จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่าน พบว่าถ่าน BCRaw และ BC800 มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 90.37 และ 349.3 m^2/g ตามลำดับ และมีปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.047 และ 0.176 cm^3/g ตามลำดับ ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำชะถ่านชีวภาพ พบว่าน้ำชะถ่าน BCRaw และ BC800 มีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกชะออกมาทั้งหมด เท่ากับ 595 และ 19.5 mg-C/kg ตามลำดับ เมื่อนำน้ำชะถ่านชีวภาพไปวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนต์แบบ 3D พบว่าสารอินทรียที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำชะ BCRaw ได้แก่ สารอินทรีย์กลุ่มฮิวมิคและกลุ่มฟูลวิค สำหรับน้ำชะ BC800 มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ในกลุ่มโปรตีนทริปโตฟาน เมื่อนำน้ำชะ BCRaw และ BC800 มาทำการเติมคลอรีน พบว่าเกิด THM4 ที่ความเข้มข้น 657.6 และ 108.5 µg/L ตามลำดับ ดังนั้นการนำถ่านชีวภาพมาเผาแบบอับอากาศซ้ำสามารถเพิ่มพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และสามารถลดการชะละลายสารอินทรีย์ออกจากถ่านชีวภาพ ทำให้ได้วัสดุดูดซับที่มีความสะอาดมากขึ้น มีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดมลสารต่างๆ ออกจากน้ำได้

คำสำคัญ : ถ่านชีวภาพ; สารอินทรีย์; ฟลูออเรสเซนต์; สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค; ไตรฮาโลมีเทน

Abstract

Biochar is a carbon-rich material with high porosity, thus it can be used as an absorbent to remove pollutants from water. However, its limitation when used for water quality improvement is the release of organic matter from biochar. This study aims to examine two types of biochar made from agricultural waste: raw biochar (BCRaw) and biochar with post-pyrolysis at 800°C (BC800). From the characterization of biochar, BCRaw and BC800 have specific surface areas of 90.37 and 349.3 m^2/g, and pore volumes of 0.047 and 0.176 cm^3/g respectively. Moreover, the dissolved organic carbon (DOC) content in BCRaw and BC800 solutions is 595 and 19.5 mg-C/kg respectively. The 3D fluorescence excitation-emission matrix analysis revealed that BCRaw leachate comprises primarily humic and fulvic acid, while BC800 leachate primarily contains

substances in tryptophan protein group. When chlorination was applied to leachates of BCRaw and BC800, THM4 formation occurred with concentrations of 657.6 and 108.5 µg/L respectively. Thus, the post-pyrolysis increased surface area, pore volume, and effectively reduced the release of organic matter from biochar. After post-pyrolysis, BC800 has the potential to be used as an adsorbent in water treatment.

Keywords : biochar; organic matter; fluorescence; disinfection by-product; trihalomethanes

บทนำ

ถ่านชีวภาพ คือ ถ่านที่ผลิตจากวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนสูง ซึ่งผลิตจากชีวมวลหรือสารอินทรีย์ เช่น ของเสียทางการเกษตรและกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย มาผ่านกระบวนการเผาแบบอับอากาศ (Pyrolysis) ก่อให้เกิดถ่านที่มีความพรุนสูง [1] ถ่านชีวภาพสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ปรับปรุงและฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนได้ ถ่านชีวภาพมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและมีพื้นผิวภายในสูง จึงมีความสามารถในการดูดซับสารมลพิษได้ดี ถ่านชีวภาพยังสามารถใช้ดูดซับมลสารและโลหะหนักออกจากน้ำได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้นมีข้อจำกัดคือ การชะล้างสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter, DOM) ออกจากถ่านชีวภาพ [2]

ถึงแม้ว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ จะไม่มีความเป็นพิษต่อร่างการมนุษย์ แต่สารอินทรีย์ละลายน้ำก่อให้เกิด สี กลิ่น รส ที่ไม่พึงประสงค์ และยังสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ก่อให้เกิดเป็นสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by-products, DBPs) เช่น สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) ถือเป็นสารก่อมะเร็ง ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสืบพันธุ์และการทำงานของอวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต ของ มนุษย์ และได้ถูกกำหนดไว้ในค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของประเทศไทย [3]

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ถ่านชีวภาพจากของเหลือทางการเกษตร วิเคราะห์พื้นที่ผิวและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ จากนั้นทำการประเมินการชะล้างสารอินทรีย์ละลายน้ำออกจากถ่านชีวภาพที่เวลาต่างๆโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การเรืองแสงของสารอินทรีย์แบบแผนภาพ 3 มิติ (3D Fluorescence excitation-emission matrix, EEM) รวมไปถึงศึกษาการเกิดสารพลอยได้กลุ่ม THMs เมื่อสารอินทรีย์จากถ่านชีวภาพทำปฏิกิริยากับคลอรีน เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ในการประยุกต์ใช้งานถ่านชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยครอบคลุมถึงขั้นตอนการเตรียมถ่านชีวภาพจากของเหลือทางการเกษตรจากกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ ซึ่งใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ เรียกว่าถ่านชีวภาพแบบดั้งเดิม (BCRaw) จากนั้นนำเข้าเตาเผาภายใต้สภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [1] ถ่านที่ผ่านการเผาซ้ำนี้เรียกว่า BC800

ถ่านชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน ด้วยเทคนิค Brunauer, Emmett and Teller (BET) การชะล้างสารอินทรีย์ของถ่านชีวภาพ ใช้ถ่านปริมาณ 15 g ในน้ำกลั่น 250 mL ที่ pH 7 จากนั้นนำเข้าเครื่องกวนผสม (shaker) ที่ความเร็วรอบ 75 rpm ทำการเก็บตัวอย่างและเปลี่ยนน้ำสกัดที่เวลา 1, 12, 24, 48, และ 72 ชั่วโมง

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่ชะล้างออกจากถ่านชีวภาพ ทำโดยการวิเคราะห์ Dissolved organic carbon (DOC), UV-Vis Absorbance, Specific ultraviolet absorbance (SUVA), และ Fluorescence EEM โดยใช้เครื่อง Spectrofluorometer (FS5, Edinburgh Instruments) [3] การเติมคลอรีนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ทำตามวิธี Uniform formation potential (UFC) การสกัด THMs และวิเคราะห์ ทำตามวิธีของ U.S. EPA method 551.1

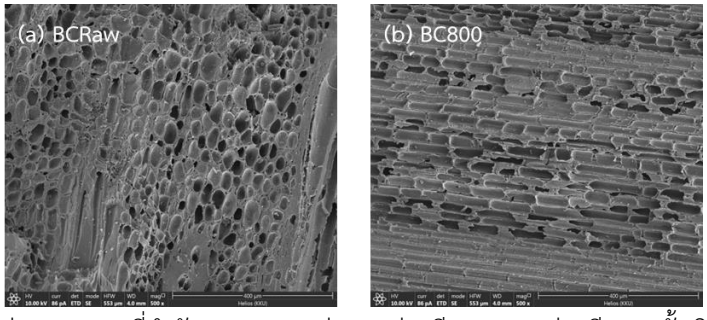
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านชีวภาพ

1.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope)

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวถ่านชีวภาพดั้งเดิม (BCRaw) ถ่านชีวภาพเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 800 °C (BC800) โดยใช้กำลังขยาย 500 เท่า พบว่า ถ่าน BCRaw (รูปที่ 1a) มีลักษณะรูพรุนที่ขรุขระ รูพรุนมีลักษณะตื้น และการจัดเรียง

ไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากกระบวนการเผาถ่านในการผลิตน้ำส้มควันไม้ ใช้ไม้ไผ่ขนาดท่อนใหญ่เป็นวัตถุดิบ ส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สในกระบวนการอบอากาศภายในเตาเผานั้นไม่ดีเพียงพอ [4] ต่างจากถ่าน BC800 (รูปที่ 1b) ที่มีลักษณะรูพรุนที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีจำนวนรูพรุนต่อพื้นที่ผิวสูง ขนาดรูพรุนที่หลากหลาย และรูพรุนมีลักษณะลึกกว่า ซึ่งส่งผลให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า การเตรียมถ่านชีวภาพที่บดเป็นขนาดเล็กแล้วมาเผาซ้ำที่อุณหภูมิสูงนั้น รูพรุนขนาดตื้นจะถูกเปิดออก ทำให้การระเหยของน้ำมันทาร์และสารประกอบต่างๆ ภายในรูพรุนถ่านเกิดขึ้นได้ดีกว่า ทำให้วัสดุดูดซับมีพื้นที่ผิวมากขึ้น [5]

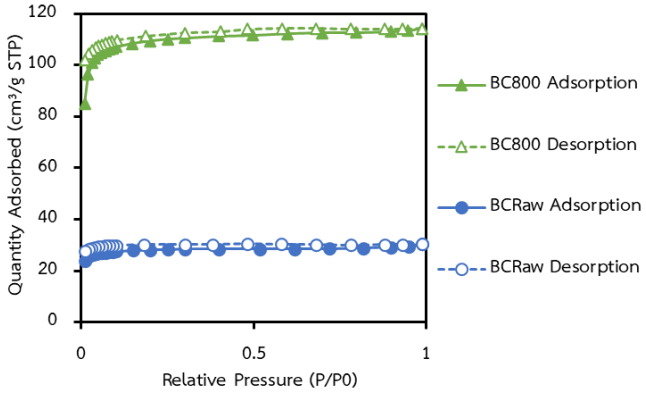


รูปที่ 1 ภาพถ่าย FESEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของถ่านชีวภาพ (a) ถ่านชีวภาพดั้งเดิม (BCRaw) และ (b) ถ่านชีวภาพเผาซ้ำที่อุณหภูมิ 800 $^{\circ}$C (BC800)

1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุดูดซับโดยใช้เทคนิค BET (Brunauer, Emmett and Teller)

ถ่านชนิด BCRaw มีพื้นที่ผิว เท่ากับ 90.37 m^2/g และปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.047 cm^3/g ในขณะที่ถ่านชนิด BC800 มีพื้นที่ผิว เท่ากับ 349.3 m^2/g และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.176 cm^3/g ผลการทดสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนบ่งชี้ว่า เมื่อนำถ่าน BCRaw มาเผาซ้ำโดยควบคุมอุณหภูมิภายใต้สภาวะอับอากาศ ถ่านชีวภาพ BC800 ที่ได้นั้น มีความพรุนมากขึ้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวถ่านในรูปที่ 1

โครงสร้างของรูพรุนของถ่านชีวภาพ สามารถศึกษาได้จากการวิเคราะห์เส้นแสกนไอโซเทอมการดูดซับ-คายซับ (adsorption–desorption isotherm) แก๊สไนโตรเจนด้วยวิธี BET (รูปที่ 2) พบว่าการดูดซับ-คายซับของถ่านชีวภาพทั้งสองชนิดมีลักษณะเป็นการดูดซับประเภทที่ 2 (Type II) ซึ่งบ่งชี้ถึงการดูดซับที่มีปฏิกิริยารุนแรงภายในรูพรุนของวัสดุดูดซับที่มีรูพรุนขนาดต่างๆ กัน การดูดซับในลักษณะนี้ อาจเกิดในลักษณะการดูดซับที่พื้นผิวชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ ปรากฏการณ์การเกิดวงแหวนฮิสเทอรีซีส (hysteresis loop) เกิดขึ้นในเส้นแสกนการดูดซับ-คายซับของถ่านทั้งสองชนิดบ่งชี้ว่า วัสดุดูดซับมีรูพรุนขนาดกลาง และการคายซับเกิดขึ้นช้ากว่าการดูดซับเนื่องจากเป็นการดูดซับทางเคมีและเกิดการควบแน่นของแก๊สไนโตรเจนในรูพรุนของถ่านชีวภาพ



รูปที่ 2 แผนภาพไอโซเทอมการดูดซับ-คายซับแก๊สไนโตรเจนของถ่าน BCRaw และถ่าน BC800

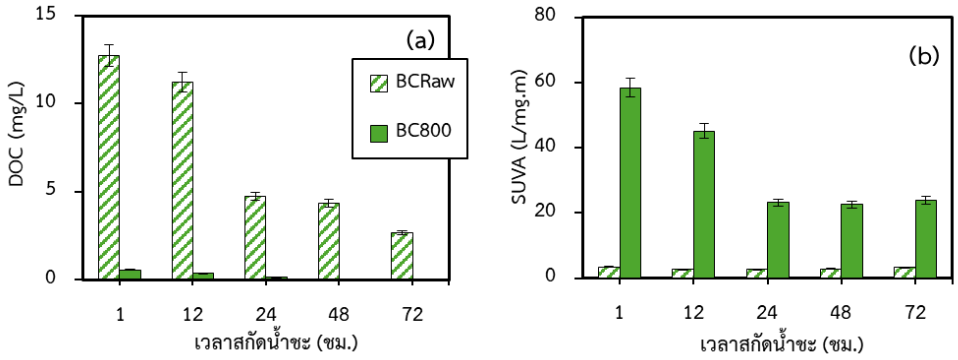
2. การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำชะถ่านชีวภาพ

2.1 การวิเคราะห์การชะล้างของสารอินทรีย์ในรูปคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าการดูดซับแสงจำเพาะ (SUVA) จากถ่านน้ำชะชีวภาพ

การศึกษาการชะล้างของสารอินทรีย์ในรูปคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) และค่าการดูดซับแสงจำเพาะ (SUVA) จากถ่านชีวภาพทั้งสองชนิด เมื่อทำการชะล้างถ่าน 15 g ด้วยน้ำกลั่น 250 mL ที่อัตราเร็ว 150 rpm เป็นเวลา 1, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง แสดงไว้ดังรูปที่ 3 ค่า SUVA คำนวนจากอัตราส่วนของค่าการดูดซับแสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm ต่อค่า DOC ของตัวอย่างสารอินทรีย์นั้น และค่า SUVA เป็นดัชนีบ่งชี้ความเป็นอะโรมาติกของสารอินทรีย์ [6]

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเกิดการชะล้าง DOC ออกจากถ่าน BCRaw ในช่วง 2.66-12.73 mg-C/L ตลอดช่วงระยะเวลา 1-72 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกมาจากถ่าน BCRaw ทั้งหมดเท่ากับ 595 mg-C/kg สำหรับถ่านชนิด BC800 เกิดการชะล้างของสารอินทรีย์ออกจากถ่านต่ำกว่า BCRaw เป็นอย่างมาก กล่าวคือ ค่า DOC ของน้ำชะล้างถ่าน ทั้ง 5 ครั้ง ค่าในช่วงความเข้มข้น 0.03-0.56 mg-C/L คิดเป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกมาจากถ่าน BC800 ทั้งหมดเท่ากับ 19.5 mg-C/kg ดังนั้น การผลิตถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่โดยการเผาซ้ำในเตาเผาของห้องปฏิบัติการ โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิและสภาวะอับอากาศอย่างเหมาะสม สามารถเปิดรูพรุนในโครงสร้างไม้ไผ่เพิ่มขึ้น ทำให้สารอินทรีย์ในโครงสร้างของรูพรุนระเหยออกไป ส่งผลให้ปริมาณการชะล้างสารอินทรีย์ของถ่าน BC800 เกิดขึ้นน้อย และได้วัสดุดูดซับที่สะอาดมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า SUVA ของตัวอย่างน้ำชะจากถ่านทั้ง 2 ชนิด พบว่า ค่า SUVA ในน้ำชะถ่าน BC800 มีค่าสูงกว่าในน้ำชะถ่าน BCRaw มาก สำหรับถ่านทั้งสองชนิด ค่า SUVA ในน้ำชะจากการสกัดชุดแรกที่เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3.42 และ 58.4 L/mg.m สำหรับน้ำชะถ่าน BCRaw และ BC800 ตามลำดับ จากนั้นค่า SUVA ของน้ำชะมีแนวโน้มลดลงจนเข้าสู่ช่วงคงที่หลังจากการสกัดโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมงเป็นต้นไป ในการเก็บตัวอย่างน้ำชะถ่านทั้ง 5 ครั้ง ค่า SUVA ของน้ำชะถ่าน BCRaw มีค่าอยู่ในช่วง 2.73-3.41 L/mg.m ซึ่งใกล้เคียงกับค่า SUVA ของน้ำผิวดินทั่วไป [7] ผลของค่า SUVA บ่งชี้ว่าสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกมาจาก BC800 มีความเป็นอะโรมาติกสูงกว่าสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกมาจาก BCRaw มาก

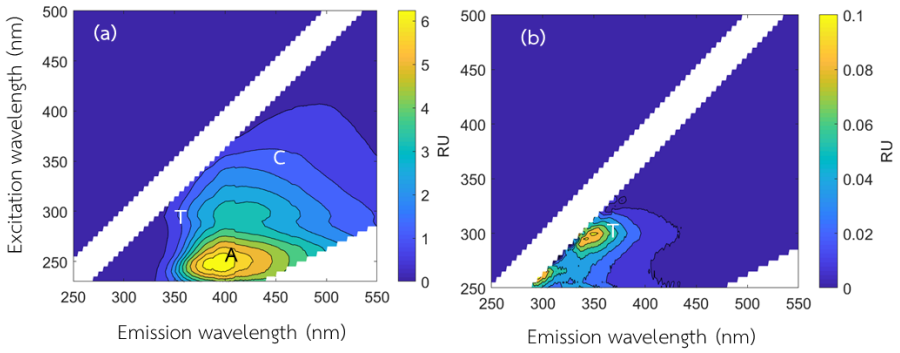


รูปที่ 3 (a) ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำที่ถูกชะออกจากถ่านชีวภาพ และ (b) ค่า SUVA ของน้ำชะจากถ่าน BCRaw และ BC800 ในช่วงเวลาสกัดน้ำชะ 1-72 ชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะสารอินทรีย์จากน้ำชะถ่านชีวภาพด้วยเทคนิค fluorescent EEM spectroscopy

การวิเคราะห์คุณลักษณะสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค fluorescent EEM spectroscopy ในตัวอย่างน้ำชะจากถ่าน BCRaw และ BC800 เพื่อจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ที่เรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorophore) และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำชะ ทำโดยใช้เทคนิคการเลือกจุดสูงสุด (peak picking) ระบุตำแหน่ง excitation/emission (ex/em) ของสารอินทรีย์แต่ละชนิด จากแผนภาพเส้นชั้นความสูง (fluorescent EEM contour) ในตัวอย่างน้ำชะจากถ่านทั้งสองชนิดนี้ สามารถจำแนกสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกจากถ่านชีวภาพได้เป็น 3 กลุ่ม ด้วยกัน ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกรดฟูลวิค ex 250 nm/ em 400 nm (fulvic-like, peak A) สารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกรดฮิวมิค ex 350 nm/ em 450 nm (humic-like, peak C) และสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมือนโปรตีนทริปโตฟาน ex 275 nm/ em 340 nm (tryptophan-like, peak T) จากรูปที่ 4a และ 4b จะเห็นได้ว่า ในน้ำชะของถ่านชนิด BCRaw มีปริมาณสารอินทรีย์กลุ่มฟูลวิคและฮิวมิค สูงกว่าน้ำชะถ่าน BC800 มาก โดยเฉพาะสารอินทรีย์กลุ่มฮิวมิคและฟูลวิค ในขณะที่น้ำชะจากถ่าน BC800 มีองค์ประกอบเป็น

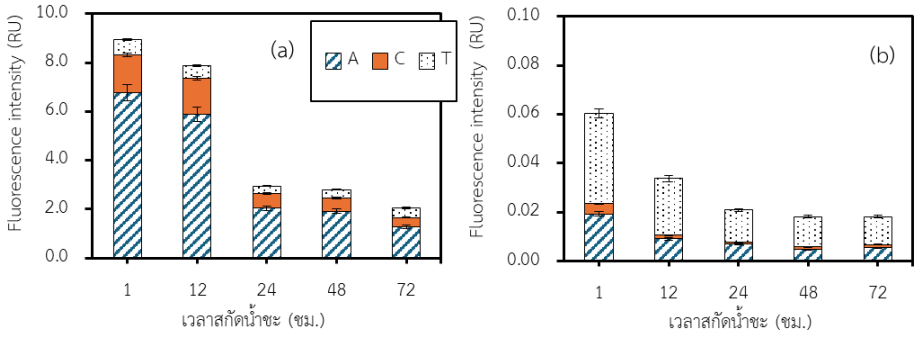
สารอินทรีย์ชนิดโปรตีนทริปโตฟานเป็นหลัก ดังนั้นการเผาซ้ำที่อุณภูมิ 800 °C ในสภาวะอับอากาศ ทำให้สารอินทรีย์กลุ่มฮิวมิคและฟูลวิคสลายตัวเมื่อเกิดการเปิดรูพรุนบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ



รูปที่ 4 แผนภาพ 3D EEM แสดงคุณลักษณะการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ถูกชะออกจากถ่าน (a) BCRaw และ (b) BC800 เมื่อใช้เวลาสกัดน้ำชะ 1 ชั่วโมง

สำหรับการเปรียบเทียบเชิงปริมาณของสารอินทรีย์ที่เรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ในน้ำชะ ใช้การรายงานค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์ในหน่วย Raman Unit (RU) และรายงานค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 5 สารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BCRaw มีค่าการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์สูงกว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BC800 มาก ที่เวลาสกัดน้ำชะ 1 ชั่วโมง ผลรวมค่าความเข้มแสงของสารอินทรีย์ทุกชนิดในน้ำชะถ่าน BCraw และ BC800 เท่ากับ 8.92 RU และ 0.06 RU ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของ DOC ในรูปที่ 3a ที่ค่า DOC ของน้ำชะถ่าน BCRaw มีค่ามากกว่าในน้ำชะถ่าน BC800

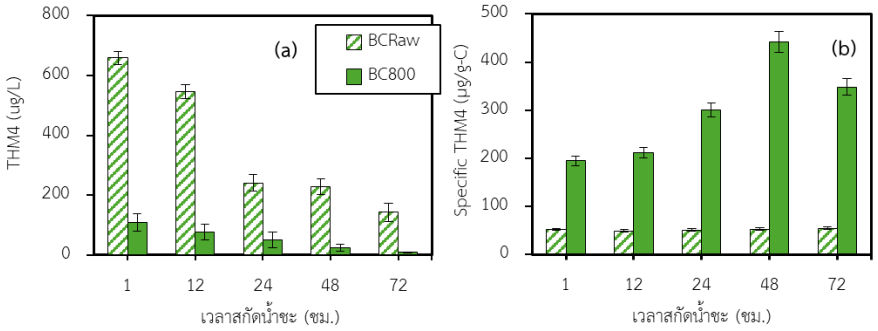
การวิเคราะห์คุณลักษณะของสารอินทรีย์เรืองแสงฟลูออเรสเซนต์สามารถทำให้ระบุได้ว่า สารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BCRaw ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์กลุ่มฮิวมิค (peak A และ C) เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่สารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BC800 ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์กลุ่มโปรตีน (peak T) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบสารอินทรีย์ในรูปของส่วนที่เป็นสารกลุ่มฮิวมิคในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดจากค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์ ณ จุด A และ C ต่อผลรวมค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนต์ของสารอินทรีย์ทุกกลุ่ม พบว่า น้ำชะถ่าน BCRaw มีองค์ประกอบฮิวมิคสูงถึง 93.0% ในชั่วโมงแรกของการสกัด จากนั้นค่าองค์ประกอบฮิวมิคลดลงเมื่อเวลาสกัดนานขึ้น ในการสกัดครั้งสุดท้ายที่เวลา 72 ชั่วโมง น้ำชะถ่าน BCRaw มีองค์ประกอบฮิวมิคอยู่ที่ 80.6% คุณลักษณะของสารอินทรีย์ที่ได้จากน้ำชะถ่าน BCRaw ที่ทำจากไม้ไผ่นี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกับสารอินทรีย์ที่ถูกชะออกจากถ่านชีวภาพที่ผลิตจากฟางข้าวสาลี (wheat straw) ที่อุณภูมิไพโรไลซิสต่ำ [8] สำหรับน้ำชะถ่าน BC800 นั้น มีองค์ประกอบฮิวมิคอยู่ในช่วง 31.9-38.9% ตลอดการสกัดน้ำชะทั้ง 5 ครั้ง



รูปที่ 5 ค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซนส์ ที่ตำแหน่ง peak A, C, และ T ในตัวอย่างน้ำชะจากถ่าน (a) BCRaw และ (b) BC800 เมื่อใช้เวลาสกัดน้ำชะ 1-72 ชั่วโมง

เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำชะจากถ่านทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากับคลอรีน โดยให้ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่งโมง ที่อุณภูมิ 20 °C ในสภาวะไม่มีอากาศ และมีคลอรีนคงเหลือ 1.0±0.4 mg/L ส่งผลให้เกิดสารกลุ่ม THM4 ดังแสดงในรูปที่ 6a จากผลการทดลองพบว่า น้ำชะถ่านทั้งสองชนิด ที่เก็บตัวอย่างชุดแรก ณ เวลาสกัด 1 ชั่วโมง ก่อให้เกิดสารกลุ่ม THM4 สูงที่สุด คือ สารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีน และก่อให้เกิด THM4 ที่ความเข้มข้น 657.6 µg/L และ 108.5 µg/L สำหรับ BCRaw และ BC800 ตามลำดับ จากนั้น ความเข้มข้นของ THM4 ลดลง ในน้ำชะที่เก็บตัวอย่างโดยใช้เวลาสกัดนานขึ้น น้ำชะถ่าน BCRaw ที่มีค่าความเข้มข้นของ DOC สูง และยังประกอบไปด้วยสารอินทรีย์กลุ่มฮิวมิคสูงนั้น ก่อให้เกิดสารกลุ่ม THM4 สูงกว่าน้ำชะถ่าน BC800 มาก

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า Specific THM4 ซึ่งสามารถคำนวนได้จาก อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารกลุ่ม THM4 ที่เกิดขึ้น ต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำชะ ซึ่งค่า Specific THM4 นี้ บ่งบอกความสามารถในการทำปฏิกิริยา (reactivity) กับคลอรีน กล่าวคือ บ่งบอกว่า 1 มิลลิกรัมคาร์บอนที่มีในน้ำชะ สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนและเกิดเป็นสารพลอยได้กลุ่ม THM4 ได้กี่ไมโครกรัม จากผลค่า Specific THM4 ในรูปที่ 6b พบว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BC800 มีค่า Specific THM4 สูงกว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BCRaw ตลอดระยะเวลาการสกัดตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ค่า Specific THM4 นี้ สอดคล้องกับค่า SUVA ของน้ำชะถ่าน BC800 มีค่าสูงกว่าค่า SUVA ของน้ำชะถ่าน BCRaw ในรูป 3b จึงสามารถตีความได้ว่า สารอินทรีย์กลุ่มโปรตีนที่ตรวจพบในน้ำชะถ่าน BC800 ถูกออกซิไดส์โดยคลอรีนได้ง่าย มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคลอรีนสูง และกลไกปฏิกิริยาแทนที่ (substation) หรือเติมคลอรีน (addition) เข้าไปในโมเลกุลของสารอินทรีย์กลุ่มโปรตีนนี้ ส่งผลให้เกิดสารกลุ่ม THM4 ขึ้นในปริมาณมาก [9]



รูปที่ 6 ความเข้มข้นของสารกลุ่ม THM4 ที่เกิดขึ้นเมื่อเติมคลอรีนลงในน้ำชะจากถ่าน (a) BCRaw และ (b) BC800 โดยให้เวลาทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง และมีคลอรีนคงเหลือ 1.0±0.4 mg/L

สรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การนำถ่านชีวภาพดั้งเดิมมาเผาแบบอับอากาศซ้ำที่อุณหภูมิ 800°C สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวรูพรุนและลดการชะละลายสารอินทรีย์ออกจากถ่านชีวภาพ โดยเฉพาะสารอินทรีย์ในกลุ่มฮิวมิค และกลุ่มฟูลวิค แต่ยังไม่สามารถลดการชะของสารอินทรีย์ในกลุ่มโปรตีนทริปโตฟาน และเมื่อนำน้ำชะถ่านชีวภาพทั้งสองชนิดมาทำการเติมคลอรีน พบว่าคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำชะ BCRaw เกิดเป็นสารพลอยได้กลุ่ม THM4 ที่ความเข้มข้นสูงกว่า ในน้ำชะ ถ่าน BC800 มาก อย่างไรก็ตาม น้ำชะถ่าน BC800 มีค่าความเป็นอะโรมาติกสูงกว่าน้ำชะถ่าน BCRaw สารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BC800 จึงมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคลอรีนสูงกว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะถ่าน BCRaw ดังนั้นกระบวนการเผาอับอากาศซ้ำสามารถลดการชะละลายสารอินทรีย์บางชนิดที่อยู่ในถ่านชีวภาพ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารพลอยได้จากการฆ่าชื้อโรคโดยใช้คลอรีน และทำให้สามารถผลิตถ่านชีวภาพที่มีความสะอาดมากยิ่งขึ้น ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำถ่าน BC800 มาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการกำจัดมลสารออกจากน้ำโดยไม่ปลดปล่อยสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากทุนสนับสนุนจากทุนสนับสนุนมูลฐาน Fundamental Fund: FF กองทุนส่งเสริม ววน. (NSRF) ในโครงการเทคโนโลยียกระดับและการใช้วัสดุชีวภาพหมุนเวียนเพื่อการปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Wang, J. and Wang, S. 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. Journal of Cleaner Production, 227, 1002–1022.

[2] Youngwilai, A., Phungsai, P., Supanchaiyamat, N., Hunt, A. J., Ngernyen, Y., Ratpukdi, T., Khan, E. and Siripattanakul-Ratpukdi, S. 2022. Characterization of dissolved organic carbon and disinfection by-products in biochar filter leachate using orbitrap mass spectrometry. Journal of Hazardous Materials, 424(PC), 127691.

[3] Ranthom, N., Khongnakorn, W. and Jutaporn, P. 2023. MIEX Resin and Enhanced Coagulation Treatment of High-Bromide Natural Water: Chlorine Reactivity and DBP Precursors Removal. Journal of Environmental Chemical Engineering, 111497.

[4] Jenjaiwit, S., Supanchaiyamat, N., Hunt, A. J., Ngernyen, Y., Ratpukdi, T. and Siripattanakul-Ratpukdi, S. 2021. Removal of triclocarban from treated wastewater using cell-immobilized biochar as a sustainable water treatment technology. Journal of Cleaner Production, 320, 128919.

[5] Chen, B., Zhou, D. and Zhu, L. 2008. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. Environmental Science & Technology, 42(14), 5137–5143.

[6] Weishaar, J. L., Aiken, G. R., Bergamaschi, B. A., Fram, M. S., Fujii, R. and Mopper, K. 2003. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. Environmental Science & Technology, 37(20), 4702–4708.

[7] Tongchang, P., Kumsuvan, J., Phatthalung, W. N., Suksaroj, C., Wongrueng, A. and Musikavong, C. 2018. Reduction by enhanced coagulation of dissolved organic nitrogen as a precursor of N-nitrosodimethylamine. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 53(6), 583–593.

[8] Gao, J., Shi, Z., Wu, H., & Lv, J. 2020. Fluorescent characteristics of dissolved organic matter released from biochar and paddy soil incorporated with biochar. *RSC Advances*, 10(10), 5785–5793.

[9] Qadafi, M., Notodarmojo, S. and Zevi, Y. 2021. Performance of microbubble ozonation on treated tropical peat water: Effects on THM4 and HAA5 precursor formation based on DOM hydrophobicity fractions. Chemosphere, 279, 130642.

09R1-02

ตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด กรณีศึกษา บ้านโพนสูง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

Clay pellet sludge for storing moisture for a mushroom cultivation house Case study: Ban Phon Sung, Mueang District, Nakhon Ratchasima

จาริณี จงปลื้มปิติ[1] พลเทพ เวงสูงเนิน[2] รัฐพล สมนา[3] และ เกียรติสุดา สมนา[3*]
Jarinee Jongpluempiti[1] Ponthep Vengsungle[1] Rattapon Somna[1] and Kiatsuda Somna[1*]
[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถาบันสหสรรพศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
[3, 3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
[*]โทรศัพท์ : 0866030553, E-mail : kiatsuda.so@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการใช้ประโยชน์ดินเหนียวและแกลบในพื้นที่บ้านโพนสูง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาในการสังเคราะห์เป็นตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด ดินเหนียวนำมาทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน การกระจายตัวของเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะและค่าความชื้นของดิน ทดสอบลักษณะโครงสร้างผลึกและลักษณะพื้นผิวของดินเหนียว ผสมดินเหนียวแห้งกับแกลบ โดยใช้แกลบร้อยละ 4 6 และ 8 โดยน้ำหนัก นำมาผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักดินเหนียวแห้งผสมแกลบ ปั้นเป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เซนติเมตร แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ และศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค Optical microscope (OM) จากผลการศึกษา พบว่า ดินเผาผสมแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 8 เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 30.04 สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับโรงเพาะเห็ดในชุมชนได้ นำองค์ความรู้ไปถ่ายทอดให้กับชุมชนบ้านโพนสูง ช่วยลดต้นทุนและเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างการเรียนรู้การใช้ประโยชน์จากวัสดุในชุมชนให้กับคนในชุมชนอีกด้วย

คำสำคัญ : ตะกอนเม็ดดินเผา; แกลบ; โรงเพาะเห็ด

Abstract

This research aims to utilize clay and rice husks in the Ban Phon Sung area, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province. The clay pellet sludge was synthesized to store moisture within mushroom cultivation houses. The size of the soil grains, distribution of soil grains, specific gravity, and moisture content of clay were determined. In addition, the crystalline phase and surface area of clay were characterized. The dry clay with rice husks at 4, 6, and 8 percent by weight. Water was added at 30 percent of the weight of the dry clay mixed with rice husks. The mixture was formed into balls with an estimated 8 cm diameter, then baked at

temperatures of 500, 600, and 700 degrees Celsius for 1 hour. After that, the clay pellets were removed and left to cool at room temperature. The water absorption and surface characteristics were investigated using the Optical microscope (OM) technique. The results showed that clay mixed with rice husks with a rice husk content of 8 percent, baked at 700 degrees Celsius for 1 hour, had a water absorption value of 30.04 percent. It could be used for mushroom cultivation in the community. The knowledge was transferred to the Ban Phon Sung community. It helps reduce costs and is a part of creating learning about the use of materials in the community for people in the community as well.

Keywords : clay pallets; rice husk; mushroom cultivation houses

บทนำ

ชุมชนบ้านโพนสูง ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาเป็นชุมชนธรรมชาติที่ตั้งอยู่ในเขตตัวเมืองโคราช พื้นที่โดยรอบมีทั้งอาคาร โรงแรมและบ้านจัดสรร แต่ยังคง อัตลักษณ์ของชุมชนไว้ได้อย่างดี เนื่องจากมีผู้นำชุมชนที่เข้มแข็ง เป็นชุมชนในรูปของวิถีเกษตร และมีการสร้างศูนย์เรียนรู้ให้กับชุมชน ซึ่งมีการทำโรงเรือนสำหรับเพาะเห็ดนางรมหลวง หรือเห็ดออรินจิ เป็นเห็ดที่ตลาดมีความต้องการสูง ภายในโรงเรือนต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และมีความชื้นที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 70 มีอากาศที่ระบายถ่ายเท มีแสงสว่างที่เพียงพอ จากส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้พัฒนาโรงเรือนสำหรับเพาะเห็ดนางรมหลวงและใช้น้ำสเปรย์ในโรงเรือนเพื่อรักษาความชื้นให้กับโรงเรือน และเพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้ปั๊มน้ำสำหรับการรักษาความชื้น รวมถึงการใช้ประโยชน์จากวัสดุในท้องถิ่น ได้แก่ ดินเหนียวและแกลบ เพื่อทำเป็นตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บรักษาความชื้นได้

ดินเหนียวเป็นดินเนื้อละเอียด มีคุณสมบัติทึบน้ำ สามารถนำมาปั้นเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ เมื่อนำไปเผาจะแปรสภาพเป็นวัตถุแข็งไม่เปลี่ยนรูป จากคุณสมบัติของการเก็บกักน้ำและความชื้นได้ดี อากาศเข้าได้ยาก ซึ่งการใช้ประโยชน์จากเม็ดดินเผาจะนิยมใช้ในการเก็บรักษาความชื้นในการปลูกต้นไม้ในกระถาง โดยผสมในดินปลูกเพื่อเพิ่มความพรุนให้กับดินไม่ให้แน่นและช่วยอุ้มน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสวยงามเมื่ออยู่ด้านบนของดินปลูกและป้องกันไม่ให้ความชื้นในดินระเหยได้ง่ายอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้ดินเหนียวร่วมกับดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลังเพื่อเก็บกักความชื้น ที่สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าร้อยละ 50 [1] ทำให้ในงานวิจัยจึงสนใจนำมาใช้ร่วมกับแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการสีข้าว นำมาผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วนำไปเผาให้ได้รูปทรง นำมาใช้เป็นตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บกักความชื้นในโรงเรือนเพาะเห็ด

ดังนั้น ในวิจัยนี้สนใจตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมแบบระเหยน้ำที่ควบคุมสภาวะภายในโรงเรือนด้วยระบบอัตโนมัติอย่างง่าย โดยใช้ดินเหนียวในพื้นที่ตำบลโพนสูงร่วมกับแกลบเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่เก็บความชื้นภายในได้ดี ด้วยการแทนที่แกลบร้อยละต่างๆ และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส และต่อยอดในการใช้ประโยชน์ในโรงเรือนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้

ดินเหนียวที่ได้จาก ตำบลโพนสูง จังหวัดนครราชสีมา และแกลบที่เหลือจากการสีข้าว

ดินเหนียวที่ได้นำมาทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน การกระจายตัวของเม็ดดิน ความถ่วงจำเพาะและค่าความชื้นของดิน โครงสร้างผลึกของดินเหนียวด้วยเทคนิค X-ray Diffractrometer และลักษณะพื้นผิวของดินเหนียวด้วยเทคนิค scanning electron microscope (SEM)

การสังเคราะห์เม็ดดินตะกอนจากดินเหนียวและแกลบ

การผลิตเม็ดดินร่วมกับแกลบ ทำได้โดย การนำดินเหนียวไปอบให้แห้ง หลังจากนั้นชั่งดินแห้ง 300 กรัม และชั่งแกลบตามสัดส่วน ได้แก่ ร้อยละ 4 6 และ 8 ตามลำดับ (12 18 และ 24 กรัม ตามลำดับ) หลังจากนั้น นำทั้งสองส่วนมาผสมกันและผสมน้ำที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักดินเหนียวแห้งผสมแกลบ นำมาปั้นให้เป็นก้อนกลมขนาดประมาณลูกเทนนิส นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วทำการทดสอบ

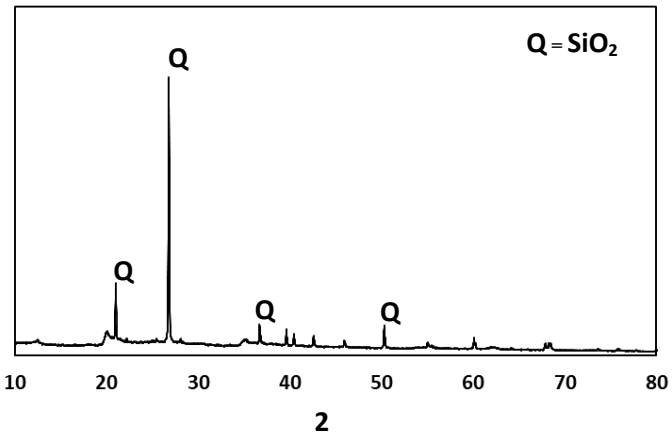
การทดสอบ

ตะกอนเม็ดดินเผานำมาทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ โดยนำตะกอนเม็ดดินเผาไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และคำนวนจากความแตกต่างระหว่างน้ำหนักก่อนและหลังการนำตะกอนเม็ดดินเผาไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค Optical microscope (OM)

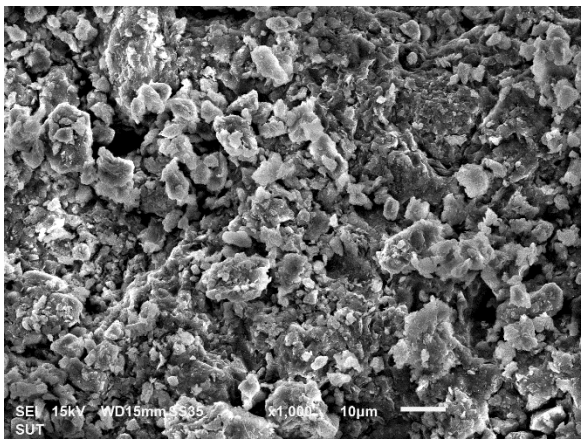
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณสมบัติของดินเหนียว

ดินเหนียวมีค่า fineness modulus เท่ากับ 0.14 มีค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเท่ากับ 2.75 และมีความชื้นของดินร้อยละ 12.85 โครงสร้างผลึกของดินเหนียวมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 1 และลักษณะพื้นผิวของเม็ดดินที่กำลังขยาย 500X พบว่า มีลักษณะพื้นผิวที่มีเหลี่ยมมุมไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2



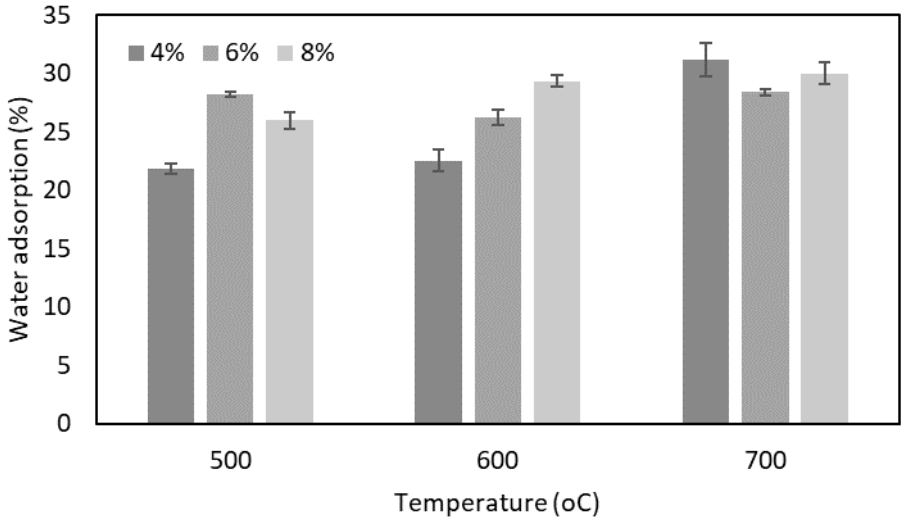
รูปที่ 1 โครงสร้างผลึกของเม็ดดินด้วยเทคนิค XRD



รูปที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของดินเหนียว

2. ผลของค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินตะกอน

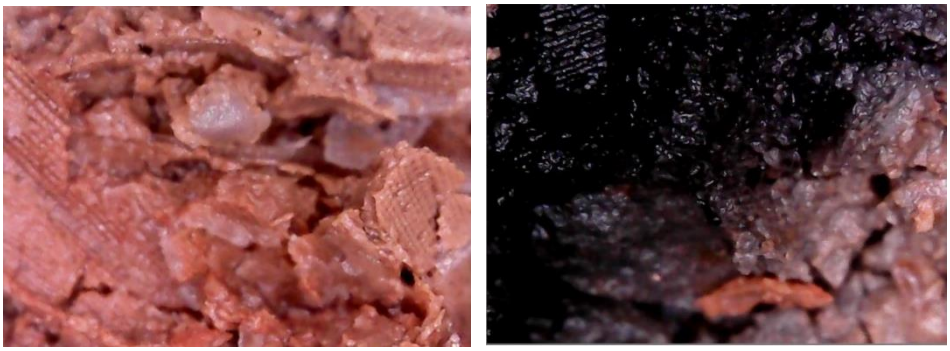
รูปที่ 3 แสดงค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดดินตะกอนที่มีแกลบผสมร้อยละ 4 6 และ 8 และเผาที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดินตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และมีแกลบร้อยละ 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 29.66, 28.42 และ 30.04 ตามลำดับ และมีอุณหภูมิการเผาเดียวกัน การใช้แกลบผสมดินเหนียวมากขึ้นมีแนวโน้มมีค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้แกลบผสมร้อยละ 8 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.04 สอดคล้องกับผลของ กรรณิการ์ วงศ์มุกดาและคณะ (2020) [1]



รูปที่ 3 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดดินตะกอนที่มีแกลบผสมร้อยละ 4 6 และ 8 และเผาที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส

3. ลักษณะพื้นผิวของเม็ดดินตะกอน

ลักษณะภายในของเม็ดดินตะกอนแสดงดังรูปที่ 4 พบว่า ภายนอกที่สัมผัสกับอุณหภูมิจะมีสีแดงและด้านในจะเป็นสีดำอย่างชัดเจน และลักษณะพื้นผิวของเม็ดดินตะกอนที่ใช้เทคนิค optical microscope แสดงดังรูปที่ 4 ลักษณะภายในผิวสีดำเห็นรูพรุนที่ค่อนข้างชัดเจน มีแนวโน้มจะเป็นส่วนของการกักเก็บความชื้นในเม็ดดิน [2]



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของเม็ดดินตะกอนด้วยเทคนิค OM

4. การใช้ประโยชน์ของเม็ดดินตะกอน

หลังจากที่ได้สมบัติที่เหมาะสมของเม็ดดินตะกอนแล้ว ได้นำองค์ความรู้ไปถ่ายทอดให้กับชุมชนบ้านโพนสูงและได้นำไปใช้รักษาความชื้นภายในโรงเรือนการเพาะเห็ดนางรมหลวง แสดงดังรูปที่ 5 นอกจากนี้ ช่วยลดต้นทุนและเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างการเรียนรู้การใช้ประโยชน์จากวัสดุในชุมชนให้กับคนในชุมชนอีกด้วย

รูปที่ 5 ตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ดนางรมแบบระเหยน้ำที่ควบคุมสภาวะภายในโรงเรือนด้วยระบบอัตโนมัติอย่างง่าย

สรุป

ตะกอนเม็ดดินเผาสำหรับเก็บความชื้นภายในโรงเรือนเพาะเห็ด กรณีศึกษา บ้านโพนสูง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับโรงเพาะเห็ดในชุมชนได้ โดยใช้ดินเผาผสมแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 8 เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 30.04

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงการยุวชนอาสา ประจำปีงบประมาณ 2566 และศูนย์การเรียนรู้บ้านโพนสูง ต.หมื่นไวย อ.เมือง จ.นครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง

[1] กรรณิการ์ วงศ์มุกดา, สุพิญญา เมาะราษี, ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, 2563, การผลิตเม็ดดินเผาน้ำหนักเบาจากดินตะกอนประปาและกากมันสำปะหลัง, Journal of Science and Technology Mahasarakham University. 39(4). หน้า 472-479.

[2] พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล และสุธิษา เละเซ็น, 2565, การพัฒนาเม็ดดินเผามวลเบาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, รายงานวิจัย ทุนส่งเสริมงานวิจัยประจำปี 2565, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี.

09R1-03

การบ่มมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
Carbon Dioxide Curing of Mortar mixed with Fly Ash

ชมพูนุท เลิศอานันท์ภร[1] และ มนัสกร ราชากรกิจ[2*]
Chompunut Lerdananporn[1] and Manaskorn Rachakornkij[2]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
[2*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
*โทรศัพท์ : 095-6426451 E-mail : Chompunut01lerd@gmail.com

บทคัดย่อ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดผลต่อหลากหลายประเทศทั่วโลก ซึ่งอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด การใช้เทคโนโลยีการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ จะสามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบของผลึก $CaCO_3$ ซึ่งเป็นอีกแนวทางที่จะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น และเมื่อนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ร่วมกับการเติมวัสดุประสานเสริม (SCMs) เช่น เถ้าลอย จะช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้นอีก แต่เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากอุตสาหกรรมไม่ได้เป็นก๊าซที่มีความบริสุทธิ์ งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการบ่มมอร์ตาร์เพื่อทำให้มอร์ตาร์มีความแข็งแรงมากที่สุด เปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย จากการศึกษาพบว่า มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 มีผลของกำลังรับแรงอัดที่อายุทดสอบ 28 วัน เท่ากับ 43.48 MPa ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ชุดอื่น จึงสามารถสรุปได้ว่า การบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการใช้ SCMs สามารถปรับปรุงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ได้

คำสำคัญ : เถ้าลอย; มอร์ตาร์; การบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

Carbon Dioxide is one of the Greenhouse gases that have created severe climate change impacts around the world. Cement industry that is a major contributor of Carbon Dioxide emission has explored technologies to control its carbon emissions. One of them is Carbon Dioxide Curing designed to help capture CO_2 emission and effectively improve properties of Concrete. Furthermore, the technology when applied with use of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) such as Fly Ash, will help to improve properties of concrete even further. Since Carbon Dioxide emitted from Industry is not pure, different concentrations of Carbon Dioxide were used in curing process to compare strengths of Mortars mixed with Fly Ash with those without. From the study, it was found that Mortars mixed with Fly Ash and cured with Carbon Dioxide at 40 percent CO_2 produced 43.48 MPa 28-Day compressive strength which was the highest compared with other types of mortars. Therefore, it can be concluded that Carbon Dioxide curing combined with the use of SCMs can effectively improve the compressive strength of Mortar samples.

Keywords : Fly Ash; Mortar; Carbon Dioxide Curing

บทนำ

ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่สร้างผลกระทบในหลากหลายประเทศทั่วโลก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่มีแนวโน้มภาพรวมเพิ่มมากขึ้นในทุกปี โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมของมนุษย์มาจากหลายภาคส่วน โดยภาคพลังงานและภาคอุตสาหกรรมเป็นภาคการผลิตที่มีการปลดปล่อยคิดเป็นปริมาณมากที่สุด คือร้อยละ 39.3 และ 28.9 ตามลำดับ [1] อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 5-8 ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั่วโลกในแต่ละปี

ในปัจจุบัน มีการใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) แทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ordinary Portland Cement) ซึ่งปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นปูนที่มีการเติมสารผสมอื่นเพิ่มเติมแทนการใช้ปูนเม็ด อาทิ ผงหินปูน วัสดุปอซโซลานอื่น ๆ เป็นต้น โดยมีสมบัติที่สามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้โดยไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งยังสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการลดการใช้ปูนเม็ดลงได้อีกด้วย [2]

อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage: CCS) ก็เป็นอีกแนวทางสำคัญทางหนึ่งที่จะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เช่นเดียวกัน การบ่มด้วยคาร์บอนไดอ อกไซด์ (Carbon Dioxide Curing) เป็นเทคโนโลยีในการกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของแร่ (Mineral Carbon Storage) โดยเป็นกระบวนการที่เกิดจากแร่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมถูกเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือ แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) โดยมีข้อดีคือ สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปแร่อย่างถาวรและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังเช่นงานวิจัยของ สวิท วิเศษคุณธรรม (2022) [3] ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของเถ้าลอยถ่านหิน โดยการนำเถ้าลอยถ่านหินมาบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ได้เถ้าลอยคาร์บอเนตมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ซีเมนต์บางส่วน

สำหรับการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบของผลึก $CaCO_3$ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากสารประกอบที่สำคัญในปูน คือ สารประกอบแคลเซียม-ซิลิเกต (C_2S และ C_3S) รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า ปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน (Carbonation Reaction) ดังสมการ (1) – (4)

$$3CaO.SiO_2 + (3\text{-}x)CO_2 + yH_2O \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + (3\text{-}x)CaCO_3 \quad (1)$$

$$2CaO.SiO_2 + (2\text{-}x)CO_2 + yH_2O \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + (2\text{-}x)CaCO_3 \quad (2)$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow H_2O + CaCO_3 \quad (3)$$

$$C\text{-}S\text{-}H + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (4)$$

ผลึก $CaCO_3$ ที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้ อาทิ การพัฒนากำลังรับแรงอัดทั้งช่วงต้นและช่วงปลาย ความคงทน เป็นต้น การบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็น ซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตที่อายุช่วงต้น (Early Age) หลังออกจากแบบหล่อมาสัมผัสก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงในระยะเวลาหนึ่ง [4] งานวิจัยของ Jain and Decristofaro (2014) [5] นำปูนซีเมนต์โซลิเดีย (Solidia cement) ที่มีการพัฒนาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาผลิตเป็นคอนกรีต และนำมาร่วมกับเทคโนโลยีการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์แทนการบ่มด้วยน้ำ พบว่าการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้ดีขึ้นและใช้ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตลดน้อยลง

โดยเมื่อนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ร่วมกับการใช้วัสดุประสานเสริมแทนที่ซีเมนต์บางส่วน (Supplementary Cementitious Materials: SCMs) เช่น เถ้าลอย ที่มีการใช้ทดแทนซีเมนต์บางส่วน เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการลดปริมาณปูนเม็ดและยังสามารถปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตได้ในระยะยาว แต่การพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นยังลดลง การบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าวด้านกำลังรับแรงอัดและสมบัติอื่นของคอนกรีตให้ดีขึ้นได้อีก ถือเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลายทาง คือ การลดการใช้ปูนเม็ด การดูดซึมเพื่อทำปฏิกิริยา และเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้นอีกด้วย [6] งานวิจัยของ Chen et al. (2021) [7] ศึกษาประเภทของเถ้าลอยที่นำมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ซีเมนต์บางส่วนร่วมกับการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสมบัติของมอร์ตาร์ พบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยแคลเซียมสูงที่ร้อยละการแทนที่ซีเมนต์เท่ากับ 20 ร่วมกับการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น

และทำให้ความพรุนของมอร์ตาร์ลดลง งานวิจัยของ Song et al. (2021) [8] ศึกษาอิทธิพลการบ่มมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกำลังรับแรงอัด ความพรุนและการต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ของมอร์ตาร์ พบว่ามอร์ตาร์ที่การบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นทั้งช่วงต้นและช่วงปลาย สามารถต้านทานการซึมผ่านคลอไรด์ได้ดีกว่าจากการที่มีความพรุนที่ลดลง

ทั้งนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ได้เป็นก๊าซที่มีความบริสุทธิ์และวิธีการทำให้บริสุทธิ์มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการบ่มมอร์ตาร์ เพื่อให้ได้มอร์ตาร์ที่มีความแข็งแรงมากที่สุดโดยเปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศได้

อุปกรณ์และวิธีการ

เถ้าลอยที่นำมาใช้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปางที่นำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (45 ไมครอน) เครื่องมือ Gas Detector รุ่น GAP-CO_2 ใช้ในการวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขั้นตอนของการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การบ่มมอร์ตาร์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้มอร์ตาร์มีความแข็งแรงมากที่สุด เปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ 2 ประเภท คือ มอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย (2) การศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัดและดัชนีกำลัง (Strength Index) ของมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์

(1) การบ่มมอร์ตาร์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการเตรียมมอร์ตาร์ 2 ประเภท ขนาดและวิธีตามมาตรฐาน ASTM C109 คือมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอย (OPC) และมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอย(FA Mortar) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.57 และ 0.55 ตามลำดับ [3] ร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 20 [5] เมื่อมอร์ตาร์ครบเวลาบ่มขั้นต้น (Pre-curing) ในแบบหล่อที่ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 20 40 และ 60 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

(2) การศึกษาสมบัติกำลังรับแรงอัดและดัชนีกำลัง (Strength Index) ของมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการทดสอบมอร์ตาร์ที่อายุทดสอบ 1 7 14 28 วัน ตามลำดับ สำหรับดัชนีกำลังจะคำนวณเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานที่ไม่ผสมเถ้าลอยและไม่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (OPC100) โดยคำนวณดังสมการ (5)

$$\frac{\text{กำลังแรงอัดของมอร์ตาร์ตัวอย่าง (MPa)}}{\text{กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มาตรฐาน (MPa)}} \times 100 \qquad (5)$$

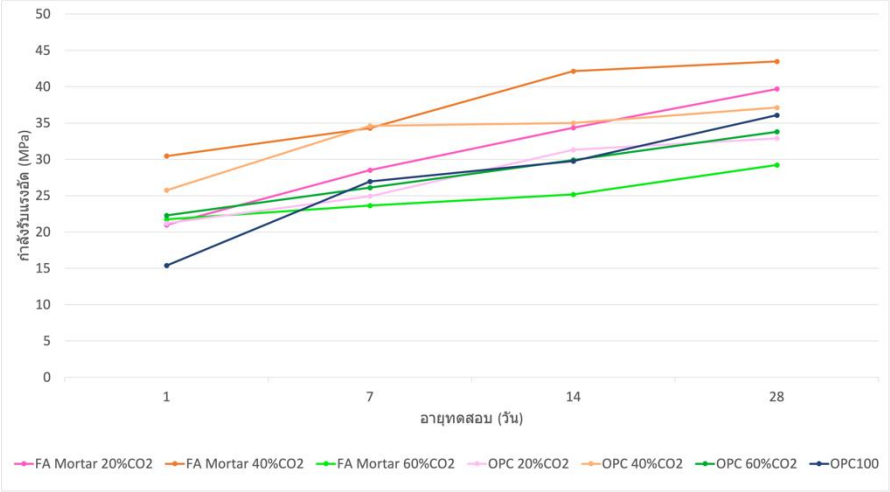
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ทุกอายุทดสอบของมอร์ตาร์หลังผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 40 และ 60 เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (OPC100) แสดงดัง**รูปที่ 1** จะสังเกตได้ว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (FA Mortar 20%CO_2) และ 40 (FA Mortar 40%CO_2) มีผลของกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานที่ทุกอายุทดสอบ จึงสามารถกล่าวได้ว่า การบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุประสานเสริมแทนที่ซีเมนต์บางส่วน (SCMs) สามารถปรับปรุงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ได้ [7] สำหรับการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 (FA Mortar 60%CO_2) มีผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่อายุทดสอบ 1 วันมากกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน (OPC100) เมื่ออายุทดสอบที่ 7 วันขึ้นไป มอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน อาจเป็นผลเนื่องมาจากมอร์ตาร์ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงในระยะเวลาอันสั้น การก่อตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นสารประกอบให้กำลังแก่มอร์ตาร์อาจเกิดเพียงบริเวณผิวด้านนอก ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาอย่างเต็มที่ถึงด้านในของมอร์ตาร์ได้ [8]

FA Mortar 40%CO_2 มีผลของกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดที่ทุกอายุทดสอบเมื่อเทียบกับ OPC100 และมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่น ที่อายุทดสอบ 7 วันมีกำลังรับแรงอัดที่ 34.29 MPa และที่อายุทดสอบ 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดที่ 43.48 MPa และดัชนีกำลัง (Strength Index) เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานมีค่าเท่ากับร้อยละ 127 และ 123

ตามลำดับ ดังแสดงใน**ตารางที่ 1** ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 คือดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยที่อายุทดสอบ 7 วันและ 28 วันต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75



รูปที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์หลังผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (OPC100)

ตารางที่ 1 ดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40

ดัชนีกำลัง (Strength Index)	Day-7	Day-28
FA Mortar 40%CO_2	127	123

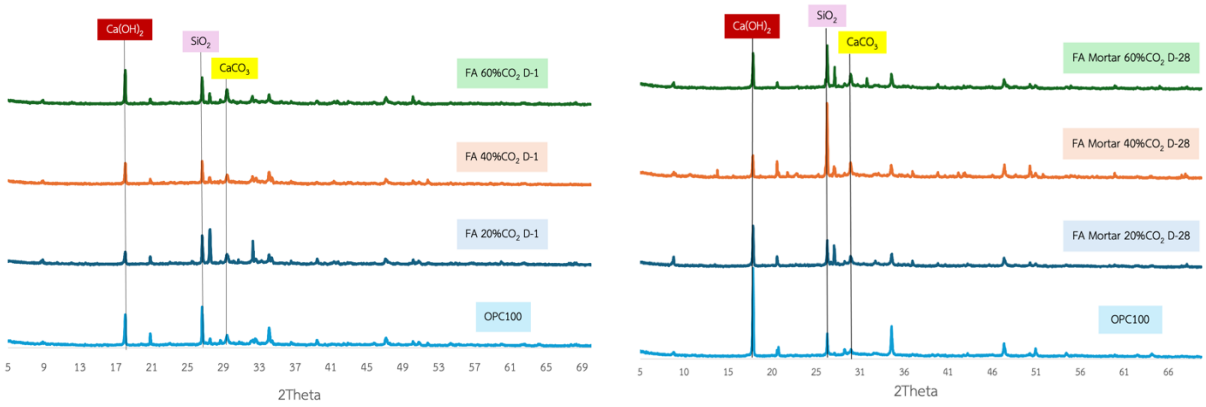
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

หลังผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ จะนำมอร์ตาร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผลึกด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectrometry: XRD) ที่มุม 2Theta (2θ) ตั้งแต่ 5°-70° โดยผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผลึกของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน ที่อายุทดสอบ 1 และ 28 วัน เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน แสดงดัง**รูปที่ 2** พบว่า มอร์ตาร์มาตรฐาน (OPC100) ที่อายุทดสอบ 28 วันมีโครงสร้างผลึกหลักคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เพิ่มขึ้นและมีผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอายุทดสอบ 1 วัน สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทุกความเข้มข้นทุกอายุทดสอบเกิดโครงสร้างผลึก $CaCO_3$ มากกว่า OPC100 จึงสามารถกล่าวได้ว่าการบ่มมอร์ตาร์ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของผลึก $CaCO_3$ ได้

สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 (FA Mortar 40%CO_2) ที่อายุทดสอบ 28 วัน จะมีโครงสร้างผลึก $CaCO_3$ มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ชุดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบกำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดเช่นเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนในรูปของผลึก $CaCO_3$ ที่สามารถปรับปรุงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทั้งช่วงต้นและช่วงปลายได้ [7]

อย่างไรก็ตาม มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 (FA Mortar 60%CO_2) เกิดการลดลงของทั้งผลึก $CaCO_3$ และ $Ca(OH)_2$ อาจเป็นผลมาจากการที่มอร์ตาร์ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงในระยะเวลาอันสั้น ทำให้เกิดผลึก $CaCO_3$ บริเวณผิวด้านนอกของมอร์ตาร์ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และโมเลกุลน้ำไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างเต็มที่ ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาจากการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดได้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของ FA Mortar 60%CO_2 น้อยที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน [8] นอกจากนี้การที่ผลึก $Ca(OH)_2$ ลดลงอาจเกิดได้จากผลึก $Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำปฏิกิริยากับซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ในวัสดุปอซโซลานได้ด้วยเช่นเดียวกันดังสมการ (6) [3] โดยวัสดุปอซโซลานในที่นี้คือ เถ้าลอย

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow dCaO.eSiO_2.fH_2O \qquad (6)$$



(ก) (ข)

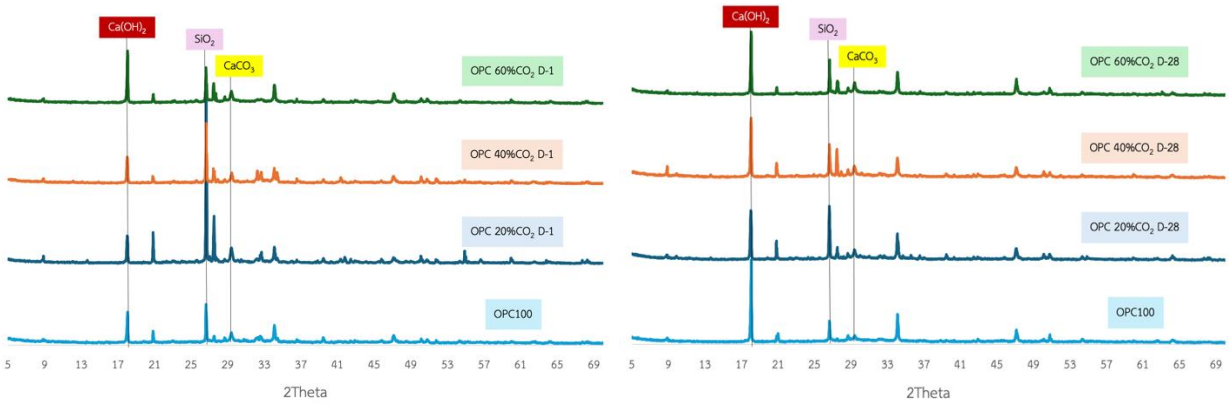
รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผลึกของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุทดสอบ (ก) 1 วัน (ข) 28 วัน

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผลึกของมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน ที่อายุทดสอบ 1 และ 28 วัน เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน แสดงดัง**รูปที่ 3** พบว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทุกความเข้มข้นที่ทุกอายุทดสอบ เกิดโครงสร้างผลึก $CaCO_3$ มากกว่า OPC100 จึงสามารถกล่าวได้เช่นกันว่าการบ่มคอนกรีตด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของผลึก $CaCO_3$ ได้

สำหรับมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (OPC 20%CO2) เมื่อเทียบระหว่างอายุทดสอบ 1 วันและ 28 วัน ผลึก $CaCO_3$ ลดลง แต่ผลึก $Ca(OH)_2$ เพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาไฮเดรชันอาจเกิดเป็นหลักแทนปฏิกิริยาคาร์บอเนชันจากการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นอาจเป็นผลทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่เกิดขึ้นมีอิทธิพลมาจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นหลัก ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมประเด็นนี้ต่อในงานถัดไป มอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 (OPC 60%CO2) มีผลการวิเคราะห์ไปในทางเดียวกันกับ FA Mortar 60%CO_2 คือเกิดการลดลงของผลึก $CaCO_3$ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่มอร์ตาร์ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงในระยะเวลาอันสั้น ทำให้เกิดผลึก $CaCO_3$ เฉพาะบริเวณผิวด้านนอกของมอร์ตาร์ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างเต็มที่ ผลของกำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นอาจมีผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ยังคงดำเนินต่อไป

อย่างไรก็ตาม มอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 (OPC 40%CO_2) มีโครงสร้างผลึก $CaCO_3$ เพิ่มขึ้นจากอายุทดสอบ 1 วันและ 28 วันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ชุดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่าการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนในรูปของผลึก $CaCO_3$ ที่สามารถปรับปรุงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทั้งช่วงต้นและช่วงปลายได้



(ก) (ข)

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่เป็นผลึกของมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุทดสอบ (ก) 1 วัน (ข) 28 วัน

สรุป

การบ่มมอร์ตาร์ที่ไม่ผสมเถ้าลอยและมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าการบ่มมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 40 มีผลของกำลังรับแรงอัดมากกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าลอยและผ่านการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 (FA Mortar 40%CO_2) มีผลของกำลังรับแรงอัดมากที่สุดที่ทุกอายุทดสอบเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ชุดอื่น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลึก $CaCO_3$ มากกว่ามอร์ตาร์ชุดอื่นเช่นเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าการบ่มด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการใช้วัสดุประสานเสริม (SCMs) สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของผลึก $CaCO_3$:มีความสามารถปรับปรุงการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทั้งช่วงต้นและช่วงปลายได้ โดยที่อายุทดสอบ 28 วัน FA Mortar 40%CO_2 มีผลของกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 43.48 MPa

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ธารทิพย์ พันธ์เมธาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่รวมถึงให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Liu, Z., Deng, Z., Davis, S., and Ciais, P. 2023. Monitoring global carbon emissions in 2022. Nature Reviews Earth & Environment. 4 (4), 205-206.

[2] Pheeraphan, T. 2021. Comparative study of properties of concrete made of hydraulic cement (TIS2594) and ordinary Portland cement (TIS15). Journal of Thailand Concrete Association, 9(1), 1-6.

[3] สวิท วิเศษคุณธรรม. 2565. การกักเก็บคาร์บอนด้วยเถ้าลอยเพื่อเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] Gilroy, B., Black, L., Thompson, D., Hogan, R., and Holme, N. 2020. Effects of Accelerated Carbonation Curing on CO2 Sequestration and on the Compressive Strength of Concrete Masonry Units. CERI 2020, 27th August. Online

[5] Jain, J., and DeCristofaro, N. 2014. Solida Concrete

[6] Zhang, D., Cai, X., and Shao, Y. 2016. Carbonation curing of precast fly ash concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. 28(11), 04016127.

[7] Chen, T., Bai, M., and Gao, X. 2021. Carbonation curing of cement mortars incorporating carbonated fly ash for performance improvement CO2 sequestration. Journal of CO2 Utilization. 51, 101633.

[8] Jia, X., Ling, T.-C., Mehdizadeh, H., and Mo, K. H. 2020. Impact of CO2 curing on the microhardness and strength of 0.35 w/c cement paste: Comparative study of internal/surface layers. Journal of Materials Research and Technology, 9(5), 11849-11860.

09R1-04

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้านธรณีวิทยา เพื่อส่งเสริมความตระหนักและรู้เท่าทันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกแก่เยาวชนในจังหวัดปทุมธานี

Enhancing youth awareness of global climate change by developing context-based learning on geoscience in Pathum Thani province.

อรทัย สุราฤทธิ์[1*] ศิรประภา ศรีสุพรรณ[2] สิรีพัชร จีนสิน[1] และ วิสูจน์ สุพงษ์[1]
Oratai Surarit[1*] Siraprapah Srisupan[2] Sireepus Jeensin[1] and Wisoot Supong[1]
[1]นักวิชาการ สำนักวิชาการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ปทุมธานี 12120
[2]นักสื่อสารวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ศูนย์พัฒนาความตระหนักด้านวิทยาศาสตร์แห่งชาติ องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ปทุมธานี 12120
[*]โทรศัพท์ : 02-5779999 ต่อ 1626, โทรสาร : 02-5779999 E-mail :Oratai.s@nsm.or.th.

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกมีความรุนแรงมากขึ้น โดยมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2050 น้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่เมืองของหลายประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างของประเทศไทยที่มีปัญหาด้านการกัดเซาะชายฝั่ง น้ำทะเลล้ำเข้ามาในแม่น้ำเจ้าพระยา และน้ำล้นตลิ่ง ประกอบกับเยาวชนในโรงเรียนพื้นที่จังหวัดปทุมธานีไม่เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของลุ่มน้ำเจ้าพระยาและไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาน้ำทะเลรุกล้ำกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กัน สะท้อนให้เห็นว่าเยาวชนเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับต่ำ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาชุดกิจกรรมด้านธรณีวิทยาเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เพื่อส่งเสริมความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ในการสื่อสารและขยายผลเพื่อสร้างการรับรู้กับบุคคลอื่นต่อไป จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่ 1) ชุดกิจกรรมเรื่องความสำคัญของทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง ซึ่งนำไปใช้กับการอบรมครูจำนวน 20 คน และครูนำไปขยายผลกับนักเรียนจำนวน 1,192 คน และ 2) ชุดกิจกรรมเรื่องภัยพิบัติกับวิกฤตการโลกเดือด ซึ่งรวมอยู่ในโปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน เขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ทดลองใช้กับนักเรียนผู้นำเยาวชนจาก 3 โรงเรียน จำนวน 109 คน ซึ่งมีผลทดสอบความเข้าใจหลังทำกิจกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.855 คะแนน คิดเป็น 12% มีผลความตระหนักจากแบบสอบถามปลายเปิด 79% และผู้นำเยาวชนได้นำองค์ความรู้ที่ได้นำไปขยายผลกับนักเรียนในโรงเรียน ชุมชน เพื่อตระหนักและสร้างความเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก; ธรณีวิทยา; ชุดกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม

Abstract

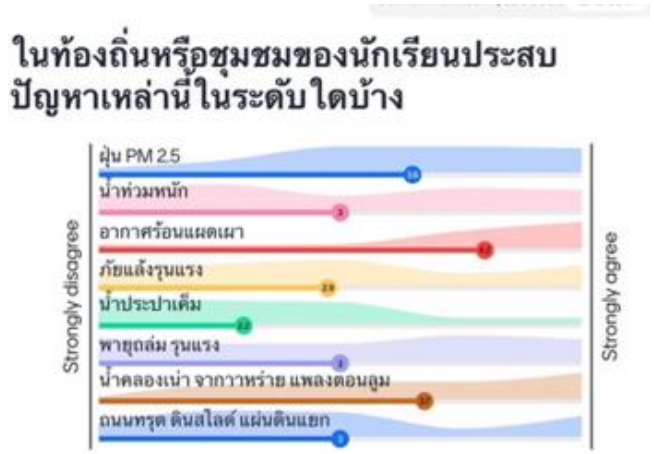
Currently, the intensity of global climate change is increasing, with predictions suggesting sea levels will rise by the year 2050, leading to flooding in urban areas of many countries. Particularly, the lower central plane in Thailand is challenged by coastal erosion, sea incursion into the river, and floods. Furthermore, young people in schools in Pathum Thani Province do not understand the changes happening in the lower central plane. They are unable to connect the problem of saltwater intrusion with global climate change, which reflects a low level of awareness of environmental issues. This can potentially hinder their ability to understand and respond to climate change. The study developed two sets of activities related to geology and global climate change: 1) The Importance of Rivers and Floodplains: This activity was used to train 20 teachers, who then disseminated the knowledge to 1,192 students. 2) Disasters and the Global Warming Crisis: This activity was included in a program that used a contextual approach to promote understanding of local environmental issues and their relationship to climate change among young people in Pathum Thani Province. It was tested with 109 student leaders from three schools and resulted in an average increase in understanding of 3.855 points, or 12%. A post-activity open-ended questionnaire showed a 79% awareness rate, and the student leaders shared the knowledge they gained with other students and community members to raise awareness and create positive environmental change.

Keywords: Global climate change; Geology; Context-based learning

บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศโลกมีความรุนแรงมากขึ้น โดยมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ.2050 น้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่เมืองของหลายประเทศรวมถึงพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ของประเทศไทย (Denise Lu et al, 2019) [1] และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางธรณีวิทยาของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่เป็นตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood plain deposit) บนตะกอนที่ราบน้ำขึ้น (intertidal deposit) ถึงบนตะกอนทะเล (Marine deposit) พบว่าเมื่อ 10,000 ปีก่อนน้ำทะเลเคยขึ้นถึงขอบของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งคล้ายคลึงกับการคาดการณ์ในปัจจุบัน (Sinsakuls, 2000) [2] เมื่อเชื่อมโยงจากข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่คาดการณ์ในปี ค.ศ.2050 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลทางธรณีวิทยา จึงนำมาวิเคราะห์ได้ว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก ทำให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลกระทบกับชายฝั่งของประเทศไทย น้ำทะเลรุกล้ำเข้ามาในแม่น้ำเจ้าพระยา และเกิดน้ำท่วมได้ โดยยกตัวอย่าง กรณีศึกษาขุนสมุทรจีน และเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่งบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ

จากการสำรวจปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่พบทั่วไปในจังหวัดปทุมธานีจากนักเรียนและเยาวชน พบว่านักเรียนและเยาวชนพบปัญหาอากาศร้อน น้ำคลองเน่า ฝุ่น PM 2.5 น้ำท่วม ถนนทรุด และอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 1แต่นักเรียนและเยาวชนไม่สามารถเชื่อมโยงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้ งานวิจัยนี้จึงหยิบประเด็นปัญหาทางธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อม เรื่องน้ำท่วม การกัดเซาะ และการรุกล้ำของน้ำทะเลสู่แม่น้ำเจ้าพระยา มาเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศโลกและพัฒนาเป็นชุดกิจกรรมให้กับโรงเรียนและนักเรียนผู้นำเยาวชนในโรงเรียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างความตระหนัก กระตุ้นการรับรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก 2) เชื่อมโยงกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ธรณีวิทยา กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก 3) นักเรียนและเยาวชนสามารถนำไปบอกเล่ากับบุคคลอื่นได้ โดยการใช้ชุดกิจกรรมนี้กับการอบรมครูในค่ายรู้รักษ์...ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และค่ายผู้นำเยาวชนรู้เท่าทันวิกฤตการณ์โลกร้อน โดยรวมอยู่กับชุดกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในโปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน เขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 1 ผลการสำรวจปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นกับนักเรียนและเยาวชน

Figure 1 Result of survey environment problem

อุปกรณ์และวิธีการ

1. รู้จักพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง
   1.1 รวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง
   1.2 รวบรวมปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมภายในชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก
2. คัดเลือกหัวข้อสำหรับออกแบบชุดการเรียนรู้และทดลองใช้ชุดกิจกรรมโดยการเรียนรู้แบบบริบทเป็นฐาน (ศุภกร สุขยิ่ง, 2560) [3]
   2.1 คัดเลือกจากประเด็นปัญหาที่ใกล้ตัวของนักเรียน เยาวชนและคนในท้องถิ่น ที่สามารถเชื่อมโยงกับหลักสูตรแกนกลาง
   2.2 ออกแบบชุดกิจกรรมการเรียนรู้และเลือกเป้าหมายสำหรับชุดการเรียนรู้ จำนวน 2 ชุด
   2.3 ทดลองใช้กับครู
      3.1.1 ทดลองใช้ชุดกิจกรรม 1 ชุดกิจกรรม กับการอบรมครู ในค่ายรู้รักษ์...ความสำคัญของลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา
      3.1.2 เก็บข้อมูลความคิดเห็นกับครูในการประยุกต์ใช้ชุดกิจกรรมกับนักเรียน ผ่านรายงานการขยายผล
   2.4 ทดลองใช้ชุดกิจกรรมกับนักเรียนผู้นำเยาวชนรวม 3 โรงเรียน
      2.4.1 ทดลองใช้ชุดกิจกรรม 2 ชุดกิจกรรม กับค่ายผู้นำเยาวชนรู้เท่าทันวิกฤตการณ์โลกร้อนกับโรงเรียนหนองเสือ โรงเรียนธัญรัตน์ และโรงเรียนมัธยมสังคีต
      2.4.2 เก็บข้อมูลความคิดเห็นและผลการทดสอบ
3. การประเมินผลการเรียนรู้
   3.1 นักเรียนผู้นำในโรงเรียนและครูที่ผ่านการอบรม กลับไปขยายผลในโรงเรียนและชุมชนของตนเอง เพื่อสร้างความตระหนักและเพิ่มการรับรู้ให้กับบุคคลอื่น พร้อมส่งรายงานการขยายผลของโรงเรียน
   3.2 ผลการทดสอบก่อนและหลังทำกิจกรรม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. รู้จักพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (lower central plain) หรือที่ราบลุ่มเจ้าพระยา มีระดับความสูงตั้งแต่ 1 ถึง 10 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำลพบุรี แม่น้ำน้อย และแม่น้ำสาขาต่าง ๆ ไหลผ่านพื้นที่ เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบมีความลาดเอียงน้อย ทางน้ำที่ไหลผ่านมีการกวัดแกว่งเปลี่ยนแนวทางการไหลอย่างชัดเจน บางพื้นที่มีการตัดขาดของทางน้ำเดิม เกิดเป็นภูมิลักษณ์ (landform) ใหม่ ได้แก่ ทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) รอยโค้งตวัดของทางน้ำ (meander scar) คันดิน

ธรรมชาติ (natural levee) มาบทรายล้นฝั่ง (crevasse splay) เป็นต้น นอกจากนั้นพื้นที่นี้ยังมีการสะสมตะกอนจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน (Holocene) จากลักษณะการสะสมตัวของตะกอนตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา ได้มีการแบ่งตะกอนบริเวณนี้ออกเป็น 6 หน่วยตะกอน ประกอบด้วย ตะกอนที่ราบน้ำท่วมขังป่าชายเลน ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลน้ำขึ้น–น้ำลง ตะกอนร่องน้ำเก่า ตะกอนที่ลุ่มน้ำขังตะกอนคันดินธรรมชาติ และตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง

ข้อมูลการศึกษาตะกอนดินในจังหวัดปทุมธานี ประกอบด้วยตะกอนดินเคลย์สีน้ำตาลจากตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood plain deposit) บนตะกอนดินเคลย์สีเทาถึงดำจากตะกอนที่ราบน้ำขึ้น (intertidal deposit) ถึงบนตะกอนดินเคลย์ทะเล (Marine deposit) (กรมทรัพยากรธรณี, 2559) [4] เมื่อศึกษาสภาพแวดล้อมในอดีตของพื้นที่ภาคกลางพบว่าบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างเคยมีน้ำทะเลขึ้นถึงเมื่อประมาณ 10,000 ปีก่อน และลดถอยมาจนถึงปัจจุบัน โดยมีการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำตลอดแนวการลดของทะเลและเป็นตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงในปัจจุบัน (Masatomo Umitsu et al. 2002) [5]

จากการรวบรวมปัญหาพบว่าในปัจจุบันสถิติการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่อ่าวไทยมีความรุนแรงต่อเนื่อง โดยพบว่าบริเวณขุนสมุทรจีนและบางขุนเทียนมีอัตราการกัดเซาะมากกว่า 25 เมตรต่อปี โดยเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ลดลง การลดลงของพื้นที่ป่าชายเลน และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (สำนักงานโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550) [6] มีน้ำทะเลลุกล้ำเข้าไปในแม่น้ำเจ้าพระยาจนเกิดเหตุการณ์น้ำประปาเค็ม และมีน้ำล้นตลิ่งอยู่บ่อยครั้ง

2. คัดเลือกหัวข้อสำหรับออกแบบชุดการเรียนรู้

จากปัญหาและข้อมูลธรณีวิทยาในพื้นที่ จึงคัดเลือกหัวข้อ และออกแบบการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน (Context base learning) ดังนี้

2.1 ชุดกิจกรรมเรื่องความสำคัญของทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง เพื่ออธิบายการเกิดที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา รู้จักและเข้าใจสำคัญของแม่น้ำเจ้าพระยา ตะกอนทางน้ำ และลักษณะธรณีสัณฐานของแม่น้ำ โดยมีอุปกรณ์คือถาดพลาสติกขนาดใหญ่ ทราย น้ำ และป้ายบอกธรณีสัณฐาน โดยมีวิธีการ 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การนำเข้าสู่บริบทให้รู้จักพื้นที่ โดยการนำบริบทที่ตั้งและลักษณะทางกายภาพจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ในประเด็น การกัดเซาะตลิ่ง และน้ำล้นตลิ่งในจังหวัดปทุมธานีและที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมาวิเคราะห์หาสาเหตุ พร้อมจำลองลักษณะที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ด้วยการทดสอบและสาธิตเพื่อจำลองปรากฏการเชิงธรณี โดยเททรายลงในถาดทรายขนาดใหญ่ จัดระดับให้พื้นเอียงประมาณ 5 องศา จากนั้นวาดเส้นทางน้ำโค้งตวัดให้เหมือนกับที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

2.1.2 ขั้นตอนที่ 2 สร้างการรับรู้ปัญหาด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เริ่มจากตั้งสมมติฐานเพื่อคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น โดยให้ผู้เรียนตั้งสมมติฐานว่า จะเกิดอะไรขึ้นหากเราเทน้ำลงไปในช่องทางน้ำโค้งตวัดเหมือนแม่น้ำเจ้าพระยา

2.1.3 ขั้นตอนที่ 3 สำรวจตรวจสอบ โดยการทดลองเทน้ำบริเวณบนสุด ให้ผ่านทางน้ำที่วาดไว้จากนั้นสังเกตลักษณะที่เปลี่ยนแปลง พร้อมกับปักป้ายธรณีสัณฐานที่เกิดขึ้น เช่น สันดอนทราย ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ การกัดเซาะ

2.1.4 ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และเชื่อมโยงแนวคิดสำคัญ โดยการให้ผู้เรียนตัวแทนกลุ่มวิเคราะห์ผลการทดสอบเชื่อมโยงสาเหตุกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และนำเสนอสาเหตุลักษณะทางธรณีสัณฐานต่างๆ ไว้บริเวณจุดต่างๆ ว่าค้นพบอะไร จากหลักฐานอะไรที่ทำให้คิดเช่นนั้น เช่น ทำไมพื้นที่นี้ถึงเรียกว่าการกัดเซาะ เกิดขึ้นได้เพราะอะไร

2.1.5 ขั้นตอนที่ 5 สร้างความสัมพันธ์เพื่อนำไปเชื่อมโยงกับสถานการณ์ใหม่ โดยให้ผู้เรียนเชื่อมโยงธรรมชาติของแม่น้ำที่เกิดขึ้น สู่การวิเคราะห์สถานการณ์อื่นๆในปัจจุบัน เช่น การกัดเซาะชายฝั่งจากตะกอนทางน้ำที่ลดลง

รูปที่ 2 ชุดกิจกรรมเรื่องความสำคัญของทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง ในการอบรมครูในค่ายรู้รักษ์...ความสำคัญของลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา

รูปที่ 3 ชุดกิจกรรมเรื่องความสำคัญของทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง สำหรับนักเรียนผู้นำเยาวชน ในค่ายผู้นำเยาวชนรู้เท่าทันวิกฤตการณ์โลกร้อน

2.2 ชุดกิจกรรมเรื่องภัยพิบัติกับวิกฤตการณ์โลกเดือด เพื่ออธิบายความเชื่อมโยงระหว่างปัญหาเรื่องการกัดเซาะชายฝั่งน้ำประปาเค็ม น้ำท่วมและน้ำล้นตลิ่ง มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก โดยมีอุปกรณ์คือถาดพลาสติก ทราย น้ำ ไม้บรรทัด ชุดตักทราย บ้านจำลอง ต้นไม้จำลอง หินขนาดเล็ก ดินน้ำมัน ไม้หลากหลายขนาด และเงินจำลอง โดยมีวิธีการเรียนรู้ ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การนำเข้าสู่บริบทให้รู้จักพื้นที่ โดยการนำบริบทที่ตั้งและลักษณะทางกายภาพจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ในประเด็นการกัดเซาะชายฝั่งและน้ำประปาเค็ม เป็นปัญหาต้นแบบ พร้อมจำลองลักษณะพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยทรายใส่ลงในถาด บ้าน 10 หลังและต้นไม้ตามจินตนาการ จากนั้นเติมน้ำเพื่อจำลองพื้นที่อ่าวตัว ก ของไทย วัดระดับน้ำในถาดด้วยไม้บรรทัด พร้อมสร้างคลื่นจากไม้บรรทัด

2.2.2 ขั้นตอนที่ 2 สร้างการรับรู้ปัญหาด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เริ่มจากตั้งสมมติฐานเพื่อคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น โดยการนำข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกมาแสดง พร้อมให้ผู้เรียนตั้งสมมติฐานว่า จะเกิดอะไรขึ้นหากน้ำแข็งละลายและน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น

2.2.3 ขั้นตอนที่ 3 สำรวจตรวจสอบ โดยการตั้งภารกิจว่าน้ำในถาดจะเพิ่มสูงขึ้น 1 เซนติเมตร ผู้เรียนจะทำอย่างไรเพื่อป้องกันความเสียหายของบ้านทั้ง 10 หลัง โดยผู้เรียนสามารถนำเงินที่สะสมได้จากการตอบคำถามมาซื้อไม้ หิน ทราย ต้นไม้ หรือดินน้ำมันเพิ่มเติมได้ในราคาที่แตกต่างกัน จากนั้นผู้เรียนจะร่วมวางแผนและลงมือสร้างบางอย่างเพื่อป้องกันผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นกับเพื่อนในกลุ่ม โดยใช้เวลาดำเนินการประมาณ 10-15 นาที

2.2.4 ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์และเชื่อมโยงแนวคิดสำคัญ โดยให้ผู้เรียนตัวแทนกลุ่มจะนำเสนอแนวคิดในการป้องกันผลกระทบจากน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำเสนอครบทุกกลุ่มแล้วจะเทน้ำในถาดของผู้เรียนให้เพิ่มสูงขึ้น 1 เซนติเมตร ใช้ไม้บรรทัดทำคลื่น สังเกตุผลที่เกิดขึ้น พร้อมนับจำนวนบ้านที่เหลืออยู่ จากนั้นให้นักเรียนเชื่อมโยงผลการทดลองกับข่าวปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งหรือน้ำประปาเค็มว่ามีความเชื่อมโยงกันอย่างไร

2.2.5 ขั้นตอนที่ 5 สร้างความสัมพันธ์เพื่อนำไปเชื่อมโยงกับสถานการณ์ใหม่ โดยให้ผู้เรียนเชื่อมโยงสถานการณ์นี้กับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่นน้ำล้นตลิ่ง น้ำท่วม และร่วมค้นหาแนวทางสิ่งที่ผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้เพื่อโลกและลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

รูปที่ 4 ชุดกิจกรรมเรื่องภัยพิบัติกับวิกฤตการณ์โลกเดือด สำหรับนักเรียนผู้นำเยาวชน ในค่ายผู้นำเยาวชนรู้เท่าทันวิกฤตการณ์โลกร้อน

3. ประเมินผลการเรียนรู้

ในส่วนของผลการเรียนรู้สามารถแบ่งผลการเรียนรู้ได้ ดังนี้

3.1 ชุดกิจกรรมที่ 1 ได้นำไปทดลองใช้กับการอบรมครูจำนวน 20 คน จาก 10 โรงเรียน พบว่าครูสามารถอธิบายปรากฏการณ์และเชื่อมโยงองค์ความรู้สู่นักเรียนได้เป็นอย่างดี โดยครูสามารถนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับนักเรียนรวม 1,192 คน ผ่านการจัดค่ายสิ่งแวดล้อม ชุมนุมสิ่งแวดล้อม หรือในคาบเรียนตามหลักสูตรแกนกลาง โดยมีความพึงพอใจในระดับดี

3.2 ชุดกิจกรรมที่ 1 และ 2 ได้นำไปใช้กับนักเรียนจำนวน 3 โรงเรียน รวม 109 คน ผ่านค่ายผู้นำเยาวชนรู้เท่าทันวิกฤตการณ์โลกร้อน พบว่านักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ เชื่อมโยงองค์ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ธรณีวิทยา และภัยพิบัติได้เป็นอย่างดี โดยนักเรียนสามารถนำองค์ความรู้ไปถ่ายทอดและบอกต่อให้กับบุคคลอื่น ทั้งในโรงเรียนและชุมชน ผ่านกิจกรรมภายในโรงเรียนและการประชาสัมพันธ์อื่นๆ

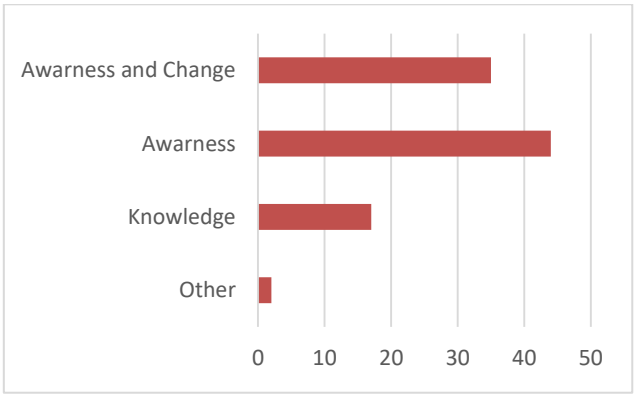
3.3 ชุดกิจกรรมที่ 2 เป็นหนึ่งในชุดกิจกรรมเรื่องธรณีวิทยา ในโปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน เขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีผลทดสอบความรู้ความเข้าใจก่อนทำกิจกรรมและหลังทำกิจกรรม ตามตารางที่ 1 พบว่านักเรียนทั้ง 3 โรงเรียนมีคะแนนหลังทำกิจกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.855 คะแนน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 12% จากคะแนนก่อนทำกิจกรรม โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.21 และมีผลความตระหนักจากแบบสอบถามปลายเปิด โดยให้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกของนักเรียนหลังจากการทำกิจกรรมโดยไม่ระบุชื่อของนักเรียน จากนั้นนำคำตอบมาจับกลุ่มตามกราฟที่ 1 พบว่านักเรียนมีความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกรวม 79% แบ่งเป็นมีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมากและพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงตัวเอง 35% มีความตระหนักโดยทั่วไป 44% มีความรู้เพิ่มขึ้นแต่ยังไม่สามารถเชื่อมโยงได้ 17% และอื่นๆ 4%

รูปที่ 5 ครูนำชุดกิจกรรมไปใช้กับนักเรียนในโรงเรียน (ซ้าย)
นักเรียนผู้นำเยาวชนนำองค์ความรู้ไปถ่ายทอดให้กับนักเรียนในโรงเรียน (ขวา)

ตารางที่ 1 ผลทดสอบความรู้ความเข้าใจ

ชื่อโรงเรียน	จำนวนนักเรียน	คะแนนก่อนทำกิจกรรม (คะแนน)	คะแนนหลังทำกิจกรรม (คะแนน)	ผลต่างคะแนน (คะแนน)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โรงเรียนหนองเสือ	29	17.000	21.340	4.340	1.987
โรงเรียนธัญรัตน์	55	19.470	23.550	4.080	2.714
โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา	25	18.960	21.760	2.800	3.215
รวม	109	18.696	22.551	3.855	3.210

กราฟที่ 1 ผลการสำรวจความตระหนักของนักเรียนด้วยคำถามปลายเปิด



สรุป

ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีปัญหาด้านการกัดเซาะชายฝั่ง น้ำทะเลล้ำเข้ามาในแม่น้ำเจ้าพระยา และน้ำท่วม ประกอบกับเยาวชนในโรงเรียนพื้นที่จังหวัดปทุมธานีไม่เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของลุ่มน้ำเจ้าพระยาและไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาน้ำทะเลรุกล้ำกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กัน สะท้อนให้เห็นว่าการขาดความเชื่อมโยงเหล่านี้ ทำให้เยาวชนเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับต่ำ ดังนั้น จึงพัฒนาชุดกิจกรรมด้านธรณีวิทยาและเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก จำนวน 2 เรื่อง ได้แก่ 1) ชุดกิจกรรมเรื่องความสำคัญของทางน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง และ 2) ชุดกิจกรรมเรื่องภัยพิบัติกับวิกฤตการโลกเดือด เพื่อเพิ่มความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม เชื่อมโยงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และนำเอาองค์ความรู้ไปบอกต่อกับนักเรียน คนในชุมชน โดยทั้งสองชุดกิจกรรมมีผลความพึงพอใจต่อการทำกิจกรรมดี และมีผลความตระหนักจากการสังเกตและตอบคำถามปลายเปิดอยู่ในระดับดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ : โปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน เขตพื้นที่ จังหวัดปทุมธานี ได้รับทุนวิจัยโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] Denise Lu and Christopher Flavelle. 2019. Rising Seas Will Erase More Cities by 2050, New Research Shows. https://www.nytimes.com/interactive/2019/10/29/climate/coastal-cities-underwater.html (สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2566.)

[2] Sin Sinsakul. (2000). Late quaternary geology of the Lower Central Plain, Thailand. Journal of Asian Earth Sciences, P.415-426

[3] ศุภกร สุขยิ่ง, 2017. การจัดการเรียนรู้แบบใช้บริบทเป็นฐานร่วมกับการใช้ข่าวเป็นสื่อ เรื่อง สภาพสมดุล เพื่อพัฒนาการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่4. วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ : ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2560

[4] กรมทรัพยากรธรณี. 2016. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดปทุมธานี. 86: 9-14.

[5] Masatomo Umitsu et al. (2002). Late-Holocene-sea level change and evolution of the central plain, Thailand. Proceeding of the symposium on Geology of Thailand. Department of mineral resource, P.201-206

[6] สำนักงานโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2007. สถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งอ่าวไทยที่มีความวิกฤต. กรุงเทพฯ

09R1-05

การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

Carbon Storage and Carbon Dioxide Adsorption of Trees in Sakon Nakhon Rajabhat University

อุไรวรรณ ภูนาพลอย[1*] อริยะ คงสถิต[2] กฤติยาพรรณ อินทสันตา[3]
หทัยรัตน์ สิงห์โต[4] อาทิตยา คำไพ[5] ทรงพล ประโยชน์มี[6] ประวิทย์ สุวรรณรงค์[7] และ ณัฐพร จิระวัฒนาสมกุล[8]
Uraiwan Phoonaploy[1] Ariya Kongsathit[2] Krittiyaphan Intasanta[3] Hatairat Singto[4]
Arthitaya Kamphai[5] Songphon Prayochmee[6] Prawit Suwannarong[7] and Nathaporn Jirawattanasomkul[8]
[1*,6,7,8]อาจารย์; [2,3,4,5]นักศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000
*โทรศัพท์ : 0981479597, E-mail : uraiwan@snru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ทำการสำรวจชนิดพันธุ์ไม้ วัดความเติบโตของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height, DBH) มากกว่า 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป และวัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน เก็บข้อมูล DBH ด้วยสายวัด วัดความสูงของต้นไม้ด้วย Clinometer วิเคราะห์มวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรี ประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพจะมีคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 0.47 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์คูณด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 3.67 ของปริมาณคาร์บอนกักเก็บ

ผลการศึกษาพบชนิดพันธุ์ไม้ 71 ชนิด 31 วงศ์ ส่วนใหญ่จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ชนิดพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ ราชพฤกษ์ (*Cassia fistula*) ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) จามจุรี (*Samanea saman*) และตะแบก (*Lagerstroemia floribunda*) จำนวน 272, 141, 114, 113 และ 111 ต้น ตามลำดับ ปริมาณมวลชีวภาพรวมพบมากที่สุด คือ *S. saman* โมกมัน (*Wrightia arborea*) สัก (*Tectona grandis*) มะขาม (*Tamarindus indica*) และพญาสัตบรรณ (*Alstonia scholaris*) เท่ากับ 191.77, 50.76, 46.52, 37.43 และ 33.46 ตัน ตามลำดับ คิดเป็น 12.18 ตันต่อไร่ พันธุ์ไม้ที่มีการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด คือ *S. saman*, *W. arborea, T. grandis T. indica* และ *A. scholaris* เท่ากับ 90.13, 23.86, 21.86, 17.59 และ 15.73 ตันคาร์บอน ตามลำดับ คิดเป็น 0.57 ตันคาร์บอนต่อไร่ และพันธุ์ไม้ที่ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด คือ *S. saman*, *W. arborea, T. grandis, T. indica* และ *A. scholaris* เท่ากับ 330.49, 87.48, 80.17, 64.50 และ คิดเป็น 2.10 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่

คำสำคัญ : มวลชีวภาพ; การกักเก็บคาร์บอน; การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์; ไม้ยืนต้น

Abstract

The objectives of this study were to estimate carbon storage and carbon dioxide absorption in trees species at Sakon Nakhon Rajabhat University. The species of trees were identified. The process is recording the diameter at breast height (DBH), the height as well as for plant species list and plant family list of trees (DBH >4.5 cm and height >1.30 m) then calculated the biomass by using the allometry equation. The

estimating of carbon stock was converted by a conversion factor as 0.47 of biomass and carbon dioxide adsorption multiplied by a conversion factor as 3.67 of carbon stock.

The results found a total of 71 species and 31 families of trees. Most species belonged to *Fabaceae* family. The most common species were *Cassia fistula*, *Dipterocarpus alatus*, *Pterocarpus macrocarpus*, *Samanea saman* and *Lagerstroemia floribunda*, numbering 272, 141, 114, 113 and 111 trees, respectively. The highest amounts of total biomass found in *S. saman*, *Wrightia arborea*, *Tectona grandis*, *Tamarindus indica* and *Alstonia scholaris*, as 191.77, 50.76, 46.52, 37.43 and 33.46 tons, respectively. The amount of total biomass was 12.18 tons per rai. The most carbon stocks were *S. saman*, *W. arborea*, *T. grandis, T. indica* and *A. scholaris*, equal to 90.13, 23.86, 21.86, 17.59 and 15.73 tons of carbon, respectively. The total amount of carbon stored was 0.57 tons of carbon per rai. The plant species that adsorbed the most carbon dioxide was *S. saman*, *W. arborea*, *T. grandis*, *T. indica* and *A. scholaris*, equal to 330.49, 87.48, 80.17, 64.50 and 57.67 tons of carbon dioxide. The total amount was 2.10 tons of carbon dioxide per rai.

Keywords : biomass; carbon storage; carbon dioxide adsorption; trees

บทนำ

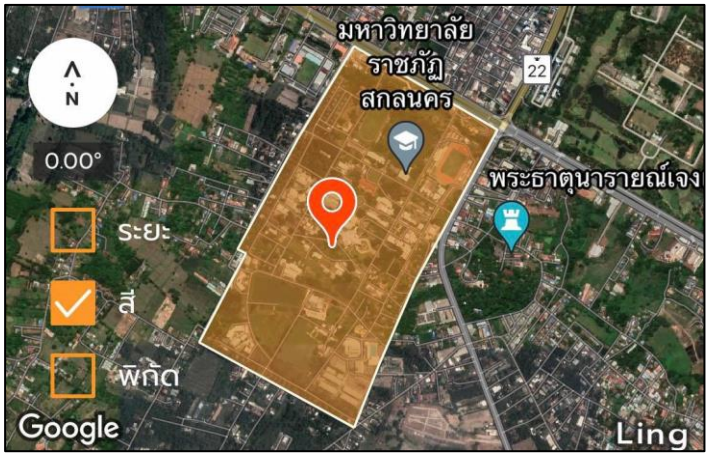
การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ย (Average weather) ในพื้นที่หนึ่ง เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม อาจเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติ หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ [1] เช่น กิจกรรมที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรม และการตัดไม้ทำลายป่า การเกิดก๊าซมีเทน จากการการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ที่มีน้ำขัง เป็นเหตุให้ภาวะเรือนกระจกรุนแรงกว่าที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติ และส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น ที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นสภาวะที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์ออกไปได้อย่างปกติ จึงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และทำให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปโดยจะส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อพืช สัตว์ และมนุษย์

ในแต่ละปีพื้นที่ป่าประมาณ 75 ล้านไร่ถูกทำลาย เพื่อทำไร่หรือทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรืออื่น ๆ การตัดไม้ทำลายป่าจึงเป็นการลดขีดความสามารถของธรรมชาติในการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกไม่ให้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ [2] มีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกถึง 1 ใน 4 ซึ่งกลไกที่ทำให้ต้นไม้สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ เกิดจากปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช [3] เปลี่ยนสภาพให้เป็นคาร์บอนกักเก็บหรือสะสมอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) ในลำต้น กิ่ง ใบ และราก การจัดการฟื้นฟูระบบนิเวศและการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้เป็นการช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ [4] ตัวอย่างเช่น การศึกษาของถิรายุ เกลี้ยงสะอาด และคณะ [5] ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในสวนสันติภาพ กรุงเทพมหานคร พบว่า ต้นนนทรี มีค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมมากที่สุดเท่ากับ 22,167.07 กิโลกรัม และพบว่าต้นสัตบรรณ มีอัตราการเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนและศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด และการศึกษาของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และดุริยะ สถาพร [6] พบว่าความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนเป็นผลมาจากความแตกต่างของมวลชีวภาพมากกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนในแต่ละส่วนของต้นไม้ และนอกจากประโยชน์ที่ได้จากการลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมแล้ว สิ่งมีชีวิตยังได้รับประโยชน์จากบริการของระบบนิเวศ เช่น การได้ร่มเงา อุณภูมิลดลง คุณค่าด้านการศึกษาและนันทนาการอีกด้วย [7]

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้น ศึกษาปริมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถลดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนระยะยาว

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร เลขที่ 680 ถนนนิตโย ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000 เนื้อที่ศึกษาทั้งหมด 579 ไร่ พิกัดทางภูมิศาสตร์ 17.187887N, 104.089504E ยกเว้นพื้นที่บริเวณสวนพฤกษศาสตร์ และแปลงสาธิตคณะเกษตรศาสตร์ ภูมิประเทศสูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 172 เมตร (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ที่ตั้งและพื้นที่ศึกษา

3 เมตร และวัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน เก็บข้อมูล DBH ด้วยสายวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ และวัดความสูงของต้นไม้ด้วย Clinometer วิเคราะห์มวลชีวภาพได้จากสมการแอลโลเมตรี สำหรับกลุ่มพรรณไม้ทั่วไป [8] ดังสมการ (1) – (4)

$W_S = 0.0396\ (DBH^2H)^{0.933}$ (1)

$W_B = 0.0039\ (DBH^2H)^{1.030}$ (2)

$W_L = (28/(W_S + W_B + 0.025))^{-1}$ (3)

$W_T = W_S + W_B + W_L$ (4)

โดยที่ W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กก.)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กก.)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กก.)

W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.)

DBH = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร

วิเคราะห์มวลชีวภาพรวมของพันธุ์ไม้จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground biomass) และมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground biomass) ซึ่ง Faculty of Forestry [9] ได้กำหนดอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพรรณไม้ที่ปลูกในเขตเมือง เท่ากับ 0.28 ประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินของต้นไม้ทั้งหมด โดยใช้ค่าสัดส่วนของคาร์บอนในมวลชีวภาพตามคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เท่ากับ 0.47 [10] และประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์คูณด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 3.67 ของปริมาณคาร์บอนกักเก็บ [11]

ผลการทดลองและวิจารณ์

พื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร มีลักษณะสังคมพืช จัดอยู่ในลักษณะป่าเต็งรัง ประกอบด้วยต้นไม้ผลัดใบขนาดกลางและขนาดเล็ก ขึ้นกระจัดกระจายไม่ค่อยแน่นทึบ ดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายหรือดินลูกรัง กักเก็บน้ำได้น้อย ผลการศึกษาชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นพบทั้งสิ้น 71 ชนิด (Species) 31 วงศ์ (Family) โดยวงศ์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Fabaceae* จำนวน 15 ชนิด *Dipterocarpaceae* จำนวน 5 ชนิด *Moraceae* จำนวน 5 ชนิด *Sapindaceae* จำนวน 5 ชนิด ตามลำดับ ชนิดพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ ต้นราชพฤกษ์ (*Cassia fistula*) ต้นยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ต้นประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) ต้นจามจุรี (*Samanea saman*) และต้นตะแบก (*Lagerstroemia floribunda*) จำนวน 272, 141, 114, 113 และ 111 ต้น คิดเป็นร้อยละ 14.12, 7.32, 5.92, 5.86 และ 5.76 ของจำนวนต้นไม้ทั้งหมด ตามลำดับ ต้นไม้ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ต้นเสม็ดแดง ต้นมะกอก ต้นกระบก ต้นยางเหียง ต้นหมีเหม็น และต้นตะโก มีความสูงอยู่ที่ 10-11 เมตร ต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุด คือ ต้นติ้ว ต้นจามจุรี ต้นตะเคียน ต้นสมอพิเภก และต้นโพธิ์ มีค่าเท่ากับ 88, 71, 70, 63 และ 61 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งแสดงชนิดที่พบจำนวนมากกว่า 10 ต้น ประโยชน์ทางอ้อมของพื้นที่ป่าเต็งรัง คือ ทำให้เกิดความชุ่มชื้น ช่วยควบคุมสภาวะอากาศ ป่าเต็งรังที่สมบูรณ์ยังเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในปริมาณมาก ซึ่งมีส่วนสำคัญในการช่วยลดปริมาณก๊าซชนิดนี้ในชั้นบรรยากาศ ที่กำลังเป็นปัญหาระดับโลก

ตารางที่ 1 บัญชีรายชื่อพรรณไม้

ชื่อพรรณไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ความสูงเฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	จำนวนต้น
ราชพฤกษ์	*Cassia fistula*	*Fabaceae*	4	24	272
ยางนา	*Dipterocarpus alatus*	*Dipterocarpaceae*	7	21	141
ประดู่	*Pterocarpus macrocarpus*	*Fabaceae*	6	34	114
จามจุรี	*Samanea saman*	*Fabaceae*	8	71	113
ตะแบก	*Lagerstroemia floribunda*	*Lythraceae*	7	30	111
โมกมัน	*Wrightia arborea*	*Apocynaceae*	9	33	110
สัก	*Tectona grandis*	*Verbenaceae*	8	38	89
มะขาม	*Tamarindus indica*	*Fabaceae*	6	37	88
อินทนิล	*Lagerstroemia speciose*	*Lythraceae*	4	36	85
มะม่วง	*Mangifera indica*	*Anacardiaceae*	6	27	79
พญาสัตบรรณ	*Alstonia scholaris*	*Apocynaceae*	8	38	68
มะค่าแต้	*Sindora siamensis*	*Fabaceae*	7	36	50
อะราง	*Peltophorum dasyrachis*	*Caesalpiniaceae*	7	28	43
สะเดา	*Azadirachta indica*	*Meliaceae*	9	27	40
ลำไย	*Dimocarpus longan*	*Sapindaceae*	6	30	33
สน	*Pinus kesiya Royle ex Gordon*	*Pinaceae*	5	26	31
กระถินเทพา	*Acacia mangium*	*Fabaceae*	6	38	29
รัง	*Shorea siamensis Miq.*	*Dipterocarpaceae*	5	27	26
ลิ้นจี่	*Litchi chinensis*	*Sapindaceae*	4	18	24
หูกระจง	*Terminate ivorensis A. Chev.*	*Combretaceae*	3	19	24
เต็ง	*Shorea obtusa*	*Dipterocarpaceae*	5	42	23
กฤษณา	*Aquilaria crassna Pierre ex Lec.*	*Thymelaeaceae*	5	25	23
ขี้เหล็ก	*Senna siamea*	*Fabaceae*	10	29	22
ตะโก	*Diospyros ebenum*	*Ebenaceae*	6	30	22
นนทรี	*Peltophorum pterocarpum*	*Fabaceae*	5	30	21
เปล้า	*Croton persimilis Müll.Arg.*	*Euphorbiaceae*	5	22	19
ข่อย	*Streblus asper*	*Moraceae*	8	33	18
ไทร	*Ficus Benjamina L.*	*Moraceae*	3	35	17
ทองกวาว	*Butea monosperma*	*Fabaceae*	6	49	14
กระท้อน	*Sandoricum koetjape (Burm.f.) Merr.*	*Meliaceae*	6	29	13
หมีเหม็น	*Litsea glutinosa*	*Lauraceae*	10	42	12
มะม่วงหิมพานต์	*Anacardium occidentale*	*Anacardiaceae*	5	50	11
หางนกยูงไทย	*Caesalpinia pulcherrima*	*Fabaceae*	3	43	11
ดอกแค	*Sesbania grandiflora*	*Fabaceae*	6	34	10
ตะคร้อ	*Schleichera oleosa (Lour.) Merr*	*Sapindaceae*	3	8	10
.....					.....
รวม					**1927**

มวลชีวภาพของพรรณไม้

มวลชีวภาพเป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงอันเป็นกระบวนการการเติบโตของพืช ซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องตราบเท่าที่ต้นไม้ยังมีชีวิตอยู่ จากการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน คือส่วนที่เป็น กิ่ง ลำต้น และใบของไม้ยืนต้น พบว่าต้นไม้ที่มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน (*Wrightia arborea*) ต้นสัก (*Tectona grandis*) ต้นมะขาม

(*Tamarindus indica*) และต้นพญาสัตบรรณ (*Alstonia scholaris*) มีค่าเท่ากับ 151.00, 39.97, 36.63, 29.47 และ 26.35 ตัน ตามลำดับ และปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมทั้งหมด เท่ากับ 555.40 ตัน คิดเป็น 0.95 ตันต่อไร่ และการศึกษามวลชีวภาพใต้พื้นดิน คือ ส่วนรากของต้นไม้ พบว่าต้นไม้ที่มีมวลชีวภาพใต้พื้นดินมากที่สุด คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และต้นพญาสัตบรรณ มีค่าเท่ากับ 40.77, 10.79, 9.89, 7.96 และ 7.11 ตัน ตามลำดับ ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินรวมทั้งหมด เท่ากับ 149.96 ตัน คิดเป็น 0.25 ตันต่อไร่ ดังนั้นต้นไม้ที่มีปริมาณมวลชีวภาพรวมมากที่สุดห้าอันดับแรก คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และต้นพญาสัตบรรณ มีค่าเท่ากับ 191.77, 50.76, 46.52, 37.43 และ 33.46 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) และมีปริมาณมวลชีวภาพรวมของไม้ยืนต้นทั้งหมด คือ 705.35 ตัน คิดเป็น 12.18 ตันต่อไร่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเป็นรายต้น พบว่า ต้นจามจุรีมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด คือ 1.70 ตันต่อต้น รองลงมาคือ ต้นโพธ์ 1.67 ตันต่อต้น และต้นตะเคียน 1.40 ตันต่อต้น ตามลำดับ เนื่องจากต้นจามจุรีเป็นพรรณไม้โตเร็ว มีขนาดใหญ่ มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงมากที่สุดทำให้มีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด มีผลการศึกษาไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Kliangsaard et al., (2020) [5] ทั้งนี้มวลชีวภาพของต้นไม้แต่ละชนิด มีการแปรผันขึ้นอยู่กับปัจจัยทางพันธุกรรม ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และอายุของต้นไม้ชนิดนั้น [12] มวลชีวภาพเป็นผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพืชสีเขียวซึ่งมีคลอโรฟิลล์เป็นส่วนประกอบหลักในใบพืช จึงมีประโยชน์ต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นทั้งทางตรงและทางอ้อม กระบวนการสร้างมวลชีวภาพยังช่วยให้เกิดสมดุลระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และช่วยลดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจัยหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน และจากปริมาณมวลชีวภาพสามารถประเมินปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในต้นไม้นั้นได้อีกด้วย [13]

การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้

ผลการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ พบว่า ต้นไม้ที่มีการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และพญาสัตบรรณ มีปริมาณรวม คือ 90.13, 23.86, 21.86, 17.59 และ15.73 ตันคาร์บอน ตามลำดับ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นรวมทั้งหมด เท่ากับ 331.52 ตันคาร์บอน คิดเป็น 0.57 ตันคาร์บอนต่อไร่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนเป็นรายต้น พบว่า ต้นจามจุรีมีการกักเก็บมากที่สุด คือ 0.97 ตันคาร์บอนต่อต้นต่อปี รองลงมาคือต้นโพธ์ เท่ากับ 0.78 ตันคาร์บอนต่อต้นต่อปี และต้นตะเคียน เท่ากับ 0.66 ตันคาร์บอนต่อต้นต่อปี ตามลำดับ ชนิดพันธุ์ไม้ที่มีศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และพญาสัตบรรณ มีปริมาณรวม 330.49, 87.48, 80.17, 64.50 และ 57.67 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ยืนต้นรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,215.56 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ คิดเป็น 2.10 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ พบว่า ต้นจามจุรีมีค่ามากที่สุด คือ 2.92 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อต้นต่อปี รองลงมาคือต้นโพธ์ 2.90 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อต้นต่อปี และต้นตะเคียน 2.42 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อต้นต่อปี ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้แต่ละชนิดเป็นผลมาจากความแตกต่างของมวลชีวภาพ คือขนาดของ DBH ที่วัดได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพดิน ปริมาณฝน ไฟป่า มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณของมวลชีวภาพของต้นไม้ [14] กล่าวคือ ถ้าต้นไม้มีมวลชีวภาพมากก็สามารถมีผลต่อปริมาณคาร์บอนสะสมและปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ไม้ต้นที่มีขนาดใหญ่มีมวลชีวภาพมากกว่า มีปริมาณคาร์บอนสะสม และปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแม้จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า [15] และการปลูกไม้โตเร็วยังมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูง เมื่อเทียบกับไม้อื่นในระยะเวลาปลูกที่เท่ากัน เช่น นนทรี จามจุรี กาสะลอง พญาสัตบรรณ และหูกวาง เป็นต้น [5] ควรปลูกเพิ่มให้มีมากขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่

ตารางที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ชื่อพรรณไม้	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ตัน)	มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ตัน)	มวลชีวภาพรวม (ตัน)	คาร์บอนกักเก็บ (ตัน)	คาร์บอนดูดซับ (ตัน)
จามจุรี	151.00	40.77	191.77	90.13	330.49
โมกมัน	39.97	10.79	50.76	23.86	87.48
สัก	36.63	9.89	46.52	21.86	80.17
มะขาม	29.47	7.96	37.43	17.59	64.50
พญาสัตบรรณ	26.35	7.11	33.46	15.73	57.67
ประดู่	26.17	7.07	33.23	15.62	57.27
ตะแบก	23.18	6.26	29.44	13.83	50.73
ราชพฤกษ์	18.95	5.12	24.07	11.31	41.49
ยางนา	17.42	4.70	22.13	10.40	38.13
อินทนิล	15.41	4.16	19.58	9.20	33.74
กระถินเทพา	13.49	3.64	17.13	8.05	29.52
มะค่าแต้	12.77	3.45	16.22	7.62	27.95
มะม่วง	11.19	3.02	14.21	6.68	24.49
ทองกวาว	8.85	2.39	11.24	5.28	19.37
อะราง	8.22	2.22	10.44	4.91	17.99
สะเดา	8.18	2.21	10.39	4.88	17.90
ลำไย	7.70	2.08	9.77	4.59	16.84
หมีเหม็น	7.21	1.95	9.16	4.30	15.78
โพธิ์	6.61	1.78	8.40	3.95	14.47
กฤษณา	6.43	1.74	8.17	3.84	14.08
ตะโก	6.02	1.63	7.65	3.59	13.18
ข่อย	5.89	1.59	7.48	3.52	12.89
หางนกยูงไทย	4.94	1.33	6.27	2.95	10.80
ยางเหียง	4.87	1.32	6.19	2.91	10.66
สน	4.64	1.25	5.90	2.77	10.16
ขี้เหล็ก	4.36	1.18	5.53	2.60	9.54
นนทรี	4.22	1.14	5.36	2.52	9.23
รัง	3.40	0.92	4.32	2.03	7.45
กระบก	3.36	0.91	4.27	2.01	7.36
ไทร	3.16	0.85	4.02	1.89	6.92
กระท้อน	3.11	0.84	3.94	1.85	6.80
สมอพิเภก	2.98	0.81	3.79	1.78	6.53
ตะคร้อ	2.97	0.80	3.77	1.77	6.49
กระถินณรงค์	2.64	0.71	3.35	1.57	5.77
หว้า	2.60	0.70	3.31	1.55	5.70
มะกอก	2.56	0.69	3.25	1.53	5.61
มะค่าโมง	2.37	0.64	3.01	1.42	5.19
เต็ง	2.36	0.64	3.00	1.41	5.17
มะม่วงหิมพานต์	1.97	0.53	2.50	1.18	4.31
พะยูง	1.39	0.38	1.77	0.83	3.05
เปล้า	1.32	0.36	1.68	0.79	2.90
เสม็ดแดง	1.23	0.33	1.57	0.74	2.70
ตะเคียน	1.11	0.30	1.40	0.66	2.42
หูกระจง	0.94	0.25	1.19	0.56	2.05
ลิ้นจี่	0.89	0.24	1.13	0.53	1.94

ตารางที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร (ต่อ)

ชื่อพรรณไม้	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ตัน)	มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ตัน)	มวลชีวภาพรวม (ตัน)	คาร์บอนกักเก็บ (ตัน)	คาร์บอนดูดซับ (ตัน)
ติ้ว	0.89	0.24	1.12	0.53	1.94
มะหวด	0.59	0.16	0.75	0.35	1.29
ขนุน	0.56	0.15	0.71	0.33	1.22
ยูคาลิปตัส	0.39	0.11	0.50	0.23	0.86
เปือย	0.36	0.10	0.46	0.22	0.79
หูกวาง	0.34	0.09	0.43	0.20	0.74
มะกอกน้ำ	0.27	0.07	0.34	0.16	0.59
พลับพลา	0.25	0.07	0.31	0.15	0.54
กาสะลอง	0.22	0.06	0.28	0.13	0.49
เงาะ	0.15	0.04	0.19	0.09	0.33
มะยม	0.13	0.03	0.16	0.08	0.28
มะปราง	0.11	0.03	0.14	0.07	0.24
ส้มโอ	0.09	0.02	0.12	0.05	0.20
สะเดาอินเดีย	0.07	0.02	0.09	0.04	0.16
จำปี	0.07	0.02	0.09	0.04	0.15
ดอกแค	0.07	0.02	0.09	0.04	0.15
ชมพู่	0.06	0.02	0.08	0.04	0.13
มะรุม	0.05	0.01	0.06	0.03	0.10
กันเกรา	0.04	0.01	0.05	0.02	0.09
งิ้ว	0.04	0.01	0.05	0.02	0.08
ยางอินเดีย	0.03	0.01	0.04	0.02	0.07
มะกล่ำต้น	0.03	0.01	0.04	0.02	0.06
พิกุล	0.03	0.01	0.03	0.02	0.06
ตะขบ	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05
มันปู	0.02	0.01	0.03	0.01	0.04
มังคุด	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
รวม	**555.40**	**149.96**	**705.35**	**331.52**	**1215.56**

สรุป

ชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พบทั้งสิ้น 71 ชนิด 31 วงศ์ โดยวงศ์ที่พบมากที่สุดคือ Fabaceae ชนิดพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ ต้นราชพฤกษ์ ต้นยางนา ต้นประดู่ ต้นจามจุรี และต้นตะแบก ต้นไม้ที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด คือ ต้นเสม็ดแดง ต้นมะกอก ต้นกระบก ต้นยางเหียง ต้นหมีเหม็น และต้นตะโก มีความสูงอยู่ที่ 10-11 เมตร และต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุด คือ ต้นติ้ว ต้นจามจุรี ต้นตะเคียน ต้นสมอพิเภก และต้นโพธิ์ ต้นไม้ที่มีปริมาณมวลชีวภาพรวมมากที่สุด คือ ต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และต้นพญาสัตบรรณ ปริมาณมวลชีวภาพรวมทั้งหมด คิดเป็น 12.18 ตันต่อไร่ การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด พบในต้นจามจุรี ต้นโมกมัน ต้นสัก ต้นมะขาม และพญาสัตบรรณ คิดเป็น 0.57 ตันคาร์บอนต่อไร่ ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ยืนต้นรวมทั้งหมดคิดเป็น 2.10 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ ดังนั้นไม้ยืนต้นมีบทบาทสำคัญในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเขตเมืองได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ในการสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2017. Climate change 2007: Syn-thesis Report. Retrieved from: https://www. ipcc.ch/report/ar4/syr/, February 2, 2024.

[2] Jantawong, K., Elliott, S. and Wangpakapattanawong, P. 2017. Above-ground carbon sequestration during restoration of upland evergreen forest in Northern Thailand. Open Journal of Forestry. 7: 157-171.

[3] Hanpattanakit, P., Kongsaenkaewa, P., Pocksorna, A., Thanajaruwittayakorna, W., Detchairita, W. and Limsakulb, A. 2022. Estimating carbon stock in biomass and soil of young eco-forest in urban city, Thailand. Chemical Engineering Transactions. 97: 427-432.

[4] Kanhom, B., Moungsrimuangdee, B., Waiboonya, P., Yodsa-nga, P. and Larpkern, P. 2019. Plant diversity and biomass carbon stocks of Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province. Thai Journal of Forestry. 38(2): 41-55.

[5] Kliangsaard, T., Puangchit, L. and Suanpaga, W. 2020. Carbon dioxide sequestration and carbon storage in trees at the Santiphap park, Bangkok. Thai Journal of Forestry. 39(1): 86-96.

[6] Kesornbua, P., Hongkaew, A. and Salukkham, E. 2022. Modelling of the predictive carbon storage in Para rubber plantation by using sentinel-2A data. Advanced Science Journal. 22(1): 61-77.

[7] Tor-ngern, P. and Leksungnoen, N. 2020. Investigating carbon dioxide absorption by urban trees in a new park of Bangkok, Thailand. BMC Ecology. 20(20): 1-10.

[8] Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira, T. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant biomass. Nature and Life in Southeast Asia. 4: 49-80.

[9] Faculty of Forestry. 2010. Study of the characteristics of plants greenhouse gas adsorption and suitable area size for CDM. Final report. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Bangkok.

[10] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. International Panel on Climate Change. IGES, Hayama, Japan.

[11] Ounkerd, K., Sunthornhao, P. and Puangchit, L. 2016. Valuation of carbon stock in trees at Khao Wong community forest, Chaiyaphum province. Thai Journal of Forestry. 34(1): 29-38.

[12] Nualngam, S. 2002. Role of reforestation on carbon sink at reafforestation research and training station, Changwat Nakhon Ratchasima. M.S. Thesis, Kasetsart University.

[13] Sahunalu, P. 2009. Estimating plant and forest biomass. Journal of Forest Management. 3(5): 63-88.

[14] Temwut, S. and Chaitieng, T. 2021. Biomass and carbon stock of trees in the Plant Genetic Conservation and Returning of Wild Animals Project in Kalasin University (Namon Area). Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning. 12(1): 150-159.

[15] Pimsawan, A., Insamran, Y. and Uttaruk, Y. 2562. Community structure, diversity, and carbon sequestration in biomass of community forests; Ban Hinlad and Ban Hinlad-Kao Noi, Wang Nang subdistrict, Mueang district, Maha Sarakham province. King Mongkut's Agricultural Journal. 37(1): 88-96.

09R1-06

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควัน

The Carbon Footprint for Organization Assessment: Case Study Standard Thai Rubber and Ribbed Smoked Sheet Industry

ธนาธิป มายูร[1] ปาร์ย อรรถพิสาล[2] และ กิติโรจน์ หวันตาหลา[3*]

Tanatip Mayoon[1] Py Attpisarn[2] and Kitirote Wantala[3*]

[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

[2]รองประธานเจ้าหน้าที่บริหารสายงานพัฒนาธุรกิจ บริษัทนอร์ทอีส รับเบอร์ จำกัด (มหาชน) บุรีรัมย์ 31140

[3*]รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

[*]โทรศัพท์ : 081 499 5370, Email : kitirote@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควัน เพื่อใช้เป็นแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร และแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกของโรงงานผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควันในอนาคตต่อไป โดยใช้หลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประเมินองค์กรแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มีการผลิตยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางผสม โดยกำลังการผลิตรวม 465,600 ตัน พบว่าในปี พ.ศ.2564 องค์กรดังกล่าวนั้นมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 เท่ากับ 9,036 16,814 และ 92,985 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ ซึ่งรายการที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 มากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลว และน้ำมันดีเซล ตามลำดับ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 2 นั้นมาจากการใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น ในส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 ส่วนใหญ่เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบเพื่อการผลิต อย่างไรก็ตามเมื่อคิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงขององค์กรและการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในปี พ.ศ. 2564 พบว่ามีการปลดปล่อยเท่ากับ 0.0656 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร; ก๊าซเรือนกระจก; โรงงานยางแท่ง; โรงงานยางแผ่นรมควัน; ยางแท่ง

Abstract

This research aims to evaluate the carbon footprint of a rubber manufacturing organization producing ribbed smoked sheet and blocks, with the objective of providing guidelines for assessing organizational carbon footprints and future greenhouse gas emissions reduction strategies. Using the principles from Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) or TGO, one organization located in the province of Buriram, with a combined production capacity of 465,600 tons, was evaluated. The study found

that in the year 2021, the organization emitted 9,036, 16,814, and 92,985 tons carbon dioxide equivalent (ton-CO_2eq) within scope 1, 2, and 3, respectively. The top three contributors to emissions within scope 1 were the use of liquid petroleum gas (LPG), liquid natural gas (LNG), and diesel fuel, respectively. Emissions within scope 2 primarily stemmed from electricity consumption. In scope 3, emissions were mainly attributed to raw material procurement for production. However, when considering direct and energy consumption greenhouse gas emissions per unit of product manufactured in 2021, the organization emitted 0.0656 ton-CO_2eq/ton-Product.

Keywords : Carbon footprint of organization; Greenhouse gas emissions Block rubber factory; Ribbed smoked sheet factory; STR20

บทนำ

ปัญหาภาวะโลกร้อนนั้นเป็นปัญหาสากลที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก หากอุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นสูงกว่า 1.5 - 2.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2523 - 2542 จะทำให้พืชและสัตว์หลายสายพันธุ์ทั่วโลกประมาณร้อยละ 20 - 30 เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ปะการังจะเกิดการฟอกขาวและตายเป็นวงกว้าง สภาพอากาศจะเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จะเกิดอุทกภัยรุนแรงขึ้นกว่าอดีต [1] ซึ่งประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศที่มีความรุนแรงเป็นอันดับ 9 ของโลก [2] อย่างไรก็ตามทางนานาชาติได้ตระหนักถึงปัญหาด้านก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อโลกมาอย่างยาวนาน โดยในปี พ.ศ.2531 มีการจัดตั้งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) เพื่อให้เป็นหน่วยงานกลางสำหรับการให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการให้ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังมีการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Conference of the Parties to the UNFCCC หรือ COP) เพื่อติดตามผลการดำเนินการด้านก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเทศสมาชิก ในการประชุมครั้งที่ 26 ที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ประกาศตนว่าจะนำประเทศสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ.2593 [3] ด้วยเหตุนี้องค์กรต่าง ๆ จึงให้ความสนใจต่อปัญหาด้านก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น และมีความประสงค์ที่จะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรตนเองลงเพื่อให้ตอบรับกับแนวทางของประเทศ

ในประเทศไทยนั้นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งเป็น 4 ภาคส่วนได้แก่ ภาคพลังงาน ภาคเกษตรกรรม ภาคของเสีย และอีกภาคส่วนที่สำคัญคือภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 38,301.21 จิกะตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10.28 ของทั้งประเทศ [4] หากกล่าวถึงอุตสาหกรรมของประเทศไทย จะหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยที่จะกล่าวถึงอุตสาหกรรมยางพารา เนื่องจากปี พ.ศ.2560 ที่ผ่านมาประเทศไทยมีผลผลิตยางพาราประมาณ 4.56 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 35.90 ของผลผลิตยางพาราโลก และเป็นประเทศที่มีผลผลิตยางพารามากเป็นอันดับ 1 ของโลก [5] อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังไม่มีแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกขององค์กรที่ผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควันในปัจจุบัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควัน เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา และเป็นแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตยางแท่งและยางแผ่นรมควันในประเทศไทยตลอดจนใช้เป็นแนวทางเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้จะประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรประจำปี พ.ศ.2564 ของบริษัทนอร์ทอีส รับเบอร์ จำกัด (มหาชน) และนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลงานวิจัย เบื้องต้นองค์กรดังกล่าวมีการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน และยางผสม เพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณก๊าซเรือนกระจกขององค์กร งานวิจัยนี้จะใช้ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอฟุตพริ้นท์ขององค์กร [5] โดยบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. เพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวมี

ความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถนำไปใช้ให้เกิดประประโยชน์ในแง่ของการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรได้ โดยมีวิธีการตามหลักการต่อไปนี้

หลักการแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

ความตรงประเด็น งานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลและวิธีการเพื่อเลือกแหล่งกำเนิด ดูดกลับ กักเก็บ ก๊าซเรือนกระจกที่ตรงกับความจำเป็นในการใช้งาน รวมถึงวิธีในการวัดและการคำนวณก็จะทำให้เหมาะสมกับสถานภาพขององค์กร ทั้งนี้การเก็บรวบรวม พิจารณา หรือประเมินนั้นจะสะท้อนถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในหรือเกี่ยวข้องกับองค์กร

ความสมบูรณ์ ข้อมูลที่นำมาประกอบการประเมินหรือพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในงานวิจัยนี้ จะจัดทำให้ครอบคลุมการปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดขององค์กร โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จัดทำนั้นต้องเป็นการปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กรหรือเกี่ยวเนื่องกับองค์กรเท่านั้น

ความไม่ขัดแย้ง เมื่อนำข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาพิจารณาแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะต้องสอดคล้องกัน มีที่มาที่ไป และต้องมีความเชื่อมโยงกัน ทั้งค่าที่ได้จากการคำนวณและเอกสารหลักฐานทั้งหมด

ความถูกต้อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีทางหรือกระบวนการที่ลดความไม่แน่นอนลง โดยเลือกใช้วิธีการคำนวณหรือชุดข้อมูลที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด กล่าวคือใช้ข้อมูลที่มาจากเครื่องมือวัดที่ผ่านการสอบเทียบ การอนุมัติจากผู้บริหาร และตรวจสอบเอกสารจากหน่วยงานภายนอก

ความโปร่งใส ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ถูกจัดทำขึ้นมานั้นสามารถตรวจสอบได้ เปิดเผยได้อย่างเหมาะสม รวมถึงหลักการที่ใช้ต้องชี้แจงได้ มีที่มาที่ไป สมเหตุสมผล เพื่อนำข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปใช้ต่อได้อย่างถูกต้อง

ชนิดและหน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ในการประเมินครั้งนี้จะพิจารณาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ซึ่งจะแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg-CO_2eq) หรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ton-CO_2eq)

กำหนดขอบเขตขององค์กร

การประเมินก๊าซเรือนกระจกในครั้งนี้ใช้แนวทางควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) เพื่อกำหนดขอบเขตองค์กร กล่าวคืองานวิจัยนี้จะประเมินก๊าซเรือนกระจกเฉพาะหน่วยงานที่อยู่ภายใต้อำนาจการควบคุมของ บริษัท นอร์ทอีส-รับเบอร์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ เพียงเท่านั้น

กำหนดขอบเขตของการดำเนินงานและการคำนวณ

รูปที่ 1 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

ขอบเขตของการดำเนินงานจะพิจารณา 5 โรงงานได้แก่ โรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 1 โรงงานยางผลิตยางแท่งแห่งที่ 2 โรงงานผลิตยางแผ่นรมควัน โรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ และอาคารสำนักงาน อย่างไรก็ตามในการประเมินครั้งนี้จะรวมกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับโรงงานดังกล่าวด้วย เช่น ระบบบำบัดน้ำเสีย การขนส่งสินค้า การนำเข้าวัตถุดิบ เป็นต้น เมื่อกำหนดขอบเขตแล้วจะต้องสร้างผังกระบวนการผลิตเพื่อให้ทราบถึงสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของแต่ละกระบวนการ ขั้นตอนถัดมาจะนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาว่าสารใดก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ลำดับสุดท้ายจะจำแนกสารดังกล่าวให้อยู่ในประเภทกิจกรรมหรือขอบเขต (Scope) ดังรูปที่ 1 เมื่อจำแนกแล้วจะเข้าสู่กระบวนการหาปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณ กล่าวคือจะมีการนำข้อมูลต่าง ๆ มาพิจารณาหาปริมาณของการใช้ทรัพยากรนั้น ๆ โดยต้องสอดคล้องกับค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ให้อยู่ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และดำเนินการดังสมการต่อไปนี้

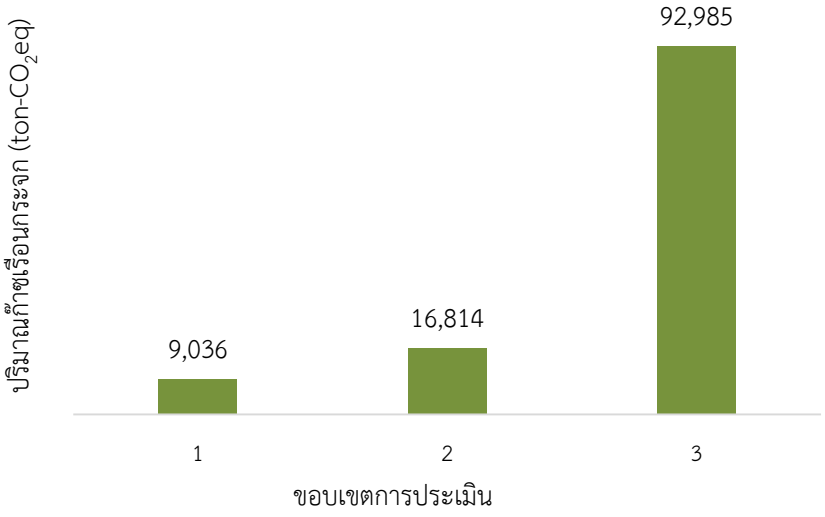
ปริมาณก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรมหรือทรัพยากรที่ใช้ x ค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (1)

ข้อมูลกิจกรรมหรือทรัพยากร รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจะต้องมีหลักฐานเพื่อสนันสนุนความน่าเชื่อถือของการประเมินในครั้งนี้ กล่าวคือหลักฐานทุกชนิดจะต้องเป็นลายลักษณ์อักษรให้วิเคราะห์หรือทวนสอบได้อย่างน้อย 2 ปี

ผลการทดลองและวิจารณ์

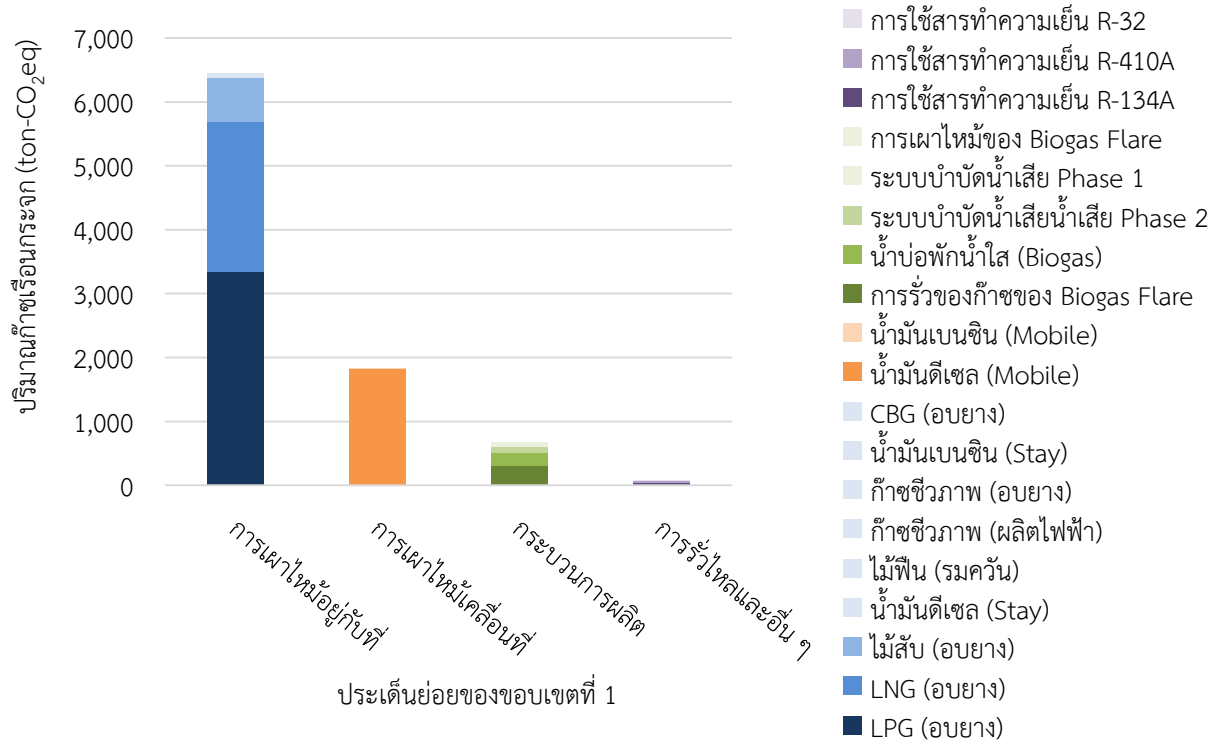
ผลการสำรวจองค์กรพบว่ามีกำลังการผลิตต่อปีอยู่ที่ 465,600 ตัน มีจำนวนพนักงานทั้งสิ้น 1,003 คน โดยมีพื้นที่ทั้งองค์กรประมาณ 178 ไร่ ซึ่งมีโรงงานผลิตทั้งสิ้น 4 โรงงาน ได้แก่ โรงงานผลิตยางแผ่นรมควัน ที่ผลิตยางแผ่นรมควัน (RSS) โดยใช้ไม้ฟืนเพื่อรมควันยางแผ่นดิบ ลำดับถัดมาคือโรงงานผลิตยางแท่งและยางผสมแห่งที่ 1 ที่ผลิตยางแท่ง (STR20) ยางแท่งผสม (Mixtures) และยางแผ่นรมควันผสมอัดแท่ง (RSS Compound) มีการใช้เชื้อเพลิงอยู่ 4 ชนิด คือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ก๊าซชีวภาพอัด (CBG) ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) และก๊าซชีวภาพ (Biogas) ในส่วนถัดมาคือโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 2 ที่ผลิตยางแท่งและยางแท่งผสม มีการใช้เชื้อเพลิงชนิดเดียวคือไม้สับ ลำดับสุดท้ายคือโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นโรงงานที่ใช้วัตถุดิบชีวภาพเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะส่งก๊าซชีวภาพไปยังโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 1 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ภายในองค์กร นอกจากนี้องค์กรยังมีสถานที่ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ได้แก่ อาคารสำนักงาน ลานเก็บวัตถุดิบ และระบบบำบัดน้ำเสีย 2 เฟส ซึ่งบางอาคารจะมีการติดตั้งโซล่ารูฟท็อปเพื่อช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางวัน

พ.ศ.2564 องค์กรที่ประเมินนั้นมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 เท่ากับ 9,036 16,814 และ 92,985 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ มียอดการผลิตรวมทั้งสิ้น 393,790 ตันผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็น ยางแผ่นรมควันอัดก้อน ยางแท่ง ยางแท่งผสม และยางแผ่นรมควันผสมอัดแท่ง อยู่ที่ 54,142 199,077 82,823 และ 57,748 ตันผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ โดยรายการกิจกรรมที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ภาพรวมผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

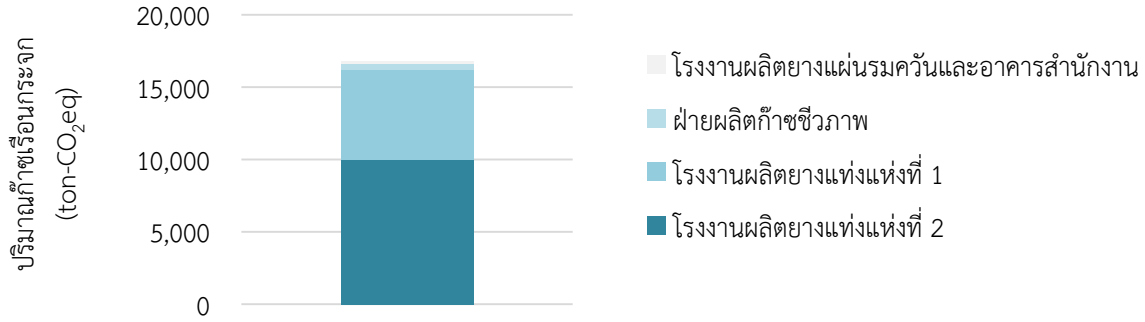
ขอบเขตที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงขององค์กร



รูปที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเด็นย่อย (Category) ของขอบเขตที่ 1

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 1 มากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลว และน้ำมันดีเซลแบบเคลื่อนที่ คิดเป็นก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 3,348 2,344 และ 1,821 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ เนื่องจากองค์กรดังกล่าวมีการผลิตยางแท่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ในกระบวนการผลิตนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเพื่ออบยางพาราให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้มีอยู่ 4 ชนิดได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซชีวภาพอัด และก๊าซชีวภาพ ทว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติเหลวมีการใช้ในปริมาณมากเนื่องจากองค์กรใช้เป็นเชื้อเพลิงหลัก หากมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง 2 ชนิดนี้ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพอัดหรือก๊าซชีวภาพแล้ว ก๊าซเรือนกระจกในประเด็นเหล่านี้จะลดลงเนื่องจากก๊าซดังกล่าวมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานความร้อนที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก็จะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ หากจะดำเนินโครงการดังกล่าวควรที่จะคำนึงในเงื่อนไขจุดนี้ ในส่วนของการใช้น้ำมันดีเซลแบบเคลื่อนที่ พบว่าองค์กรมีการใช้ยานพาหนะ เช่น รถโฟล์คลิฟต์ รถตักล้อยาง และรถขุดไฮดรอลิค ในการเคลื่อนย้ายยางวัตถุดิบและตักพลิกกองยางพาราอยู่เป็นประจำ จึงมีการใช้น้ำมันดีเซลในกิจกรรมดังกล่าวมาก ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่สูงเป็นอันดับต้น ๆ หากเปลี่ยนยานพาหนะดังกล่าวให้ใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทน จะทำให้ก๊าซเรือนกระจกในส่วนนี้ลดลงได้

ขอบเขตที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานขององค์กร



รูปที่ 4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละสถานที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้และผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละรายการกิจกรรมขององค์กร

รายการกิจกรรมการใช้และผลิตไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)
การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้ภายในองค์กร	
การใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 2	19,926,650
การใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 1	12,505,680
การใช้พลังงานไฟฟ้าฝ่ายผลิตก๊าซชีวภาพ	879,820
การใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานยางแผ่นรมควันและอาคารสำนักงาน	321,812
การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในองค์กร	
การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ	2,613,000
การผลิตไฟฟ้าจากโครงการโซล่ารูฟท็อป	1,238,746

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 2 ขององค์กรนั้น มาจากการใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น เครื่องสับย่อยยาง เครื่องรีดยาง เครื่องป้อนวัตถุดิบ เป็นต้น โดยเฉพาะโรงงานผลิตยางแท่งทั้ง 2 แห่ง รวมถึงโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพเช่นเดียวกัน จึงเป็นเหตุให้มีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบพบว่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 2 มากกว่าขอบเขตที่ 1 เกินหนึ่งเท่าตัว อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรนั้นมาจากการซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและจากการผลิตไฟฟ้าทดแทนใช้เอง ได้แก่ โครงการโซล่า-รูฟท็อปและโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำเข้า 33,633,962 หน่วย (kWh) คิดเป็นก๊าซเรือนกระจกดังรูปที่ 4 ทว่าหากพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งองค์กรจะอยู่ที่ 37,485,708 หน่วย จะเห็นได้ว่ามีส่วนต่างจากการใช้ทั้งอยู่กีอยู่ที่ 3,851,746 หน่วย ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ถูกผลิตขึ้นมาจากโครงการโซล่ารูฟท็อปและโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ ด้วยเหตุที่การใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเป็นพลังงานทดแทน จึงนับว่าเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์หลักขององค์กร พบว่าโรงงานผลิตยางแผ่นรมควัน โรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 1 และโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 2 มียอดการผลิตที่ 54,142 191,622 และ 148,026 ตันตามลำดับ เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนพบว่าแต่ละโรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 6 65 และ 135 หน่วยต่อตันผลิตภัณฑ์ หากพิจารณาในมุมมองของปริมาณก๊าซเรือนกระจก พบว่าในขอบเขตที่ 2 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 0.0030 0.0326 และ 0.0673 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการผลิตยางแผ่นรมควันจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการผลิตยางแท่ง อย่างไรก็ตามเมื่อปรียบเทียบการผลิตของโรงงานผลิตยางแท่งทั้ง 2 แห่ง พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางแท่งแห่งที่ 1 มีค่าน้อยกว่าเนื่องจากโรงงานทั้ง 2 แห่งมีการใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่แตกต่างกัน อีกทั้งโรงงานแห่งที่ 1 มีการใช้พลังงานทดแทน ในขณะที่โรงงานแห่งที่ 2 ใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำเข้าจากภายนอกเพียงอย่างเดียว

ขอบเขตที่ 3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ขององค์กร

ตารางที่ 2 ผลการพิจารณานัยสำคัญประเด็นย่อยของขอบเขตที่ 3

ประเด็นย่อย	เงื่อนในการพิจารณานัยสำคัญ (คะแนน)			
	ขนาด	ศักยภาพในการลด	โอกาสและความเสี่ยง	รวมถ่วงน้ำหนัก
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	5	3	3	3.9
การได้มาซึ่งเชื้อเพลิง	1	1	1	1.0
การขนส่งสินค้านำเข้า	5	1	1	2.8
การกำจัดขยะ	1	1	1	1.0
การเดินทางประกอบธุรกิจ	1	1	1	1.0
การเดินทางมาทำงานของพนักงาน	1	1	1	1.0
การส่งออกสินค้า	5	1	1	2.8
การผลิตของผลิตภัณฑ์สุดท้าย	5	1	1	2.8

ในขอบเขตที่ 3 ต้องพิจารณานัยสำคัญของประเด็นย่อยก่อนเสมอ กล่าวคือต้องมีเงื่อนไขในการประเมินว่าประเด็นย่อยใดสมควรถูกนำมาบรรจุลงในบัญชีก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งผลการจัดทำพบว่า พ.ศ.2564 มีประเด็นย่อยในขอบเขตนี้ทั้งสิ้น 8 รายการโดยมีเกณฑ์การประเมินอยู่ 3 เงื่อนไข ได้แก่ ขนาดของปริมาณก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเด็นย่อย ศักยภาพขององค์กรที่สารมารถลดก๊าซเรือนกระจกในประเด็นย่อยนั้น ๆ สุดท้ายคือโอกาสและความเสี่ยงที่ประเด็นย่อยนั้น ๆ มีผลต่อองค์กร โดย พ.ศ.2564 มีการถ่วงน้ำหนักการให้คะแนนในแต่ละเงื่อนไขร้อยละ 45 45 และ 10 ตามลำดับ โดยแต่ละเงื่อนไขการพิจารณานัยสำคัญก็จะมีเกณฑ์การให้คะแนนเฉพาะตัว และหากรวมคะแนนจากการถ่วงน้ำหนักแล้วมีค่าเกิน 3 คะแนน จะถือว่าประเด็นย่อยนั้น ๆ มีนัยสำคัญแก่การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ซึ่งได้ผลการพิจารณาดังตารางข้างต้น เมื่อดำเนินการพิจารณานัยสำคัญแล้ว พบว่ามีประเด็นย่อยที่ผ่านเกณฑ์หรือมีนัยสำคัญนั้นเพียง 1 ประเด็น คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ จึงได้ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร พ.ศ.2564 ในขอบเขตที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 3 ในแต่ละรายการกิจกรรมขององค์กร

รายการกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ton-CO_2eq)
การได้มาซึ่งวัตถุดิบตั้งต้น	
ยางเครฟ/ยางก้อนถ้วย	26,290
ยางคัตติ้งอัดก้อน	25,997
ยางแผ่นรมควัน	20,668
ยางแผ่นดิบ	14,483
ยางแท่งกึ่งสำเร็จรูป	3,893
ยางสกิมบล็อค	1,297
ยางสังเคราะห์	357

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 3 นับเฉพาะที่มาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบต่างๆ ได้แก่ ยางเครฟ/ยางก้อนถ้วย รวมยางคัตติ้งอัดก้อน และยางแผ่นรมควัน คิดเป็นก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 72,955 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เนื่องจากองค์กรเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพาราเพื่อจำหน่าย ดังนั้นการนำเข้าวัตถุดิบที่เป็นยาพาราจึงมีปริมาณมาก

พิจารณาจากภาพรวมผลการทดลองและวิจารณ์ข้างต้น เมื่อคิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงและการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรในปี พ.ศ.2564 ต่อผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิต 465,600 ตัน พบว่ามีการปลดปล่อยเท่ากับ 0.0656 ตัน-คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์ กล่าวคือทุก ๆ การผลิตผลิตภัณฑ์ 1 ตันจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในขอบเขตที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.0656 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

สรุป

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรดังกล่าวพบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบในขอบเขตที่3 สูงเป็นอันดับ 1 เนื่องจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบทั้งหมดจะมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกก่อนที่จะนำเข้าองค์กรอยู่แล้ว ประกอบกับองค์กรต้องใช้วัตถุดิบดังกล่าวเป็นจำนวนมาก จึงเป็นเหตุให้ก๊าซเรือนกระจกในประเด็นนี้มีปริมาณที่สูง ถัดมาเป็นส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับ 2 เนื่องจากองค์กรต้องอาศัยเครื่องจักรกลไฟฟ้าในการผลิตเป็นหลักโดยเฉพาะในส่วนของโรงงานผลิตยางแท่งทั้ง 2 แห่ง อย่างไรก็ตามในประเด็นนี้สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้าทดแทน ดังจะเห็นในงานวิจัยคือการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงการโซล่ารูฟท็อปและโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ อันดับที่ 3 เป็นส่วนของการใช้เชื้อเพลิงในขอบเขตที่ 1 เนื่องจากองค์กรต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อการผลิตโดยเฉพาะยางแท่ง รวมถึงต้องใช้ยานพาหนะเพื่อทุ่นแรงในการขนย้ายวัตถุดิบต่าง ๆ จึงก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมดังกล่าว ทว่าในส่วนของเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตนั้นสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ หากเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเช่น เปลี่ยนการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทน ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางพารา ซึ่งได้ให้ข้อมูลว่าก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตยางแท่งและยางแผ่น

รมควัน จะมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการผลิต และการใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะตามลำดับ [6]

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความอนุเคราะห์จากโครงการเครือข่ายการอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรม (Hi-FI) ซึ่งเป็นผู้ให้ทุนการศึกษาและสนับสนุนงบประมาณ โดยโครงการฯ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ในการนี้ขอขอบพระคุณบริษัทนอร์ทอีส รับเบอร์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและให้ทุนการศึกษา ลำดับสุดท้ายขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยตลอดจนองค์ความรู้ที่ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Yun Gao, Xiang Gao, Xiaohua Zhang. (2017). The 2 °C Global Temperature Target and the Evolution of the Long-Term Goal of Addressing Climate Change - From the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement. Engineering, 3(2): 272-278.

[2] David Eckstein, Vera Künzel, Laura Schäfer. (2021). Key Results of the Global Climate Risk Index 2021. In Joanne Chapman-Rose, Janina Longwitz. GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021. (p.13-15). Berlin: Germanwatch e.V.

[3] Ministry of Natural Resources and Environment. (n.d.). THAILAND FOURTH BIENNIAL UPDATE REPORT. N.P.: n.p.

[4] ปาริฉัตร เต็งสุวรรณ์ และอธิชา อินทอง และวรฤทัย สุนทรสนิท. (2565). ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยางพาราไทย ในตลาดสาธารณรัฐประชาชนจีน. วารสารนักบริหาร, 42(1): 79-93.

[5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2559). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : บริษัท พีทู ดีไซน์ แอนด์ พริ้นท์ จำกัด

[6] Warit Jawjit, Suwat Rattanapan. (2010). Greenhouse gas emissions from rubber industry in Thailand. Journal of Cleaner Production, 18 (2010): 403-411

09R1-07

การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากของเสียพลาสติกและผงไม้
Development of composite material from plastic and wood powder wastes

ณัฐภัทร หัชชะวณิช[1*] พิชญ รัชฎาวงศ์[2*] และ อนินท์ มีมนต์[3*]
Nattapat Hachavanich[1*] Pichaya Rachdawong[2*] and Anin Memon[3*]
[1*]นิสิตชั้นปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330
[2*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรร์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330
[3]รองศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[*]โทรศัพท์ : 081-377-4017, โทรสาร : - , E-mail : nattapatoff.h@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาไม้พลาสติก (WPC) จากพลาสติกเบลนระหว่าง พอลีสไตรีนรีไซเคิล (rPs) และ อีวีโอเอชรีไซเคิล(rEVOH) กับผงไม้ไผ่จากตะเกียบไม้ไผ่ (BB) โดยควบคมอัตราส่วน rPs ต่อ BB ต่อ rEVOH คือ rPs:rEVOH blend ที่ดีที่สุดต่อ BB ที่ 10,20,30,40 (%/w) เตรียมผงไม้ไผ่ ด้วยกระบวนการบดเชิงกล (Mechanical pulp, MP.) ผ่านตะแกรงร่อนขนาดเล็กกว่า 100 mesh

WPC เตรียมโดย เครื่องอัดรีดพลาสติกสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการ ฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติเชงกล (Mechanical properties) จากผลการทดลองพบว่า เม็ดพลาสติกเบลนเตรียมจาก rPs และ อี rEVOH ด้วยอัตราส่วน 80:20 นั้นให้ค่า Flexural strength และค่า tensile strength ดีที่สุดคือ 48.10 Mpa และ 20.42 Mps ตามลำดับ ส่วนค่า Impact strength สูตรที่ให้ค่าดีที่สุดคือ 30:70 โดยให้ค่าที่ 0.98 kj/m^2 โดยสูตรส่วนผสมที่เลือกในการทำงานวิจัยนี้คือ rPs: rEVOH ที่ 60:40 เนื่องจากถึงแม้ว่า ในสูตร 80:20 จะให้ค่า Flexural strength และค่า tensile strength สูงที่สุด แต่ค่า impact strength นั้นก็ต่ำที่สุดเช่นกันส่วนในสูตร 30:70 ถึงแม้จะให้ค่า impact strength สูงที่สุด แต่ค่า Flexural strength และค่า tensile strength นั้นก็ต่ำที่สุดมากเช่นกัน โดยเมื่อดูจากผลการทดลองที่กล่าวข้างต้น จึงทำให้ rPs: rEVOH ที่ 60:40 นั้นเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมี ส่วมผสมของเม็ด rPs ที่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นและมีค่า impact strength ทีมากกว่าสูตร 80:20 และมีค่า Flexural strength และค่า tensile strength ที่มากกว่าสูตร 30:70 ด้วยนั้นเอง

คำสำคัญ : พอลิสไตรีน (Polystyrene); ไม้พลาสติกคอมโพสิต (Wood plastic composites); รีไซเคิล (recycle)

บทนำ

พอลิสไตรีน (Polystyrene) โดยมีตัวย่อคือ PS โดย พอลิสไตรีนนั้นถูกผลิตขึ้นมาจากสไตรีนมอนอเมอร์ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที ได้จะได้จากกระบวนการทางปิโตรเลียมโดยถูกผลิตออก ขายครั้งแรกในช่วงปี 1930 เนื่องด้วยคุณสมบัติที่ มีน้ำหนักเบา,คุณสมบัติความเป็นฉนวน,มีความยืดหยุ่นกันแรงกระแทกได้ค่อนข้างดีจึงทำให้มีการนำพอลิสไตรีนนั้นไปสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ช้อนพลาสติก จาน,ชาม,กล่องบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นต้น แต่มีข้อเสียคือผลิตภัณฑ์มักจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แบบครั้งเดียวทิ้งซึ่งมี รายงานว่า โฟมพอลิสไตรีน จำนวนมากกว่า 1,000 ตันนั้นได้ถูกกำจัดออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นวัสดุเหลือใช้และปริมาณ เพิ่มขึ้นทุกปี[1] โฟมพอลิสไตรีนนั้นมีอัตราการรีไซเคิลที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากทำจากอากาศร้อยละ 98 และมีอัตราส่วนขนาดต่อน้ำหนักที่สูง[2] ทำให้มีปัญหา ทางด้านราคาของการขนส่งที่สูง นอกจากนั้นโฟม พอลิสไตรีน จะไม่สามารถย่อยสลาย ได้เองตามธรรมชาติ

พอลิเมอร์เบลนด์ (Polymer blend)คือการผสมกัน ทางกายภาพของพอลิเมอร์อย่างน้อย 2 ชนิด แล้วทำให้เกิด วัสดุชนิดใหม่ทีมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างไปจากเดิม โดย ประโยชน์ของพอลิเมอร์เบลนด์คือ 1.เกิดสมบัติใหม่ที่แตกต่าง จากพอลิเมอร์เดิม 2.ลดต้นทุนของวัสดุ 3.ทำให้ได้พอลิเมอร์ที มีสมบัติตามตองการโดยไมต้องผานกระบวนการสงเคราะห์ [3] โดยจากงานวิจัยเรื่อง โดยจากงานวิจัยของ Witold Brostow ได้มีการศึกษาในเรื่องของพอลิเมอร์ blend ระหว่าง พอลีพอพิลีน และ

พอลิสไตรีน โดยผลคือ ค่า Impact strength มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ พอลิพอพิลีน ที่เพิ่มขึ้น และ มีค่ามากกว่า ตัวพอลิไสตีนบริสุทธิ์อีกด้วย[4]

ในปัจจุบันตะเกียบไม้ในไทยนั้นมักจะมีการผลิตมาจาก “ไม้ไผ่”โดยอ้างอิงจากข้อมูล เว็บไซต์ของ กรมโรงงานอุตสาหกรรม [5] โดยในการนำไม้ไผ่นำไปทำในเรื่องของ “ไม้พลาสติก คอมโพสิต”ตัวผงไม้ไผ่สามารถที่จะนำไปใช้เป็นสาร filler ได้ โดยสาร filler คือสารที่ ใส่เพื่อลดต้นทุน และ ปรับปรุงสมบัติเชิงกลเช่น ทนแรงกด ทนแรงกระแทก ทนแรงดัด เนื่องจากในตัวของไม้ไผ่นั้นประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) กว่าร้อยล่ะ 60-70 จึงทำให้มันมี คุณสมบัติเชิงกลที่ดี, ต้นทุนต่ำ,ความหนาแน่นต่ำ, เป็นมิตรต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้สามารถนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม [7] ค่าสมบัติทางกลของ ไม้ไผ่ โดยมีค่า ความต้านทานแรงดึง อยู่ที่ 290 เมกะ ปาสคาล ค่า ยังโมดุลัสอยู่ ที่17 กิกะปาสคาล และมีความหนาแน่นแค่ 1.25 g/cm3 เป็นรองแค่ ชาน อ้อย (Bagasse) เท่านั้น[8]

ไม้พลาสติกคอมโพสิต (Wood plastic composites) หรือ ไม้เทียม เป็นการนำพลาสติกรี ไซเคิลนั้นมาผสมกับผงไม้เพื่อที่จะทำการผลิตเป็นแผ่นไม้พลาสติกคอมโพสิตซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้นแบ่งประเภทไม้พลาสติกคอมโพสิตได้เป็น 2 ประเภท โดย ประเภทแรกคือเป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างเช่น ขอบหน้าต่าง วงกบ,ประตู และโครงกรอบต่างๆ ประเภท ที่สองคือ ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง เช่น แผงรอบ แผ่นพื้น ประตู และ ผนัง [9] ในการศึกษานี้จึงจะมุ่งเน้นในการทดสอบหาสูตร ส่วนผสมของไม้พลาสติกคอมโพสิตที่เกิดจากระหว่าง เม็ดพลาสติกผสม ระหว่าง Ps กับ EVOH และ ผงไม้ไผ่จากตะเกียบไม้เหลือทิ้งเพื่อจะผลิตไม้พลาสติกคอมโพสิตที่จะให้ค่า สมบัตเชิงกลดีที่สุดเพื่อที่สามารถนำไปใช้สร้างแผ่นปูพื้นในอาคาร

อุปกรณ์และวิธีการ

-การเตรียมผงไม้ไผ่จากกระบวนการเชิงกล (Mechanical pulp; MP.)

นำตะเกียบไม้ไผ่มาตัดเป็นสี่ส่วนเล็กจากนั้นนำไปเข้าเครื่องบด (Power grinder) ตากให้แห้งจากนั้นนำไปคัดแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh เพื่อนำไปผสมสูตรไม้พลาสติก

รูปภาพที่ 1 เครื่องบด (Power grinder)

- การผสมและการขึ้นรูปตัวอย่าง

ผสมสตรไม้พลาสติก เครื่องอัดรีดพลาสติกสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการ ฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ที่อณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) โดย ทดสอบ สมบัติการต้านทานแรงดึง(tensile strength) และแรงดัด(Flexural strength) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์(Universal Testing Machine, UTM) ตามมาตรฐานของ มอก.966-2547 และ ISO 178 ตามลำดับ ทดสอบ สมบัติการต้านแรงกระแทก(Impact strength) ด้วยเครื่อง Impact test machine ตามมาตรฐาน ISO 179-1

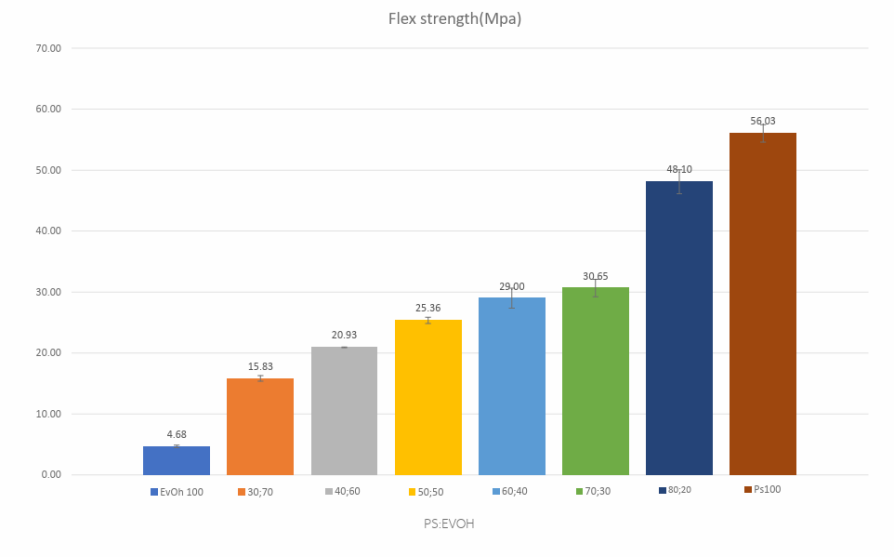
รูปภาพที่ 2 Twin Screw Extruder

รูปภาพ 3 Injection Molding Machine

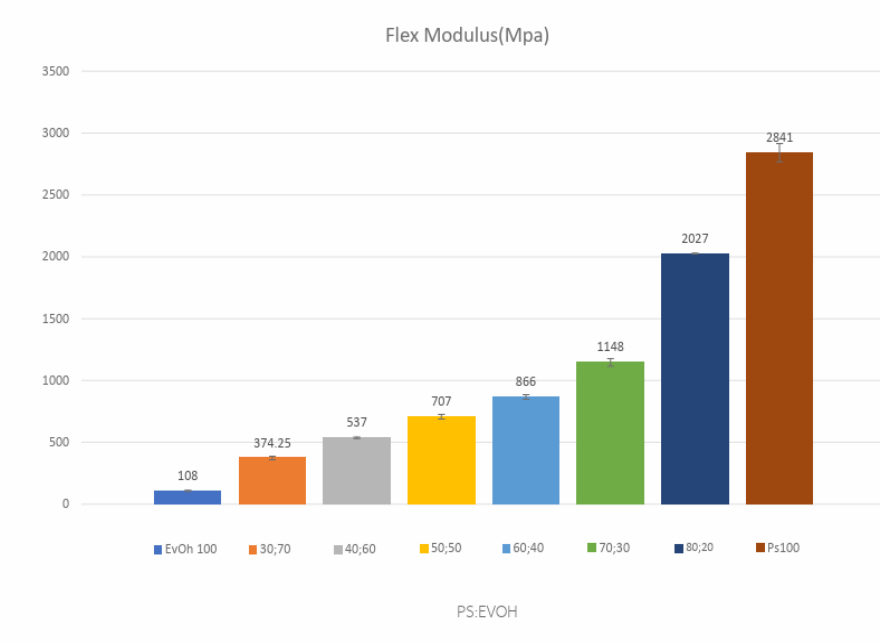
ผลการทดลองและวิจารณ์

โดยจากการผสมเม็ด rPs และ เม็ด rEVOH ตามผลการทดลองที่กล่าวไปขั้นต้น ผลคือในส่วนของค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength นั้น ค่าสูตร 80:20 จะให้ค่าสูงที่สุดคือ 56.03 Mpa, 2841 Mpa และ 20.42 ตามลำดับ และในส่วนของค่า impact strength สูตรที่ให้ค่าสูงที่สุดคือ rPs: rEVOH ที่ 30:70 โดยให้ค่า 0.98 kj/m^2 โดยเมื่อเราดูจากค่า Flexural strength และ ค่า impact strength เป็นสำคัญจะทำให้เห็นได้ว่า สูตร 80:20 นั้นแม้จากมีค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength สูงที่สุด แต่ค่า Impact strength นั้นก็มีค่าที่ต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน และสูตร 30:70 ถึงแม้จะให้ค่า Impact strength ที่สูงที่สุด แต่ก็ให้ค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength นั้นต่ำมากที่สุดด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้สูตร rPs: rEVOH ที่ 60:40 นั้นมีความน่าสนใจมากที่สุดเนื่องจากมีส่วนผสมของเม็ด rPs มากกว่า 50 เปอร์เซ็น และมีค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength ที่มากกว่าสูตร 30:70 และมีค่า Impact strength ที่มากกว่าสูตร 80:20 นั้นเอง

(a

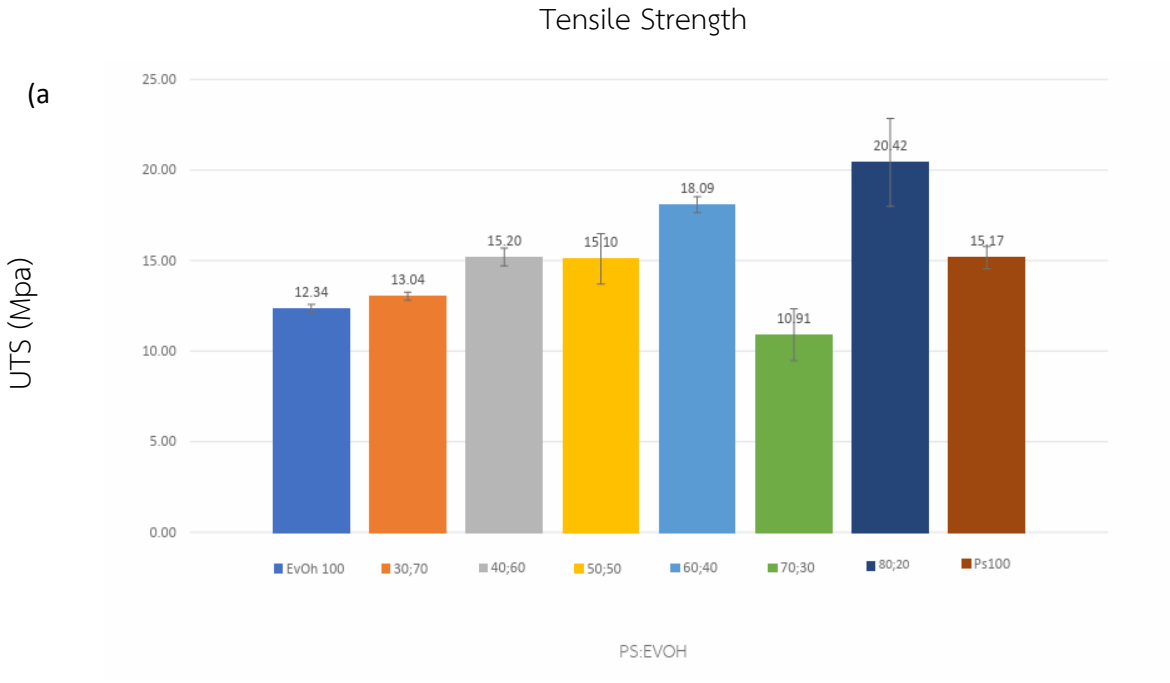


(b

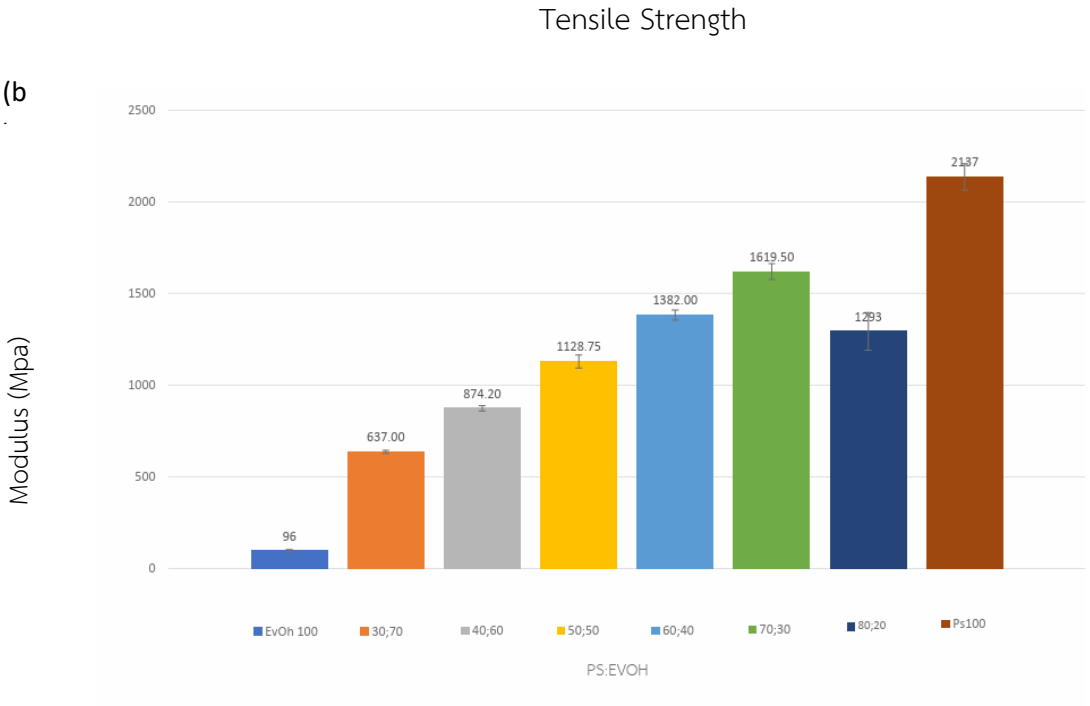


รูปภาพที่ 4 (a)Flexural strength (b) Flexural modulus

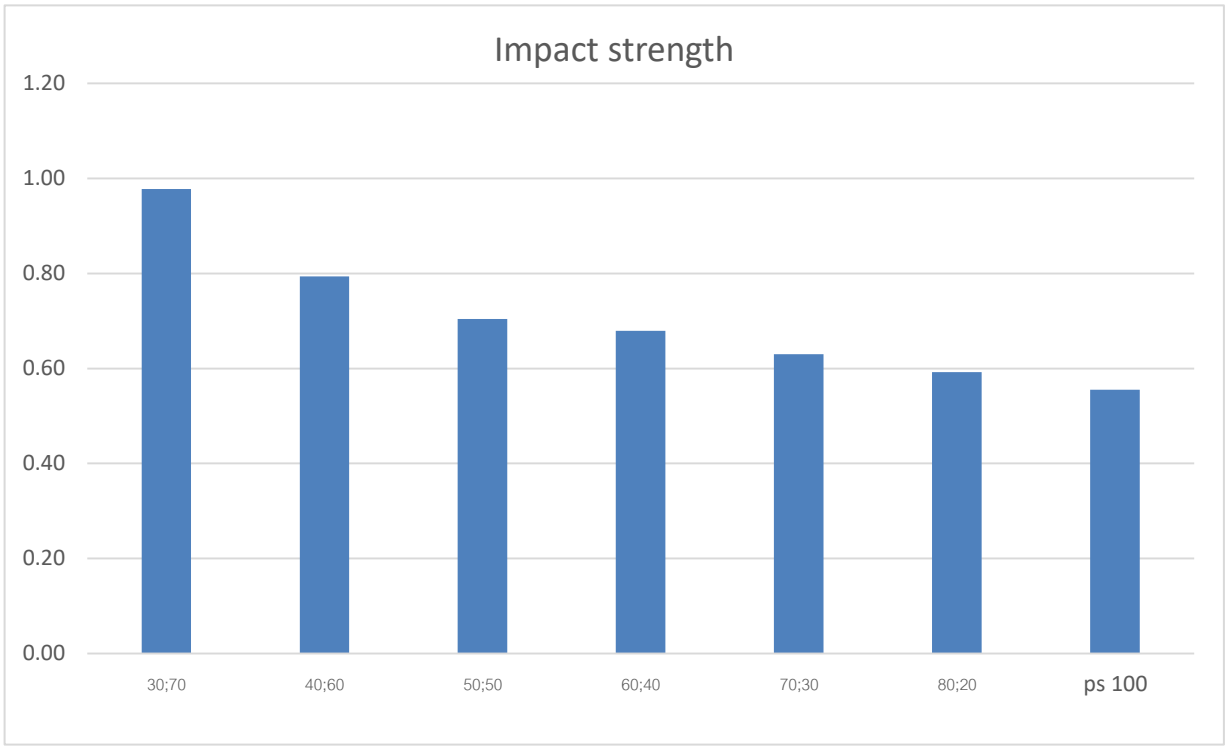
(a



(b



รูปภาพที่ 5 *a)* Tensile *strength (b)* Tensile *modulus*



รูปภาพที่ 6 impact strength

สรุป

จากผลการทำเม็ดพลาสติกเบลนระหว่าง rPs และ rEVOH โดยอัตราส่วนระหว่าง rPs: rEVOH ที่ใช้ผสมกับผงไม้ไผ่สำหรับการทำไม้พลาสติกคอมโพสิตที่เหมาะสมที่สุดคือที่ อัตราส่วน Ps:EVOH ที่ 60:40 (% w/w) เนื่องจากมีส่วนผสมของ rPs มากกว่า 60 เปอร์เซ็น และมีอัตราส่วนของ rEVOH ในระดับที่พอดีให้มีค่าความแข็งแรง และ เนื่องจากเราจะเห็นได้ว่า สูตร 80:20 นั้นแม้จากมีค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength สูงที่สุด แต่ค่าของ Impact strength นั้นกลับมีค่าต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน และในส่วนของสูตร 30:70 ถึงแม้ว่าจะให้ค่า Impact strength ที่สูงที่สุด แต่กลับกันก็จะให้ค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength นั้นต่ำมากที่สุดด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจึงทำให้สูตร rPs:rEVOH ที่อัตราส่วนที่ 60:40 นั้นมีความน่าสนใจมากที่สุดสำหรับการนำไปผสมกับผงไม้ไผ่ที่อัตราส่วน 10, 20, 30, 40 %/w ตามลำดับ เนื่องจากว่า rPs:rEVOH ที่อัตราส่วนที่ 60:40 นั้นมีค่า Flexural strength, Flexural modulus และค่า tensile strength ที่มากกว่าสูตรอัตราส่วน 30:70 และมีค่า Impact strength ที่มากกว่าสูตรอัตราส่วน 80:20 นั้นเอง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆดังนี้ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำลังใจ และทุนทรัพย์จึงทำให้การดำเนินงานเป็นไปได้อย่างราบรื่น และ ต้องขอขอบคุณ รองศาสตร์จารย์ ดร.อนินท์ มีมนต์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับ คำแนะนำในการวางแผนทำงาน และ ห้องแลป เครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆในการทำงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ดี สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่นักศึกษาชั้น ปริญญา เอก และ ปริญญาโท ของ วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการให้ความช่วยเหลือในเรื่องของตัวเครื่องจักร และ การทำแลปต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Poletto, Matheus., Zeni, Mara., Zattera, Ademir J. (2012). "Effects of wood flour addition and coupling agent content on mechanical properties of recycledpolystyrene/wood flour composites."Journal of Thermoplastic Composite Materials 25(7): 821-833.

[2] Lye, S. W., Aw, H. S., Lee, S. G. (2002). "Adhesives for bead fusion of recycled expandable polystyrene." Journal of applied polymer science 86(2): 456-462.

[3] ฉัตรระวี ดิเรกศิลป์ (2557). การศึกษาการใช้เม็ด พลาสติกพอลิสไตรีนชนิดขยายตัวที่ไม่ได้มาตรฐาน ให้ เกิด ประโยชน์. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ , มหาวิทยาลัยศิลปากร,นครปฐม,: 175 หน้า.

[4] Witold Brostow, Tamara Holjevac Grguric, Oscar Olea-Mejia, Dorota Pietkiewicz, Vesna Rek (2008).” Polypropylene + Polystyrene Blends with a Compatibilizer.Part 2. Tribological and Mechanical Properties

[5] กรมอุตสาหกรรมโรงงาน (2566, 30/06/2566). โรงงานทำตะเกียบไม้จากไม้ไผ่ในประเทศไทย. From https://userdb.diw.go.th/results1.asp

[6] Kitagawa, K., Ishiaku, Umaru., Mizoguchi, M., Hamada, Hiroyuki. (2005). Bamboo-based ecocomposites and their potential applications: 391-405.

[7] Abdulkareem, S., A. Adeniyi (2017). "PRODUCTION OF PARTICLE BOARDS USING POLYSTYRENE AND BAMBOO WASTES." Nigerian Journal of Technology 36: 788 793.

[8] Radzi, AM., Zaki, Sheikh Ahmad., Hassan, Mohamad Zaki.(2022). "Bamboo-Fiber Reinforced thermoset and thermoplastic polymer composites: A review of properties, fabrication, and potential applications." Polymers 14(7): 1387.

[9] สมชาย เหลืองสด., ประชุม คำพุฒ., อรรคเดช ฤกษ์ พิบูลย์., สัจจะชาญ พรัดมะลิ.(2560). การผลิตไม้ อัด เทียมจากโพลิเอทธีลีนผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันสำหรับ วิสาหกิจชุมชน. คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพมหานคร

[10] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2998-2562.”มอก. 2998-2562 ไม้สังเคราะห์จากพลาสติกผสมชีวมวล”. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมกระทรวง อุตสาหกรรม,กรุงเทพมหานคร:0-2202-3300

09R1-08

แนวคิดการจัดการของเสีย(มูลฝอย)โดยชุมชน ด้วยการใช้หลัก 8R's : กรณีศึกษาในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร

Community Waste Management Using the 8R's Principles: A Case Study in Din Daeng District Office, Bangkok

ปานวาด ณ ศรีโต[1*] และ จีมา ศรลัมพ์[2]
Panwand Na Srito[1*] and Cheema Soralump[2]
[1*]นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[1*]โทรศัพท์ : 0847218288, E-mail : panwande0425@gmail.com

บทคัดย่อ

มีการศึกษาและวิจัยมากมายเกี่ยวกับแหล่งที่มาและลักษณะของของเสีย รวมถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดการที่ไม่เหมาะสมและแนวปฏิบัติระดับสากลที่ดีที่สุด สำนักงานเขตดินแดง เป็นสำนักงานเขตที่อยู่ในสังกัดของกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่จำนวน 8.354 ตารางกิโลเมตร มีประชากรอาศัยในพื้นที่จำนวน 109,802 คน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่อยู่อาศัยตามลักษณะชุมชนชาวแฟลต ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของการเคหะแห่งชาติ สภาพชุมชนมีลักษณะที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลางและหนาแน่นมาก และมีการย้ายถิ่นอพยพเข้าออกพื้นที่ตลอดเวลา ทำให้ขาดจิตสำนึกรักท้องถิ่นและการให้ความร่วมมือกับภาครัฐ ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญในการลดปริมาณมูลฝอย การรักษาความสะอาด การกำจัดและการจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดมลพิษทั้งทางอากาศ ดิน และน้ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับวิธีการจัดการมูลฝอยของเสียของชุมชนในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง และ 2) เพื่อศึกษาวิธีการใช้หลัก 8R's ในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง วิธีการศึกษาเป็นการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่าง จากหน่วยตัวอย่าง 10 ชุมชนๆ ละ30 คน จากหน่วยตัวอย่างทั้งหมด 23 ชุมชน สถิติที่นำมาใช้คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ด้วยวิธีการแจกแจงความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency Distribution) ผลการศึกษาที่ได้สรุปได้ว่า วิธีการจัดการมูลฝอย(ของเสีย)ของชุมชนมีการคัดแยกขยะก่อนทิ้งสูงถึง 68% และผลการศึกษาวิธีการใช้ 8R's ในการจัดการมูลฝอย(ของเสีย)ของชุมชน พบว่า ส่วนใหญ่จะใช้ 8R's ในการคัดแยกหรือลดปริมาณมูลฝอย(ของเสีย) ค่อนข้างบ่อย ดังนั้น การจัดการมูลฝอยและสิ่งแวดล้อมโดยชุมชน ต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาคน ซึ่งเป็นกลไกทำให้คนชุมชนมีศักยภาพในการจัดการมูลฝอย สนับสนุนการพัฒนากิจกรรมให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหามูลฝอย และการพัฒนาความร่วมมือเพื่อส่งเสริมการจัดการมูลฝอยของแต่ละชุมชนให้ต่อเนื่องและยั่งยืน อันนำไปสู่สิ่งแวดล้อมที่ดีทำให้ชุมชนที่น่าอยู่

คำสำคัญ : ขยะมูลฝอยชุมชน; ของเสียเป็นศูนย์; การนำกลับมาใช้ใหม่; การปฏิเสธ; การรีไซเคิล; การลด

Abstract

There have been numerous studies and research on the sources and characteristics of waste, as well as the potential impacts of improper management and global best practices. Din Daeng District Office, under the jurisdiction of the Bangkok Metropolitan Administration, covers an area of 8.354 square kilometers and houses a population of 109,802. Most of the area consists of residential zones resembling flat-style communities managed by the National Housing Authority. The community comprises medium to high-density residential areas with frequent migration in and out, leading to a lack of local pride and cooperation with authorities. This results in significant challenges in waste reduction, maintaining cleanliness, improper waste disposal and management, causing pollution in air, soil, and water. The objectives

of this study are 1) to explore community waste management methods in the Din Daeng District Office area, and 2) to examine the use of the 8R's principle in community waste management in the Din Daeng District Office area. The study employs quantitative data collection through sampling from 10 communities, each with 30 participants, out of a total of 23 communities. Descriptive statistics, including relative frequency distribution, were utilized. The study found that community waste management methods involve pre-disposal waste sorting up to 68%, and the study on the application of the 8R's principles in community waste management revealed frequent use of 8R's practices for waste sorting and reduction. Therefore, community waste and environmental management must prioritize human development, enabling community members to effectively manage waste, support suitable activity development to reduce waste issues, and foster cooperation to promote continuous and sustainable community waste management. This leads to a better environment and a more livable community.

Keywords: Municipal solid waste; Zero Defect; Reuse; Refuse; Recycle; Reuse

บทนำ

สถานการณ์ขยะมูลฝอยของปี 2565 มีปริมาณ 25.70 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2564 ถึงร้อยละ 3 (24.98 ล้านตัน) ซึ่งพบว่าขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดไปอย่างไม่ถูกต้อง และขยะมูลฝอยตกค้าง มีปริมาณรวมกันถึง 17.01 ล้านตัน สำหรับกรุงเทพมหานคร ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อวันในปี 2565 กรุงเทพฯ มีปริมาณขยะ 10,706 ตันต่อวัน โดยคนกรุงเทพฯ สร้างขยะวันละ 2-3 กิโลกรัมต่อวัน ในจำนวนนี้ สามารถแยกขยะเพื่อรีไซเคิลได้ประมาณ 3,672 ตันต่อวันเท่านั้น [1](กรมควบคุมมลพิษ, 2565) ปัญหาสำคัญในการจัดการขยะมูลฝอยในประเทศส่วนใหญ่เกิดจากการจัดการขยะอย่างไม่ถูกต้องในระหว่างการเก็บขน ขนถ่าย หรือการกำจัดขยะเป็นผลทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนองค์ประกอบและลักษณะของขยะทำให้ยากต่อการจัดการอย่างถูกต้อง ปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ซึ่งมีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะ กรุงเทพมหานครฯมีนโยบายการจัดการขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยมอบนโยบายให้กับสำนักงานเขตทั้ง 50 เขต ดำเนินการโดยมีการจัดการขยะที่ต้นทาง กลางทาง และปลายทางอย่างมีประสิทธิภาพ [2] (สำนักสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร, 2565)

จากผลกระทบที่มีประชาชนอยู่กันหนาแน่น และมีการย้ายถิ่นอพยพเข้าออกพื้นที่ตลอดเวลา ทำให้ขาดจิตสำนึกรักท้องถิ่นและการให้ความร่วมมือกับภาครัฐ ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญในการลดปริมาณมูลฝอยที่ต้นทาง การรักษาความสะอาดการกำจัดและการจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่เหมาะสม

จากความสำคัญของปัญหาการจัดการกับขยะที่ต้นทาง จึงทำให้เป็นที่มาของการศึกษาเรื่อง แนวคิดการจัดการมูลฝอย(ของเสีย)โดยชุมชนด้วยการใช้หลัก 8R's:กรณีศึกษาในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยในชุมชนของสำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร

การทบทวนวรรณกรรม

การเติบโตของประชากรอย่างต่อเนื่อง เศรษฐกิจที่เฟื่องฟู การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว และมาตรฐานการครองชีพของชุมชนที่เพิ่มขึ้นได้เร่งให้เกิดขยะมูลฝอยทั่วโลกอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศกำลังพัฒนา [3](Guerrero, et al., 2013) ปัจจุบันขยะมูลฝอยเป็นปัญหาทางนิเวศวิทยาระดับโลก [4](Seng. et al., 2010) เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 11 พันล้านตันต่อปี ในปี 2554 ด้วยการผลิตขยะมูลฝอยต่อหัวอยู่ที่ประมาณ 1.74 ตัน/ปีทั่วโลก ขยะปริมาณมากยังสร้างแรงกดดันมหาศาลต่อหน่วยงานจัดการขยะเพื่อให้เกิดความยั่งยืนมากขึ้น [5](Cheng and Hu, 2010) สังคมปัจจุบันถูกขับเคลื่อนไปสู่ความยั่งยืนที่มากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและผลกระทบที่หลากหลายต่อชีวิตมนุษย์ การลดทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดทั่วโลกยังบังคับให้เราต้องคำนึงถึงการจัดการทรัพยากรและผลิตภัณฑ์ด้วย แนวทางหนึ่งในการทำให้ขยะเป็นศูนย์จึงถูกเสนอเพื่อจัดการกับข้อกังวลเหล่านี้ [6](Phillips, et al., 2011)

การจัดการของเสียเป็นศูนย์ หมายถึง แนวคิดแบบองค์รวมของการจัดการของเสียที่ตระหนักถึงของเสียเป็นทรัพยากรที่ผลิตขึ้นในระหว่างขั้นตอนระหว่างกาลของกระบวนการใช้ทรัพยากร กลยุทธ์ของขยะเป็นศูนย์อาจนำไปใช้กับบริษัท ชุมชน ภาคอุตสาหกรรม โรงเรียน และบ้านเรือน เนื่องจากมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจำนวนมาก ไม่เพียงแต่สิ่งแวดล้อมเท่านั้นแต่ยังรวมถึงด้านเทคโนโลยีด้วย [7](Saima, et al. 2020)

แหล่งที่มาทั่วไป/ประเภทของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste Management : MSW)

[8]Kaseva and Gupta S. K. (1996) กล่าวถึงขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลว่าเป็นของเสียที่รวบรวมโดยหน่วยงานของเมือง ซึ่งรวมถึงขยะจากครัวเรือน ของแข็งที่ไม่เป็นอันตรายจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เชิงพาณิชย์ และไม่ก่อให้เกิดโรค [9]Buah et al. (2007) อธิบาย ขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลว่าเป็นของเสียที่รวบรวมโดยหน่วยงานท้องถิ่นจากแหล่งในประเทศและเชิงพาณิชย์ [10]Vergara and Tchobanoglous (2012) ตั้งข้อสังเกตว่าขยะมูลฝอยชุมชนสะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตและประเพณีของผู้คนที่ผลิตขยะดังกล่าว พวกเขาเสริมว่า ขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลอาจส่งผลเสียต่อความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชนและสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม

ขยะจากการก่อสร้าง

ขยะมูลฝอยจากอุตสาหกรรมก่อสร้างหนึ่งในขยะมูลฝอยหลักในหลายประเทศ แม้ว่าอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีส่วนสนับสนุนเศรษฐกิจ แต่ภาคธุรกิจดังกล่าวยังผลิตขยะมูลฝอยจำนวนมากซึ่งมีตั้งแต่คอนกรีต ไม้ โลหะ พลาสติก ดิน แก้ว รวมถึงวัสดุอื่นๆ SEPA ประมาณการว่าอุตสาหกรรมนี้สร้างขยะประมาณ 9 ล้านตันต่อปี ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างเพิ่มขึ้น และของเสียที่ผลิตได้สูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น [11]Faniran and Caban พบว่าของเสียจากการก่อสร้างส่วนใหญ่เกิดจากข้อผิดพลาดในการออกแบบ/รายละเอียด การเปลี่ยนแปลงการออกแบบ ของเสียจากบรรจุภัณฑ์ เศษวัสดุที่ไม่ได้ใช้ และอื่นๆ

ขยะอุตสาหกรรม

[12]Ngoc and Schnitzer (2009) กล่าวถึงของเสียจากอุตสาหกรรมว่าเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปวัตถุดิบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ พวกเขาชี้ให้เห็นว่าสิ่งเหล่านี้อาจอยู่ในโรงงาน เหมือง หรือแม้แต่โรงสี มีรายงานของ [13]Shafigh (2014) ว่าในประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย ขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในสัดส่วนที่มาก รายงานพบว่าในแต่ละปีมีขยะมูลฝอยที่ผลิตในประเทศไทยประมาณ 3.2 ล้านตันจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม มูลค่าที่สอดคล้องกันสำหรับมาเลเซียและอินโดนีเซีย 47 และ 40 ล้านตันตามลำดับ ของเสียที่ผลิตโดยอุตสาหกรรม ได้แก่ พวง เปลือกผลไม้ และเส้นใยปาล์ม [12]Ngoc and Schnitzer (2009) รายงานของเสียประเภทต่างๆ ที่ผลิตโดยอุตสาหกรรม พวกเขาเสริมว่าของเสียบางชนิดเป็นพิษในขณะที่บางชนิดไม่เป็นพิษ

ขยะมูลฝอยทางการเกษตร

โดยทั่วไป ขยะมูลฝอยทางการเกษตรมีอยู่มากมายและอยู่นอกเหนือขอบเขตของการศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม [14]Tchobanoglous.(1993) ตั้งข้อสังเกตว่าของเสียทางการเกษตรเป็นของเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การเลี้ยงปศุสัตว์ การหว่านพืช และจากการผลิตน้ำนม [15]Willaim (2005) รายงานว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ มูลสัตว์ เศษพืชผลต่างๆ และน้ำทิ้งจากหญ้าหมัก ของเสียทางการเกษตรส่วนใหญ่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในภาคพลังงานและอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม [16]Seadi and Holm-Nielsen (2004) รายงานว่าการจัดการของเสียทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสมอาจนำไปสู่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น การใช้ปุ๋ยคอกสูงบนดินอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อน้ำผิวดินและน้ำบาดาล

ขยะเชิงพาณิชย์

ขยะมูลฝอยเชิงพาณิชย์ คือ ของเสียที่เป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่เกิดจากกิจกรรมในร้านค้า ร้านอาหาร ตลาด สำนักงาน โรงแรม โมเต็ล โรงพิมพ์ สถานีบริการ ร้านซ่อมรถยนต์ เป็นต้น [14](Tchobanoglous.et. al.,1993) ในการศึกษาของ [9,17,18]Buah (2007); Ogwueleka (2009); และ White (1995) อธิบายว่าขยะเชิงพาณิชย์ มักถูกกล่าวถึงหรือจัดกลุ่มภายใต้ขยะมูลฝอยชุมชน ขยะเชิงพาณิชย์เป็นของเสียที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาจากขยะมูลฝอยจำนวนมหาศาลที่เกิดจากภาคส่วนนี้ [19]The Environment and Heritage Service (2005) รายงานว่าในไอร์แลนด์เหนือ ขยะมูลฝอยประมาณ 1.5 ล้านตันถูกสร้างขึ้นโดยกิจกรรมเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม

แนวคิดการจัดการมูลฝอย(ของเสีย)โดยชุมชนแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ด้วยการใช้หลัก 8R's

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) สามารถกำหนดได้ว่าเป็นแบบจำลองทางเศรษฐกิจที่มุ่งเป้าไปที่การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพผ่านการลดของเสีย การรักษามูลค่าในระยะยาว การลดทรัพยากรหลัก และวงจรปิดของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ และวัสดุภายในขอบเขตของ การคุ้มครองสิ่งแวดล้อมและผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคม เศรษฐกิจหมุนเวียนมีศักยภาพที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ในขณะเดียวกันก็แยกการเติบโตทางเศรษฐกิจออกจากผลกระทบด้านลบของการสูญเสียทรัพยากรและความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม [20,21,22] (Murray 2017; Babbitt .2018; Hofmann 2019) แนวคิดของเศรษฐกิจหมุนเวียนได้รับแรงผลักดันตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1970 [23](EMF, 2013b) ผู้เขียนหลายคน เช่น [24,25,26]Andersen (2007), Ghisellini (2016) และ Su. (2013) กล่าวถึงการแนะนำแนวคิดของ [27]David (1989) ด้วยการอธิบายว่าทรัพยากรธรรมชาติมีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจอย่างไรโดยการให้ปัจจัยการผลิตและการบริโภค ตลอดจนทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บผลผลิตในรูปของขยะ พวกเขา

ตรวจสอบลักษณะเชิงเส้นและปลายเปิดของระบบเศรษฐกิจร่วมสมัย สิ่งนี้ได้รับอิทธิพลจากงานของ [28]Kenneth (1966) ซึ่งอธิบายโลกว่าเป็นระบบปิดและเปิดที่มีความสามารถในการดูดซึมที่จำกัด และสรุปจากสิ่งนี้ว่าเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมควรอยู่ร่วมกันอย่างสมดุล

การใช้หลัก 8R's ในการดำเนินการ ด้วยวิธีการใช้ 8R's ประกอบด้วยแนวคิด 2 ด้าน ดังนี้

1. แนวคิดเชิงตรรก (Logical Thinking) ประกอบด้วย

1.1) การคิดใหม่ (Rethink) [29]Potting, et.al. (2017) ให้ความหมายของการคิดใหม่ หมายถึง การทำให้ผลิตภัณฑ์มีการใช้งานมาก (เช่น ผ่านการแบ่งปันผลิตภัณฑ์หรือโดยการวางผลิตภัณฑ์อเนกประสงค์ในตลาด อย่างไรก็ตาม การคิดใหม่ มีความหมายที่กว้างกว่าเพราะมันรวมถึงการเรียบเรียงใหม่/สร้างแนวคิดใหม่ ผสมผสานกระบวนการ แนวคิดการใช้งาน และหลังการใช้

1.2) การปฏิเสธ (Refuse) เป็นหลักการสำคัญที่กระตุ้นให้เราปฏิเสธสิ่งที่เราไม่ต้องการจริงๆ การปฏิเสธที่จะใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งหรือผลิตภัณฑ์ที่สิ้นเปลืองและไม่สามารถรีไซเคิลได้ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดขยะให้เหลือน้อยที่สุด เช่น ปฏิเสธการใช้ถุงกระดาษหรือถุงพลาสติกมาเป็นใช้ถุงผ้าแทน ประเทศต่างๆ มีเป้าหมายในการเลิกใช้ที่แตกต่างกัน เช่น ถุงพลาสติก [30](Lewis, 2010)

1.3) การลด (Reduce) [31] (Reike 2018) ให้ความหมายของการลด หมายถึง การใช้ทรัพยากรธรรมชาติน้อยลง และด้วยเหตุนี้จึงใช้พลังงาน วัตถุดิบ และของเสียน้อยลง เป้าหมายสำหรับการลดยังสามารถสะท้อนเป้าหมายสำหรับคิดใหม่ได้ การลดเชื่อมโยงกับแนวคิด/การออกแบบ (โดยใช้วัสดุน้อยลงต่อหน่วยการผลิต) หรือกับการแยกส่วนวัสดุ มีเป้าหมายด้านประสิทธิภาพที่จัดการกับการลดแต่มุ่งเน้นไปที่การลดทรัพยากร

2. การจัดการเชิงเทคนิค (Technical Setting) ประกอบด้วย

2.1) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่สามารถกำหนดได้ว่าเป็นการใช้ครั้งที่สองหรือครั้งต่อไป (โดยผู้ใช้/เจ้าของรายอื่น) ของผลิตภัณฑ์ที่ยังคงอยู่ในสภาพดีและสามารถจัดการให้เป็นไปตามฟังก์ชั่นดั้งเดิม ผลิตภัณฑ์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ยังคงรักษาหน้าที่และเอกลักษณ์ [32](Jayaraman 2006)

2.2) การซ่อมแซม (Repair) [29] (Potting 2017) กล่าวว่า การซ่อมแซมเป็นการซ่อมแซมและบำรุงรักษาสินค้าที่ชำรุดให้ใช้งานได้ตามหน้าที่เดิม การซ่อมแซมยังเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ชำรุดกลับมาใช้งานได้อีกครั้งด้วยการแก้ไข/เปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุด [32,33](Jayaraman V. 2006; Charter and Grey 2007) การซ่อมแซมเป็นองค์ประกอบสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียน [34](Rogers, Deutz and Ramos ,et.al. 2021)

2.3) การให้ (Re-gift) บริจาคสิ่งของที่ไม่ต้องการที่ยังอยู่ในสภาพใช้งานได้ สามารถบริจาคเครื่องเรือน ของใช้ในบ้าน เสื้อผ้า ของเล่น หนังสือ และอื่นๆ ให้กับองค์กรการกุศลได้ ปัจจุบันมีสถานที่รับบริจาคสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว

2.4) การกู้คืน (Recover) เป็นกระบวนการพยายามกู้คืนวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดก่อนจะถูกส่งไปยังสถานที่ฝังกลบ[29] (Potting 2017) ให้คำจำกัดความของการกู้คืนว่าเป็นการเผาวัสดุด้วยการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ในวงกว้าง การกู้คืนหมายถึงของเสียที่ไม่ได้รีไซเคิล แต่ใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือสารประกอบทางชีวเคมีที่มีค่า การกู้คืนรวมถึงกระบวนการแปลงหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับขยะอินทรีย์เป็นหลัก [35](Demirbas 2009)

2.5) การรีไซเคิล (Recycle) เป็นกระบวนการของการรวบรวมและแปรรูปวัสดุที่จะถูกทิ้งเป็นขยะและเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ การรีไซเคิลจะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ประโยชน์ของการรีไซเคิล ช่วยลดปริมาณขยะที่ส่งไปยังหลุมฝังกลบและเตาเผาขยะ

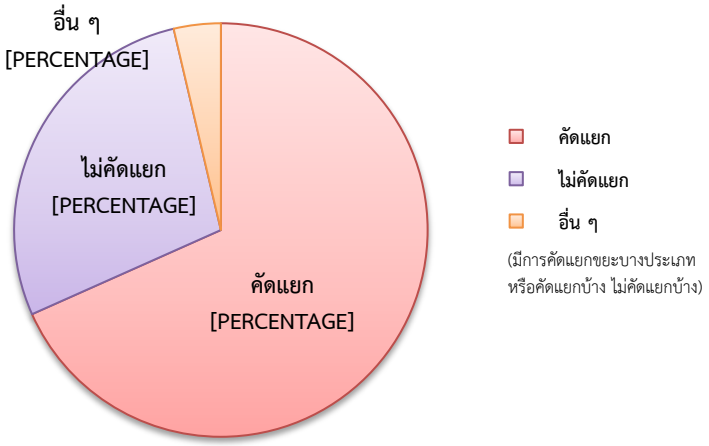
อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษาเป็นการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่าง จากหน่วยตัวอย่าง 10 ชุมชนๆ ละ30 คน จากหน่วยตัวอย่างทั้งหมด 23 ชุมชน สถิติที่นำมาใช้คือสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ด้วยวิธีการแจกแจงความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency Distribution)

ผลการทดลองและวิจารณ์

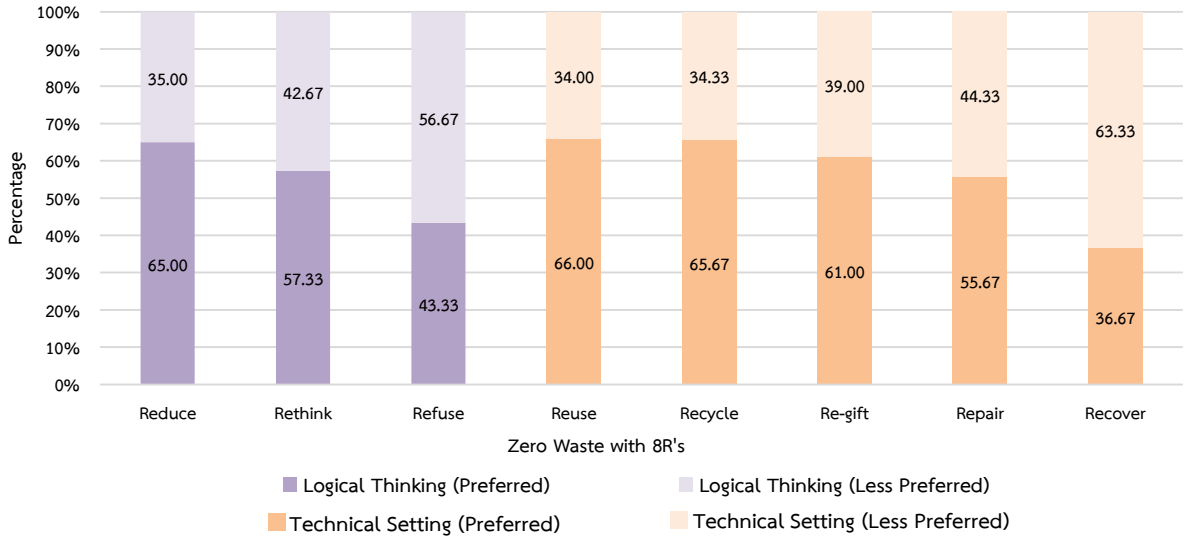
กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา เป็นเพศหญิงร้อยละ 66 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 51-60 ปี คิดเป็นร้อยละ 37.50 น้อยที่สุดคืออายุ 19-24 ปี คิดเป็นร้อยละ 5 ส่วนใหญ่การศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 43.33 พักอาศัยเป็นบ้านเดี่ยว คิดเป็นร้อยละ 42.67

ส่วนใหญ่มีสมาชิกที่พักอาศัยร่วมกัน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 20.67 จากกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา จำนวน 250 ราย พบว่า มีการคัดแยกขยะก่อนทิ้งคิดเป็น 68% ไม่คัดแยกขยะ 28% และอื่น ๆ 4% ได้แก่ มีการคัดแยกขยะบางประเภท เช่น กระดาษ ขวดน้ำ กล่องใส่พัสดุ หรือคัดแยกบ้างไม่คัดแยกบ้าง จากประชากรทั้งหมด ตามรูปที่ 1



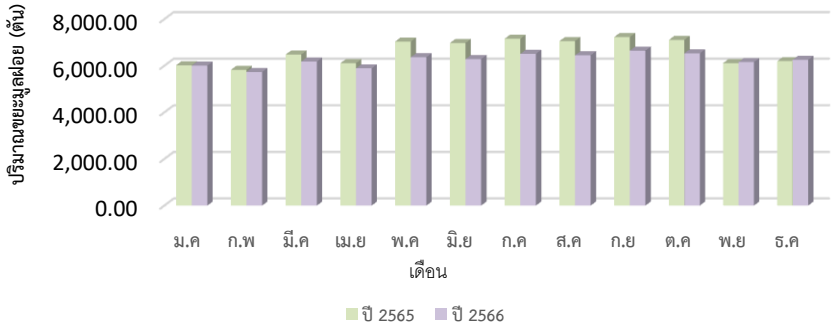
รูปที่ 1 การคัดแยกขยะก่อนทิ้ง

เปรียบเทียบหลัก 8R's ในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน



รูปที่ 2 เปรียบเทียบหลัก 8R's ในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน

จากรูปที่ 2 สามารถวิเคราะห์ได้จากพฤติกรรมของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถาม พบว่า 1) สิ่งที่ประชากรตัวอย่างทำมากที่สุดคือ reuse, recycle จำนวน 66% และ65.67% ซึ่งต้องการโครงสร้างพื้นฐานช่วยสนับสนุน 2) สิ่งที่ประชากรตัวอย่างทำมากเป็นอันดับที่ 3 ได้แก่ reduce จำนวน 65% ซึ่งเป็นการสร้าง logic ที่ดีทางความคิดเป็นสิ่งที่สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 12 การบริโภคและการผลิตอย่างมีความรับผิดชอบ (SDG 12: Responsible Consumption and Production) ประชากรรุ่นใหม่ต้องมีแนวคิดนี้ อย่างไรก็ดีการ rethink และ refuse ยังเกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับประเด็นทางด้านเทคนิค 3) กรุงเทพมหานคร (BMA) ต้องสนับสนุน reuse, recycle มากกว่าโครงการไม่เทรวม แต่สร้างโครงสร้างด้านเทคนิคให้ง่ายต่อการ reuse, recycle 4) สนับสนุนให้ประชากรสามารถสร้างพฤติกรรม regift และ repair มากกว่านี้ ซึ่ง ทางกทม. มีโครงการ “ปฏิทินตั้งโต๊ะปีเก่าเราขอ” ซึ่งได้จัดตั้งถังรับบริจาคไว้ที่สำนักงานเขตดินแดง เพื่อส่งมอบให้มูลนิธิช่วยคนตาบอดแห่งประเทศไทยในพระบรมราชินูปถัมภ์ นำไปผลิตสื่ออักษรเบลล์สำหรับผู้พิการทางสายตา เป็นต้น ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบการรับบริจาค (Donation) และการซ่อมแซมสิ่งของที่สามารถพัฒนาโครงการต่อไปได้ 5) ส่งเสริมการสร้าง logical thinking ได้แก่ reduce, rethink, refuse เพราะทำให้ประชากรลดมูลฝอยที่แหล่งกำเนิดที่แท้จริง



รูปที่ 3 ปริมาณมูลฝอยในพื้นที่สำนักงานเขตดินแดง ปี 2565-2566 [36](สำนักสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร 2566)

จากรูปที่ 3 แสดงปริมาณมูลฝอยในพื้นที่ของสำนักงานเขตดินแดง เปรียบเทียบระหว่างปี 2565 กับปี 2566 พบว่ามีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับเดือนเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการรณรงค์ให้มีการคัดแยกมูลฝอยจากต้นทาง และเป็นสิ่งที่ทางกรุงเทพมหานครฯ มีการสนับสนุนผ่านทางโครงการ และกิจกรรมต่างๆ ร่วมกับภาคเอกชน

นอกจากนี้ทางสำนักงานเขตดินแดงควรมีการวิเคราะห์สถานการณ์ กระบวนการทำงาน และสภาพแวดล้อมของแต่ละชุมชนเพื่อให้สามารถพิจารณาถึงสิ่งที่เป็นปัญหาสำคัญในการดำเนินงานสู่สภาพที่ต้องการในอนาคต ด้วยการวิเคราะห์ ใน 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายใน (Internal) ประกอบด้วย 2 มิติ คือ จุดแข็ง (Strengths) และจุดอ่อน (Weaknesses) ปัจจัยภายนอก (External) ประกอบด้วย 2 มิติ คือ โอกาส (Opportunities) และ ภัยคุกคาม(Threats) ดังรูปที่ 4

การวิเคราะห์ SWOT

INTERNAL	**Strengths** 1. สำนักงานเขตดินแดงมีบุคลากรที่มีความรู้ ความเข้าใจ ทำให้สามารถถ่ายทอดความรู้ให้แก่ประชาชน 2. ประชาชนในเขตพื้นที่สำนักงานเขตดินแดงได้รับการรณรงค์การลดขยะอย่างต่อเนื่อง 3. โครงการไม่เทรวม และโครงการแยกขยะ BBK Zero Waste ทำให้ประชาชนสามารถประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	**Weaknesses** 1. ขาดการส่งเสริมที่เป็นรูปประธรรม รวมถึงการสื่อสารกับประชาชนแฝง 2. ขาดเส้นทางที่ชัดเจนเพื่อให้เกิด Polluter Pays 3. ไม่สามารถปรับราคาบริการการจัดเก็บขยะได้ ทำให้งบประมาณไม่เพียงพอในการจัดการขยะทั้งสำนักงานเขตดินแดง
EXTERNAL	**Opportunities** 1. กระแสสังคมและข่าวสารทางโซเชียลมีเดีย 2. การกำหนดนโยบายจากภาครัฐบาล 3. การส่งเสริมจากภาครัฐและเอกชน ผ่านทางโครงการความร่วมมือต่างๆ เช่น ถนนพลาสติกรีไซเคิล, นวัตกรรมทุ่นขยะลอยน้ำจาก HDPE-Bone, ชุมชน LINK (ไร้) ขยะ อันเป็นความร่วมมือระหว่าง บ้าน – วัด – โรงเรียน และธนาคารขยะ	**Threats** 1. วิถีชีวิตของคนรุ่นใหม่ที่ไม่ใส่ใจต่อโลกภายนอก 2. การเข้าถึงสินค้าและแบรนด์รักษ์โลกมีความยาก เนื่องจากมีราคาที่สูงกว่าสินค้าตามท้องตลาดทั่วไป

รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ SWOT

จากการวิเคราะห์ SWOT พบว่า ในส่วนของปัจจัยพื้นที่สำนักงานเขตดินแดงมีจุดแข็งที่บุคลากรมีความรู้ และมีการรณรงค์ให้คัดแยกขยะที่ต้นทางทั่วทั้งพื้นที่การดูแลของสำนักงานเขตดินแดง ทั้งยังมีโครงการที่ร่วมมือกับประชาชนในการลดขยะ ทำให้ขยะภายในพื้นที่มีจำนวนลดลง ส่วนจุดอ่อน เนื่องจากประชากรในพื้นที่เป็นประชากรแฝง ทำให้ขาดสำนึกความรับผิดชอบต่อชุมชน และสำนักงานเขตดินแดงเองก็ไม่สามารถปรับขึ้นค่าบริการในการจัดเก็บขยะได้ ทำให้รายได้ไม่พอกับค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะ สำหรับปัจจัยภายนอก สำนักงานเขตดินแดงควรใช้กระแสสังคมและสื่อโซเชียลมีเดียในการประชาสัมพันธ์โครงการต่างๆ นำนโยบายจากภาครัฐมากำหนดเป็นความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชนและชุมชน ส่วนภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นนั้นส่วนมากจะเป็นดำเนินวิถีชีวิตของคนรุ่นใหม่ๆที่อาจไม่สนใจต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากตัวเอง และการเข้าถึงสินค้าที่เป็นแบรนด์รักษ์โลกยังมีความยาก เนื่องจากมีราคาสูง ซึ่งการวิเคราะห์ SWOT นี้จะช่วยให้ภาครัฐเร่งดำเนินกระบวนการต่างๆ เพื่อสนับสนุนให้การจัดการขยะที่มีอยู่ในสำนักงานเขตดินแดงมีปริมาณลดลงและให้ขยะเหลือเป็นศูนย์ตามนโยบายที่ตั้งไว้

สรุป

การจัดการมูลฝอยและสิ่งแวดล้อมโดยชุมชน ต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาคน ซึ่งเป็นกลไกทำให้คนชุมชนมีศักยภาพในการจัดการมูลฝอย สนับสนุนการพัฒนากิจกรรมให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหามูลฝอย และการพัฒนาความร่วมมือเพื่อ ส่งเสริมการจัดการมูลฝอยของแต่ละชุมชนให้ต่อเนื่องและยั่งยืน อันจะนำไปสู่ชุมชนที่น่าอยู่

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, รายงานสถานการณ์ของเสียอันตรายจากชุมชน ปี พ.ศ. 2565. ส่วนพัฒนาและบริหารระบบสารสนเทศ, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

[2] สำนักสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร, รายงานประจำปี 2565.

[3] Guerrero,L.A.,Maas,G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. Waste Management (New York, N.Y.), 33(1),220-232.doi:10.1016/j.wasman.2012.09.008 PMID:23098815

[4] Seng, B., Kaneko, H., Hirayama, K., & Katayama-Hirayama, K. (2010). Municipal solid waste management in Phnom Penh, capital city of Cambodia. Waste Management & Research, 29(5),491-500. doi:10.1177/0734242X10380994 PMID:20813763

[5] Cheng, H., & Hu, Y. (2010). Munincipal silid waste (MSW) as a renewable source of energy: Curent and future practices in China. Bioresource Technology, 101(11), 3816-3824. doi:10.1016/j.biortech.2010.01.040 PMID:20137912

[6] Phillips, P.S., Tudor, T., Bird, H., & Bates, M. (2011). A critical review of a key waste strategy initiative in England: Zero waste places projects 2008-2009. Resources, Conservation and Recycling, 55(3), 335-343. doi:10.1016/j.resconrec.2010.10.006

[7] Saima Hamid Baba, Bhat Mohd Skinder and Muzaffar Ahmad Bhat (2020). Zero Waste: A Sustainable Approach for Waste Management. Innovative Waste Management Technologies for Sustainable Development (pp.134-155)

[8] Kaseva, M. E., & Gupta, S. K. (1996). Recycling—an environmentally friendly and income generating activity towards sustainable solid waste management. Case study Dares Salaam City, Tanzania. Resources Conservation & Recycling, 17(4), 299-309. https://doi.org/10.1016/S0921-3449(96)01153-6

[9] Buah, W. K., Cunliffe, A. M., & Williams, P. T. (2007). Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste. Process Safety & Environmental Protection, 85(5), 450-457. https://doi.org/10.1205/psep07024

[10] Vergara, S. E., & Tchobanoglous, G. (2012). Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective Environment and Resources, 37(37), 277-309. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050511-122532

[11] Faniran, O. O., & Caban, G. (1998). Minimizing waste on construction project sites. Engineering, Construction and Architectural Management, 5(2), 182-188. https://doi.org/10.1108/eb021073

[12] Ngoc, U. N., & Schnitzer, H. (2009). Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries. Waste Management, 29(6), 1982-1995. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.031

[13] Shafigh, P., Mahmud, H. B., Jumaat, M. Z., & Zargar, M. (2014). Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures A review. Construction & Building Materials, 53(3), 110-117. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.074

[14] Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. Water Science & Technology Library, 8(1), 63-90 .The Environment & Heritage Service. (2005). State of the Environment Report for Northern Ireland Waste and Resources.

[15] Williams, P. T. (2005). Waste Treatment and Disposal. London, New York: John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/0470012668

[16] Seadi, T. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2004). Agricultural wastes. In I. Twardowska, H. E. A. Antonius,A.F. Kettrup, & W. J. Lacy (Eds.), Waste Management Series, Solid Waste: Assessment, Monitoring and Remediation (pp. 207-215). Amsterdam: Elsevier.

[17] Ogwueleka, T. (2009). Municipal solid waste characteristics and management in Nigeria. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, 6(3), 173-180.

[18] White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. (1995). Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. Berlin: Springer.

[19] The Environment & Heritage Service. (2005). State of the Environment Report for Northern Ireland Waste and Resources. Retrieved fromhttp://www.doeni.gov.uk/niea/stateoftheenvironmentreportfornorthernireland wasteandresources.pdf

[20] Murray, A., Skene, K., Haynes, K., (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. J. Bus. Ethics 140 (3), 369–380.

[21] Babbitt, C.W., Gaustad, G., Fisher, A., Chen, W.Q., liu, G., (2018). Closing the loop on circular economy research: from theory to practice and back again. Resour. Conserv. Recyel.

[22] Hofmann, F.,(2019). Circular business models: business approach as driver or obstructer of sustainability transitioons? Journal Cleaning Production 224,361-374

[23] EMF-Ellen MacArthur Foundation, (2013b). Towards the Circular Economy. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthurFoundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf.

[24] Andersen, M.S., (2007). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. Sustain. Sci. 2, 133–140.

[25] Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. J. Clean. Prod. 114, 11–32.

[26] Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., Yu, X., (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. J. Clean. Prod. 42, 215–227.

[27] David W. Pearce and R. Kerry Turner,(1989). Economics of Natural Resources and the Environment. The John Hopkins University Press, Baltimore, latest edition.

[28] Kenneth E. Bouldin, (1966).The Economics of Knowledge and the Knowledge of Economics.The American Economic Review. Vol. 56, No. 1/2 (Mar. 1, 1966), pp. 1-13 (13 pages)

[29] Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A.,(2017). Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain, PBL-Netherlands Environmental Assessment

[30] Lewis, H., Verghese, K., Fitzpatrick, L., (2010). Evaluating the sustainability impacts of packaging: the plastic carry bag dilemma. Packag. Techmal. Xci. 23(3), 145-160.

[31] Reike, D., Vermeulen, W. J., Witjes, S., (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resour. Conserv. Recycl. 135, 246-264.

[32] Jayaraman, V., (2006). Production planning for closed-kiio syookt cgaubs wutg oridyct reciert abdreyseLab abakttucak aooriacg, Ubt, H, Orid, /res, 44(5), 981-998.

[33] Charter, M., Gray, C., (2007). Remanufacturing and Product Design: Designing for the 7th Generation. CfSD. The Centre for Sustainable Design University College for the Creative Arts, Farnham, UK

[34] Rogers, H. A, Deutz P and Ramos TB.(2021) Repairing the circular economy: public perception and participant profile of the repair economy in Hull, UK. Resour Conserv Recycl; 168. 2021, Document number: 105447, pp. 1– 11. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105447

[35] Demirbas, A.,(2009). Biofuels securing the planet's future energy needs. Energy Convers. Manage. 50(9), 2239-2249.

[36] สำนักสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร, สถิติปริมาณมูลฝอย 2565-2566.

09R1-09

ผลของสารลดฟองต่อการหมักเอทานอลจากกากน้ำตาล
Effects of Antifoam on Ethanol Fermentation from Molasses

พุทธพร แสงเทียน[1*] ณัฐยา พูนสุวรรณ[1] ไท แสงเทียน[2] ศิริวิมล ถินถาวร[1] และ กาญจนรัตน์ แหวนหล่อ[1]
Puttaporn Sangthean[1*] Natthaya Punsuwan[1] Thai Sangthean[2] Sirivimon Tintavon[1] and Kanjanarat Whanlor[1]
[1*,1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, อาจารย์, บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190
[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190
[*]โทรศัพท์ : 0810746600, E-mail : puttaporn.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกำจัดฟองในการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยใช้สารลดฟอง (Antifoam) โดยได้ศึกษาผลที่เกิดจากการเติม Antifoam ชนิดต่างๆในกระบวนการหมัก ซึ่งชนิดของ Antifoam ที่ใช้ คือ Antifoam scp, Antifoam Bubreak4364 และ Antifoam Bubreak4019 ตามลำดับ และได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟองของ Antifoam ในกระบวนการหมัก ชนิดของ Antifoamที่ใช้คือ Antifoam Bubreak4364 และ Antifoam Bubreak4019 และปริมาณของ Antifoam ที่ใช้ คือ 1 ml 2 ml 3ml และ 5ml (Antifoam 1 %v/v)ตามลำดับ โดยกระบวนการหมักเป็นแบบกะด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ผลการทดลองพบว่า Antifoam Bubreak4364 มีผลต่อกระบวนการหมักน้อยที่สุด รวมทั้งเมื่อเพิ่มปริมาณของ Antifoam Bubreak4364 ก็มีผลต่อกระบวนการหมักค่อนข้างน้อย ทั้งต่อปริมาณเซลล์ยีสต์ %Brix และ %Ethanol โดยปริมาณเซลล์ยีสต์มีปริมาณใกล้เคียงกันแม้จะเพิ่มปริมาณ Antifoam สำหรับ%Brix จะลดลงเรื่อยๆและเริ่มคงที่ เช่นเดียวกับ%Ethanol จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ ส่วนค่า pH อยู่ในช่วงที่เซลล์ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ปกติ อีกทั้งยังพบว่า Antifoam Bubreak4364 มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟองมากที่สุด ปริมาณฟองลดลงจากที่ไม่ได้เติม Antifoam ประมาณ 90 %

คำสำคัญ : กากน้ำตาล; การหมัก; สารลดฟอง; การกำจัดฟอง

Abstract

This research studied about the eliminating foam from molasses ethanol fermentation by Antifoam. The effects of adding various Antifoam in fermentation were studied. Type of Antifoam was Antifoam scp, Antifoam Bubreak4364 and Antifoam Bubreak4019, respectively. We studied about the foam removal efficiency between of Antifoam Bubreak4364 and Antifoam Bubreak4019. The amount of Antifoam were 1ml, 2ml, 3ml and 5ml (Antifoam 1% v / v), respectively. The fermentation process was batch that fermented by *Saccharomy cescerevisiae* yeast. The results showed that Antifoam Bubreak 4364 had the least effect on the fermentation process. Including when increasing the quantity of Antifoam Bubreak4364, it had quite a bit of effect on the fermentation process to the amount of yeast cells, %Brix and %Ethanol. The amount of yeast cells was similar even though the amount of Antifoam was increased. The %Brix gradually decreased and began to remain constant while %Ethanol increased and began to remain constant. The pH was in the range that yeast cells could grow normally. It was also found that Antifoam Bubreak4364 was the most effective in eliminating foam. The amount of foam decreased from not adding Antifoam by approximately 90%.

Keywords : molasses; fermentation; Antifoam; eliminating foam

บทนำ

เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนโดยเฉพาะเอทานอล ซึ่งได้จากกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ หรือการหมักโดยใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบ และการได้มาซึ่งน้ำตาลนั้นอาจได้จากกระบวนการย่อยสลายโครงสร้างของวัสดุทางการเกษตรที่เรียกว่ากระบวนการไฮโดรไลซิส หรือหมักกับจุลินทรีย์ เนื่องจากพืชมีผนังเซลล์ที่มีชั้นของเซลลูโลส (Cellulose) เป็นโครงหลัก ซึ่งเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก เมื่อไรก็ตามที่โมเลกุลของกลูโคสแยกออกมา สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักได้เป็นแอลกอฮอล์ดังนั้นกลูโคสจำนวนมหาศาลในเซลลูโลสจึงเปรียบเสมือนขุมทรัพย์จากธรรมชาติสามารถนำไปสู่การผลิตเอทานอลหรือ ที่เรียกกันว่า “เซลลูโลซิก เอทานอล” และน่าจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในปัจจุบันและอนาคต[1] สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกอ้อยเป็นจำนวนมาก และมีการผลิตน้ำตาลเพื่อการส่งออกเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากบราซิลและออสเตรเลีย การผลิตน้ำตาลจากอ้อย 1 ตันจะเกิดกากน้ำตาลประมาณ 50-58 กิโลกรัม ส่งผลให้ไทยเป็นผู้ส่งออกกากน้ำตาลรายใหญ่ของโลก แต่ก็ยังมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนวัตถุดิบ เพราะมีตลาดรองรับทั้งภายในและต่างประเทศทั้งยังขึ้นอยู่กับปริมาณอ้อยและการผลิตกากน้ำตาลในแต่ละปีอีกด้วย กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในแก๊สโซฮอล์ การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล (Molasses) จะคล้ายกับการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังเพียงแต่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ[2] ในปัจจุบันมีการศึกษานำวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมเกษตรและของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงเชื้อ การนำวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบในรูปของผลผลิตที่ได้แล้วยังสามารถลดปัญหาการจัดการของเสียเหล่านี้ได้อีกด้วย[3] การผลิตเอทานอลของโรงงานอุบลไบโอเอทาอล ใน จ.อุบลราชธานีจะใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ มันเส้น มันสด และกากน้ำตาล สำหรับกากน้ำตาลนั้นจะมีการเตรียมก่อนการหมักง่ายกว่ามันสดและมันเส้น เพราะกากน้ำตาล (molasses) เป็นของเหลวที่มีลักษณะเหนียวข้นสีน้ำตาลดำ ที่เป็นผลพลอยจากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยซึ่งประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่างๆและน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้[4] แต่ปัญหาที่พบสำหรับการนำกากน้ำตาลมาผลิตเอทานอล คือ ทำให้เกิดฟองจำนวนมาก จนไม่สามารถผลิตได้เต็มกำลังการผลิต ทำให้ผลิตเอทานอลในแต่ละครั้งได้ปริมาณที่น้อย ซึ่งจะเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า สร้างความเสียหายต่อบริษัท การใช้สารลดฟอง(Antifoam)เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดหรือขัดขวางการเกิดฟอง คุณสมบัติที่สำคัญของสารลดฟองที่ดีคือต้องมีความหนืดต่ำ และสามารถกระจายตัวได้อย่างรวดเร็ว บนพื้นผิวของสารที่เกิดฟองอยู่ สารลดฟองมีความสามารถในการจับที่พื้นผิวระหว่างของเหลวและอากาศได้อย่างดี และในขณะเดียวกันพอจับที่ผิวสัมผัสแล้วตัวมันเองต้องไปทำลายความคงตัวของชั้นผิวของฟองนั้นๆด้วย[5] ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาชนิดและผลการใช้สารลดฟองที่เหมาะสม เพื่อให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟองมาก และนอกจากนี้การใช้สารลดฟองในอาจมีผลต่อการหมักหรือต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มีกระบวนการทดลองทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมกากน้ำตาล(น้ำหมัก) : นำกากน้ำตาลที่มีค่า 80%Brix ผสมกับน้ำเพื่อเจือจางให้ได้ %Brix ในช่วง11-13 โดยใช้อัตราส่วน กากน้ำตาล:น้ำ คือ 1:7 โดยปริมาตร วัด %Brix แล้วนำกากน้ำตาลที่เจือจางแล้วไปฆ่าเชื้อใน Water bath อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียม Antifoam : เจือจาง Antifoam ทั้งสามชนิด(Antifoam scp, Antifoam Bubreak4364 และ Antifoam Bubreak4019) โดยใช้ Pipette ขนาด2 ml ปิเปตAntifoam 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ได้ความเข้มข้น Antifoam 1%v/v

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลกระทบที่เกิดต่อกระบวนการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลเมื่อเติม Antifoam แต่ละชนิด โดย 1) นำกากน้ำตาลที่เตรียมไว้ปริมาตร 200 ml ใส่ใน Erlenmeyer flask 500 ml 2) เติมยูเรียและแมกนีเซียมซัลเฟตในน้ำหมักแต่ละ flask เพื่อเป็นอาหารยีสต์ในกระบวนการหมักเอทานอล โดยอัตราส่วนน้ำหมัก : ยูเรีย : แมกนีเซียมซัลเฟต คือ 200 ml: 0.25g : 0.03 g 3) เติม Antifoam scp 1%v/v ปริมาณ 2 ml ในน้ำหมักแต่ละ flask วัด pH น้ำหมัก โดย pH meterก่อนเติมยีสต์ 4) ชั่ง *Saccharomyces cerevisiae* (alcohol dry yeast) จำนวน 0.5 g (อัตราส่วนระหว่าง น้ำหมัก : ยีสต์ คือ 1 L : 2.5 g) เติมลงไปในน้ำหมักปริมาณ 200 ml ใน Erlenmeyer flask 500 ml นำไปใส่ในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking water bath) โดยอุณหภูมิที่ควบคุม คือ 32-35 ^{0}C อัตราการเขย่า 200 min^{-1} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 6) เก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 6 , 12 , 18 และ 24 ค่าที่ทำการวัด คือ ปริมาณฟอง, pH, %Brix ,%Ethanol และ จำนวนเซลล์ยีสต์ 7) สำหรับการทดลองชุดนี้ ตัวแปรที่ทำการเปลี่ยนแปลง คือ ชนิดของ

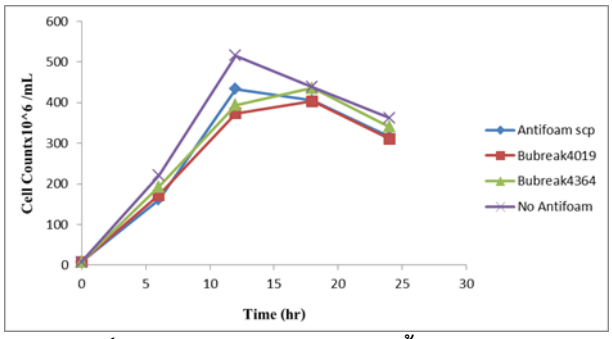
Antifoam (Antifoam scp, Antifoam Bubreak4364, Antifoam Bubreak4019 และชุดการทดลองที่ไม่เติม Antifoam) โดยเปลี่ยนชนิดของAntifoam ในข้อ 3) และทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1) ถึง ข้อ 6)

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Antifoam Bubreak4364 และ Antifoam Bubreak4019 ในการลดปริมาณฟองที่เกิดจากกระบวนการหมักเอทานอล โดย 1) นำกากน้ำตาลที่เตรียมไว้ปริมาตร 200 ml ใส่ใน Erlenmeyer flask 500 ml แล้วเติมยูเรียและแมกนีเซียมซัลเฟตในน้ำหมักแต่ละ flask เพื่อเป็นอาหารยีสต์ในกระบวนการหมักเอทานอล โดยอัตราส่วนน้ำหมัก : ยูเรีย : แมกนีเซียมซัลเฟต คือ 200 ml : 0.25 g : 0.03 g 2) เติม Antifoam Bubreak4364 1%v/v ปริมาณ 1 mL, 3mL และ 4 ml ในflask วัด pH ด้วย pH meter ก่อนเติมยีสต์ 3) ชั่ง *Saccharomyces cerevisiae* (alcohol dry yeast) จำนวน 0.5 g (อัตราส่วนระหว่าง น้ำหมัก : ยีสต์ คือ 1 L : 2.5 g) เติมลงไปในน้ำหมักปริมาณ 200 ml ใน Erlenmeyer flask 500 ml 4) ปิดปากErlenmeyer flask ให้แน่นด้วยสำลีและฟอยล์ นำไปใส่ในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking water bath) โดยอุณหภูมิที่ควบคุม คือ 32-35 ^{0}C อัตราการเขย่า 200 min^{-1} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 5) เก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 6 ,12,18 และ24 ไปทำการวัดค่า pH, %Brix ,%Ethanol และจำนวนเซลล์ยีสต์ 6) สำหรับการทดลอง Antifoam Bubreak4019 ทำการทดลองเหมือนกับ Antifoam Bubreak4364 ที่ได้กล่าวมาแล้ว

ผลการทดลองและวิจารณ์

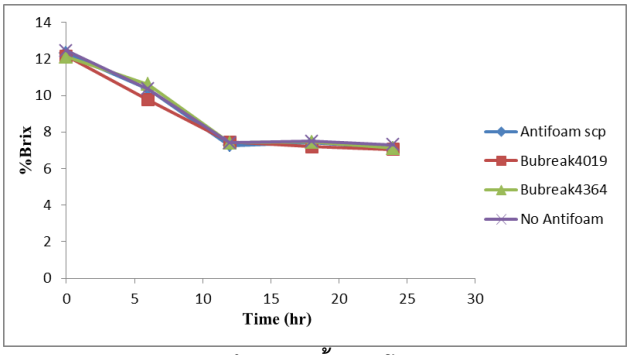
ผลกระทบที่เกิดต่อกระบวนการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลเมื่อเติม Antifoam แต่ละชนิด

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าจำนวนเซลล์ช่วงแรกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในปริมาณมาก พอถึงชั่วโมงที่ 12 จะมีปริมาณเซลล์ที่สูงที่สุด จากนั้นปริมาณเซลล์เริ่มลดลงจนถึงชั่วโมงที่ 24 และจากกราฟจะเห็นว่าจำนวนเซลล์ยีสต์ของการทดลองที่ไม่เติม Antifoam จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในจำนวนที่มากกว่าการทดลองที่เติม Antifoam คือที่ชั่วโมงที่ 12 มีจำนวน 516 x10^{6} cell/ml ซึ่งมากกว่าจำนวนเซลล์ของการทดลองที่เติม Antifoam ในชั่วโมงเดียวกัน นอกจากนี้จะเห็นว่าการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak 4364 จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นช้ากว่าการทดลองที่เติม Antifoam scp และการทดลองที่ไม่เติม Antifoam คือจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นมากที่สุดชั่วโมงที่ 18 มีจำนวนเซลล์ 403.75x10^{6} cell/ml และ 436.25x10^{6} cell/ml ตามลำดับ



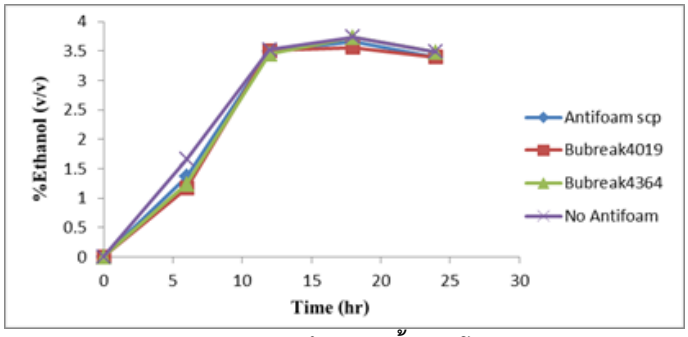
รูปที่ 1 ปริมาณ Cell Count (x10^{6} cell/ml) ของการหมักกากน้ำตาลโดยเติม Antifoam ชนิดต่างๆกับเวลา

จากรูปที่ 2 แนวโน้มของค่า %Brix จะลดลงเมื่อเริ่มการทดลอง จนถึงชั่วโมงที่ 12 ค่า%Brix จะเริ่มคงที่ เนื่องจากเริ่มแรกยีสต์นำน้ำตาลไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งปริมาณน้ำตาลลดลงอย่างรวดเร็วจนปริมาณน้ำตาลไม่ลดลงและคงที่ เพราะปริมาณน้ำตาลมีมากเกินพอกับปริมาณเซลล์ยีสต์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า %Brix ใกล้เคียงกันมากทั้งการทดลองที่เติม Antifoam และการทดลองที่เติม Antifoam ซึ่งการทดลองที่ไม่เติม Antifoam ลดลงจาก %Brix 12.45 เหลือ 7.3 และการทดลองที่เติม Antifoam แนวโน้มการลดลงของ %Brix ก็อยู่ในช่วงเดียวกัน



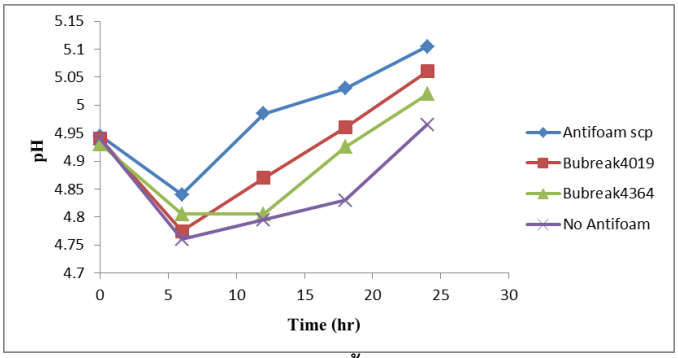
รูปที่ 2 %Brix ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยเติม Antifoam ชนิดต่างๆ กับเวลา

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าแนวโน้มของค่า %Ethanol จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 12 และจะเริ่มคงที่ เนื่องจาก Ethanolเกิดจากการหมักยีสต์กับกากน้ำตาลดังนั้นพอน้ำตาลเริ่มคงที่ Ethanolที่เกิดขึ้นก็เริ่มคงที่ด้วย ซึ่งการทดลองที่เติม Antifoam และ ไม่เติม Antifoam มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกันมาก ค่า %Ethanol ของการทดลองที่ไม่เติม Antifoam ที่ชั่วโมงที่ 24 คือ 3.485 %v/v และค่า %Ethanol ของการทดลองเติม Antifoam Bubreak4364 ที่ชั่วโมงที่ 24 คือ 3.48 %v/v ซึ่งแนวโน้มจะสอดคล้องกับการเพิ่มของจำนวนเซลล์(รูปที่ 1)



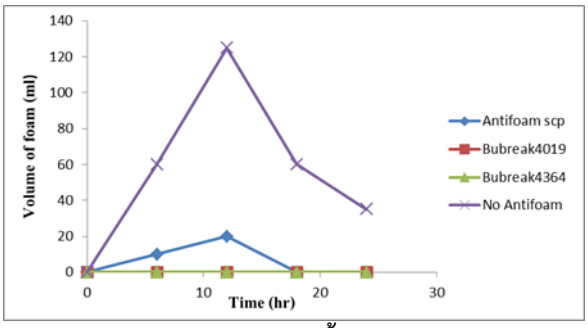
รูปที่ 3 ค่า %Ethanol ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยเติม Antifoam ชนิดต่างๆกับเวลา

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่า pH ของแต่ละการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันคือ ช่วงเวลาแรกจะลดลงและจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก แต่จะเห็นว่าการทดลองที่เติม Antifoam scp มีค่า pH สูงกว่าการทดลองอื่นคือที่ชั่วโมงที่ 24 ค่า pH เป็น 5.11 ส่วนการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 , Antifoam Bubreak 4364 และไม่เติม Antifoam มีค่า pH ที่ชั่วโมงที่ 24 เป็น 5.06 ,5.02 และ 4.97 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่า Antifoam มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำหมักเพิ่มขึ้น แต่ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วงของที่ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้



รูปที่ 4 ค่า pH ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยเติม Antifoam ชนิดต่างๆกับเวลา

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าการทดลองที่ไม่เติม Antifoam ฟองจะมีปริมาณมากกว่าการทดลองที่เติมAntifoam ค่อนข้างมาก คือ ชั่วโมงที่ 12 ปริมาณฟองสูงถึง 125 ml แต่การทดลองที่เติม Antifoam scp ปริมาณฟองเพียงแค่ 20 ml เท่านั้น สำหรับการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak 4364 ไม่เกิดฟองเลย จะเห็นว่าAntifoam 2 ชนิดนี้ประสิทธิภาพดีมาก

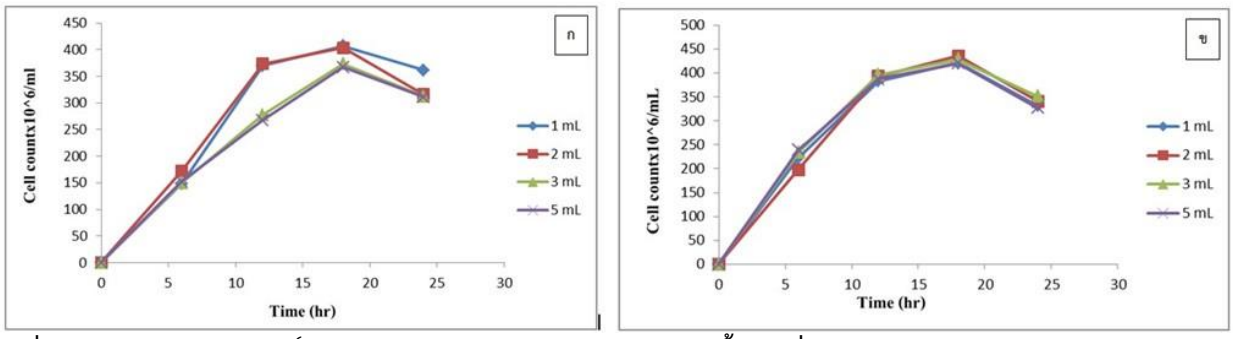


รูปที่ 5 ปริมาณฟองของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยเติม Antifoam ชนิดต่างๆกับเวลา

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลทั้งที่เติม Antifoam และไม่เติม Antifoam ทำให้ทราบว่าการเติม Antifoam มีผลต่อปริมาณฟองที่เกิดจากกระบวนการหมักและปริมาณเซลล์ยีสต์ เพราะจะเห็นว่าการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak4364 ปริมาณเซลล์ยีสต์จะเพิ่มจำนวนได้ช้ากว่าปริมาณเซลล์ยีสต์ในการทดลองที่ไม่เติม Antifoam เนื่องจากว่ายีสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็น dry yeast เมื่อเติมในน้ำหมักที่มี Antifoam จะมียีสต์บางส่วนที่ไปติดอยู่กับ Antifoam ซึ่งอาจทำให้ยีสต์ไม่เจริญเติบโตหรือเจริญเติบโตช้า แต่การเติม Antifoam ในการหมักไม่ได้มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการทำงานของยีสต์ เพราะจะเห็นได้จากค่า %Brix และค่า %Ethanol ของทุกการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากว่าปริมาณยีสต์ที่เจริญเติบโตมีเพียงพอที่จะทำให้เกิด Ethanol เท่ากับการทดลองที่ไม่เติม Antifoam และการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อยู่ในช่วงที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของยีสต์

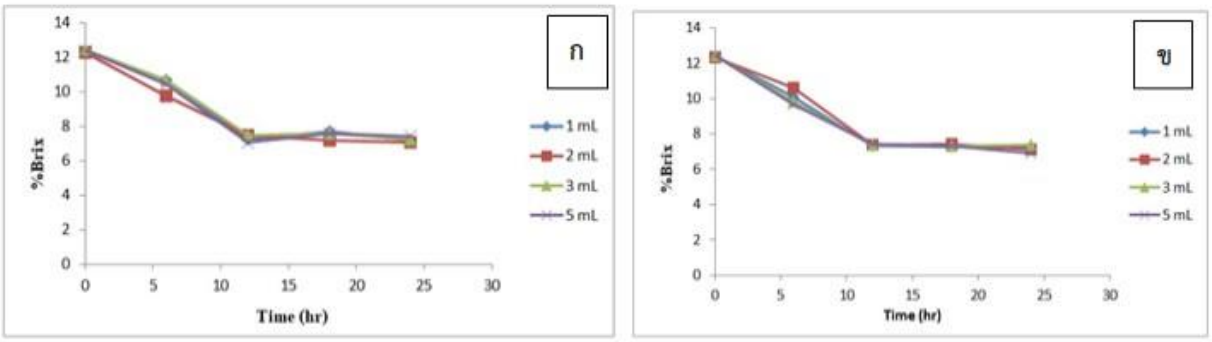
ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Antifoam Bubreak4364 และ Antifoam Bubreak4019

จากรูปที่ 6(ก) และ 6(ข) แสดงให้เห็นปริมาณเซลล์ยีสต์กับเวลาที่เป็นผลจากการเติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak4364 ในปริมาณต่างๆ จะเห็นว่าในส่วนของ Antifoam Bubreak4019 เมื่อเพิ่มปริมาณ Antifoam ทำให้ปริมาณเซลล์ยีสต์มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่น้อยลง จะเห็นในชั่วโมงที่ 12 ซึ่งเป็นเวลาที่ปริมาณเซลล์ยีสต์มากที่สุด การทดลองที่เติม 1 ml 2ml 3ml และ 5 ml มีปริมาณเซลล์ยีสต์ 370.25 x10^6 , 373.75 x10^6 , 277.5 x10^6 และ 267.5 x10^6 cell/ml ตามลำดับ ในขณะเดียวกันสำหรับการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4364 มีช่วงการเจริญเติบโตของเซลล์ยีสต์ใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มปริมาณ Antifoam



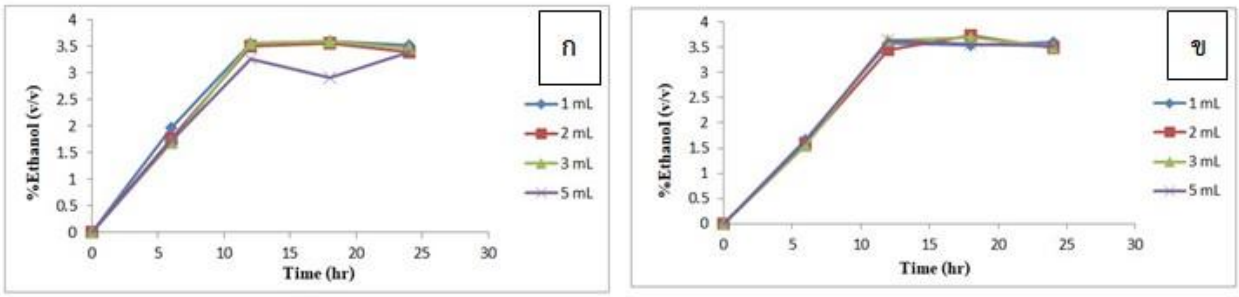
รูปที่ 6 ค่า Cell Count (x10^6 cell/ml)ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลที่เติม Antifoam ปริมาณ 1 ml ,2 ml,3ml และ 5 ml กับเวลา (ก) Antifoam Bubreak 4019 1%w/w (ข) Antifoam Bubreak 4364 1%w/w

จากรูปที่ 7(ก) และ 7(ข) แสดงให้เห็นค่า %Brix กับเวลา แนวโน้มของค่า %Brix จะลดลงเมื่อเริ่มการทดลองจนถึงจุดจุดหนึ่งที่ค่า %Brix จะเริ่มคงที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า %Brix ใกล้เคียงกันมาก แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณ Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak4364 ในการทดลองมากขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของ %Brix ในการทดลองที่เติม Antifoam ทั้งสองชนิดยังมีช่วงที่ใกล้เคียงกันมากด้วย



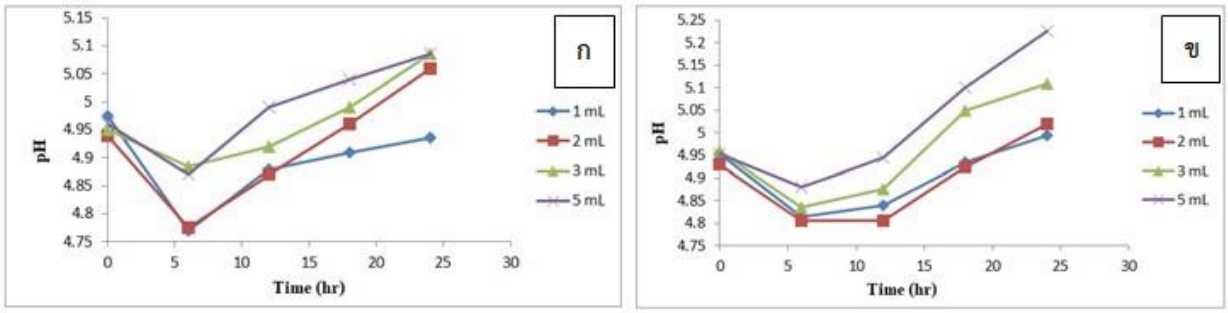
รูปที่ 7 ค่า %Brix ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลที่เติม Antifoam ปริมาณ 1 ml ,2 ml,3ml และ 5 ml กับเวลา (ก) Antifoam Bubreak 4019 1%w/w (ข) Antifoam Bubreak 4364 1%w/w

จากรูปที่ 8(ก) และ 8(ข) แสดงให้เห็นค่า %Ethanol กับเวลา จะเห็นว่าแนวโน้มของค่า %Ethanol จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 12 และจะเริ่มคงที่ ซึ่งจากกราฟทั้งการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak4364 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเหมือนกับค่า %Brix แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณ Antifoam ขึ้น แต่จะเห็นกราฟการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak 4019 ในชั่วโมงที่ 18 ปริมาณ Antifoam 5 ml ปริมาณเอทานอลลดลงมาจากประมาณ 3.5 เหลือ 3 %v/v ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Antifoam ส่งผลต่อการทำงานของยีสต์



รูปที่ 8 ค่า%Ethanol ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลที่เติม Antifoam ปริมาณ 1 ml, 2 ml,3 ml และ 5 ml กับเวลา (ก) Antifoam Bubreak4019 1%w/w (ข) Antifoam Bubreak4364 1%w/w

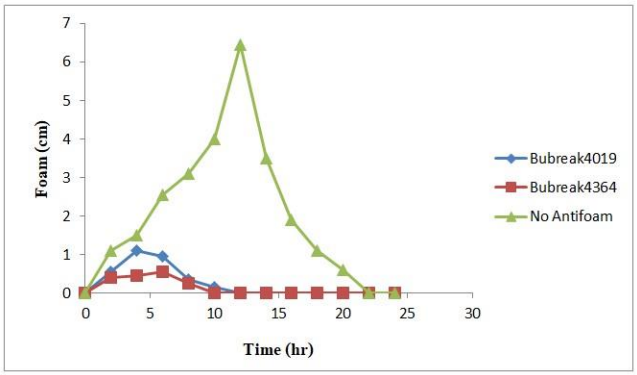
จากรูปที่ 9(ก) และ 9(ข) แสดงให้เห็นค่า pH กับเวลา จะเห็นว่าค่า pH ของแต่ละการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันคือ ช่วงเวลาแรกจะลดลงและจะเริ่มเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก แต่การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4019 จะเห็นความแตกต่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณ Antifoamขึ้น ทำให้ช่วงการเปลี่ยนเปลี่ยน pH เพิ่มขึ้น แต่ค่า pH ทั้งสองการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของยีสต์



รูปที่ 9 ค่า pH ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลที่เติม Antifoam ปริมาณ 1 ml, 2 ml, 3ml และ 5 ml กับเวลา (ก) Antifoam Bubreak 4019 1%w/w (ข) Antifoam Bubreak 4364 1%w/w

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลที่เติม Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak 4364 ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าในการทดลอง Antifoam Bubreak4019 ปริมาณเซลล์ยีสต์จะเพิ่มจำนวนได้ช้าลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Antifoam ซึ่งแตกต่างจาก Antifoam Bubreak4364 ที่เมื่อเพิ่มปริมาณ Antifoam ปริมาณเซลล์ยีสต์ยังมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันไม่ลดลงมาก อาจเนื่องมาจาก Antifoam Bubreak4019 จะมีความข้นและค่อนข้างมันกว่า Antifoam Bubreak4364 ทำให้ dry yeast ที่เติมลงไปติดอยู่กับ Antifoam ได้มากกว่า Antifoam Bubreak 4364 แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Antifoam Bubreak4019 และ Antifoam Bubreak 4364 ส่งผลต่อค่า %Brix และค่า %Ethanol ค่อนข้างน้อย เพราะจากรูปจะเห็นว่าค่า %Brix และค่า %Ethanol ในแต่ละปริมาณของ Antifoam แตกต่างกันน้อยมาก แต่จะเห็นว่า Antifoam Bubreak4019 ปริมาณมากที่สุดเริ่มมีผลต่อการเกิด %Ethanol อาจเนื่องผลจากการเจริญเติบโตของยีสต์ที่ช้าและน้อยลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อยู่ในช่วงที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของยีสต์

จากรูปที่ 10 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Antifoam Bubreak4364และ Antifoam Bubreak4019 ในการลดปริมาณฟองที่เกิดจากกระบวนการหมักเอทานอล โดยเติม Pure Antifoam 0.18 ml ในกากน้ำตาลที่มีปริมาณ 1800 ml แล้วหมักกับยีสต์ 4.5 g เป็นเวลา 24 hr ที่อุณหภูมิห้อง วัดปริมาณฟองทุกๆ 2 hr ผลที่ได้พบว่าการทดลองที่เติม Antifoam Bubreak4364 มีปริมาณฟองที่เกิดขึ้นน้อยกว่าที่เติม Antifoam Bubreak4019 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า Antifoam Bubreak4364 มีประสิทธิภาพในการลดฟองดีกว่า Antifoam Bubreak4019 นอกจากนี้ปริมาณฟองของการทดลองที่เติม Antifoam และไม่เติม Antifoam จะแตกต่างกันมากซึ่งในการทดลองที่เติม Antifoam ปริมาณฟองลดลงจากที่ไม่ได้เติมประมาณ 90 %



รูปที่ 10 ค่าปริมาณฟอง (cm) ของการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาลโดยเติม Pure Bubreak4019 ,Antifoam Bubreak 4364 ปริมาณ 0.18 ml และไม่เติม Antifoam กับเวลา

สรุป

การกำจัดฟองในการหมักเอทานอลด้วยน้ำตาลโดยใช้สารลดฟอง โดยศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดฟอง ซึ่ง Antifoam ที่ใช้ในงานวิจัย คือ Antifoam scp, Bubreak4364 และ Bubreak4019 พบว่า Antifoam Bubreak4364 เป็น Antifoam ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟองได้ดีที่สุด และปริมาณ Antifoam Bubreak4364 ที่เหมาะสมกับการใช้กำจัดฟอง คือ อัตราส่วนน้ำหมัก 1800 ml : 0.18 ml Pure Antifoam Bubreak4364 นอกจากนี้ในภาพรวมแล้ว Antifoam Bubreak4364 ยังส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อกระบวนการหมักเอทานอลด้วยกากน้ำตาล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงงานอุบลไบโอเอทาอล จ.อุบลราชธานีและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนวัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุพัฒน์ อรรถธรรม. 2549. เชื้อเพลิงชีวภาพและพันธุวิศวกรรม. ศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพและความปลอดภัยทางชีวภาพ, ปีที่ 5 ฉบับที่ 16 สิงหาคม 2549.

[2] องค์การสุรา กรมสรรพสามิต, สืบค้น 6 ต.ค. พ.ศ.2566. https://www.liquor.or.th/aic/detail/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%AE%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B9%8C

[3] Akidumila, F. and Glatz, B.A. Growth and production of Apiotrichum curvatum in tomato Juice. Journal of Food Protection. 1998;6:1515-1517.

[4] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาการเพิ่มผลผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล. กระทรวงพลังงาน, กุมภาพันธ์ 2562.

[5] https://www.welkinchemi.com/product/30148-24263/anti-defoamer สืบค้น 2 พ.ย. พ.ศ.2566.

09R2-01

การดูดซับสารไตรโคลคาร์บานด้วยไบโอชาร์ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร

Triclocarban Adsorption Using Biochar Derived from Agro-industrial Waste

วรรณศร สายสุวรรณ[1] ขวัญชนก สอนสุภาพ[2] และ สุมนา ราษฎร์ภักดี[3*]
Wannasorn Saisuwan[1] Khuanchanok Sonsuphab[2] and Sumana Ratpukdi[3*]
[1]นักศึกษา; [2]นักวิชาการวิทยาศาสตร์; [3*]อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์ : 08 3419 3993, โทรสาร : 043 202571, E-mail : sumana.r@kku.ac.th

บทคัดย่อ

สารไตรโคลคาร์บาน (TCC) เป็นสารต้านจุลชีพที่ใช้เป็นส่วนประกอบในยาและผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลหลายชนิดส่งผลให้พบการปนเปื้อน TCC ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและก่อให้เกิดการแพร่กระจายและการสะสมของมลสารในสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับ TCC ด้วยไบโอชาร์ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร ไบโอชาร์ดังกล่าวนี้เป็นถ่านเหลือทิ้งจากกระบวนการไพโลไรซิสไม้ยูคาลิปตัสเพื่อผลิตน้ำส้มควันไม้ การทดลองขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ ณ ความเข้มข้น TCC เริ่มต้น 2 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าจลนศาสตร์การดูดซับ TCC เป็นไปตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมและมีค่าคงที่จลนศาสตร์การดูดซับเท่ากับ 0.0012 และ 0.0023 1/นาที ตามลำดับ ความเข้มข้นมีผลต่ออัตราการดูดซับและกลไกการดูดซับเกิดจากแรงทางกายภาพเป็นสำคัญ สำหรับขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ TCC ณ ความเข้มข้น TCC เริ่มต้น 2 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าพฤติกรรมการดูดซับ TCC เป็นไปตามแบบจำลอง Langmuir โดยมีความสามารถในการดูดซับ TCC เท่ากับ 2.8868 มิลลิกรัมต่อกรัม ภาพรวมของผลการศึกษานี้บ่งชี้ความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่มีความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : การกำจัด; ถ่าน; วัสดุเหลือทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร; สารต้านจุลชีพ

Abstract

Triclocarban (TCC) is an antimicrobial agent used in several pharmaceuticals and personal care products, leading to its occurrence in municipal wastewater treatment systems. This also causes distribution and accumulation of the pollutant in the environment. This study aims to investigate the potential of TCC adsorption using biochar derived from agro-industrial waste. The mentioned biochar is a waste char from pyrolysis of eucalyptus wood for wood vinegar production. The first part of the experiment is to determine adsorption kinetics at initial TCC concentrations of 2 and 100 mg/L. The result showed that the TCC adsorption kinetics followed the pseudo-first-order reaction kinetic model with the adsorption constants of 0.0012 and 0.0023 1/min, respectively. The concentration affects the adsorption rate and the adsorption mechanism is predominantly governed by physical process. For the second part, the TCC adsorption isotherm experiment at concentrations of from 2 to 100 mg/L was carried out. It was found that the TCC adsorption followed the Langmuir model with an adsorption capacity of 2.8868 mg/g. Overall, the findings from this study indicated the feasibility of agro-industrial waste use for removing toxic contaminants from the environment effectively.

Keywords : Antimicrobial agent; char; agro-industrial residue; removal

บทนำ

สารไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban; TCC) ซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ $C_{13}H_9Cl_3N_2O$ เป็นสารต้านจุลชีพที่ใช้เป็นส่วนประกอบในยาและผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลหลายชนิดส่งผลให้ตรวจพบ TCC สูงถึงระดับมิลลิกรัมในสิ่งแวดล้อม ทั้งแหล่งน้ำผิวดิน ทะเล และน้ำท่าเกษตรกรรม [1] รวมทั้งยังมีรายงานถึงการตรวจพบ TCC สะสมในตะกอนท้องน้ำและสิ่งมีชีวิตตามห่วงโซ่อาหาร อาทิ ไส้เดือน ปลา นก และมนุษย์ ทั้งนี้ TCC จัดเป็นมลสารอุบัติใหม่ที่เป็นกังวลหรือที่เรียกกันว่า Contaminants of emerging concern [2] เนื่องจาก TCC เป็นสารพิษ เป็นสารรบกวนระบบต่อมไร้ท่อในมนุษย์ รวมทั้งเป็นสารก่อมะเร็ง ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัด TCC ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การดูดซับเป็นหนึ่งในวิธีการที่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารขึ้นอยู่กับชนิดสารและวัสดุดูดซับ ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียให้เกิดประโยชน์เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย จากงานวิจัยในอดีตพบว่าอุตสาหกรรมเกษตรจำพวกการผลิตน้ำส้มควันไม้หรือไบโอออยล์ยังมีวัสดุเหลือทิ้งจำพวกถ่านในปริมาณมากถึงร้อยละ 35-50 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น [3] ถ่านเหลือทิ้งหรือไบโอชาร์ (Biochar) เหล่านี้เกิดจากกระบวนการเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่อย่างจำกัดทำให้เกิดเป็นไบโอชาร์ที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมากจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดมลสารได้

จากปัญหา TCC ข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าปัจจุบันยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการดูดซับอย่างจำกัด โดยงานวิจัยในอดีตมุ่งเน้นการใช้ไบโอชาร์เพื่อเป็นวัสดุตรึงจุลินทรีย์หรือการปรับปรุงวัสดุเพื่อเพิ่มความสามารถในการกำจัด TCC [2] ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาความสามารถของถ่านเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อดูดซับ TCC ดังนั้นงานวิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไบโอชาร์เหลือทิ้งมาใช้สำหรับดูดซับ TCC ตกค้างในน้ำ ผลจากการศึกษานี้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมมลสารในน้ำแล้วยังเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 6 และ 9 ซึ่งครอบคลุมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบองค์รวมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ ผลการศึกษาใช้พิจารณาหาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลและอัตราการดูดซับ และส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ TCC ผลการทดลองขั้นตอนนี้นำมาวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับ TCC

1. การเตรียมไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำส้มควันไม้ จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย โดยไม้ยูคาลิปตัสถูกส่งเข้าสู่เตาเผาแบบไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน แล้วจึงลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จนเข้าสู่อุณหภูมิบรรยายกาศในเวลา 20 วัน จากนั้นบดและคัดแยกขนาดไบโอชาร์ให้ได้ขนาด 2 - 4 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไบโอชาร์ไปล้างด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และทำให้แห้งโดยการนำไบโอชาร์ไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไบโอชาร์ไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที) จำนวน 2 รอบ [4]

2. การศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ใช้ในการศึกษาได้วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนด้วยเทคนิคการวัดพื้นที่ผิวของตัวอย่าง (Brunauer-Emmett-Teller : BET) และสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ทั้งไบโอชาร์ก่อนและหลังใช้งาน

3. การศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับ TCC

การทดลองดำเนินการแบบแบตช์ (Batch) ณ ความเข้มข้น TCC เริ่มต้น 2 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ขั้นตอนนี้ใช้ปริมาณไบโอชาร์ 0.5 กรัม เติมลงในถังปฏิกรณ์ 50 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง และสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งละ 0.5 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นคงเหลือของสารไตรโคลคาร์บาน ปริมาณสารไตรโคลคาร์บานที่ดูดซับอยู่บนไบโอชาร์ สำหรับการอธิบายจลนศาสตร์ได้คำนวณการดูดซับ TCC ตามแบบจำลอง

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order) และ ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second order) ได้ดังสมการ (1) และ (2)

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

เมื่อ q_e และ q_t คือ ปริมาณ TCC ที่ดูดซับอยู่บนไบโอชาร์ ณ สภาวะสมดุล และเวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)
k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและสองเทียม (1/นาที และ กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที)

4. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ TCC

การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ TCC ทดลอง ณ ความเข้มข้น TCC เริ่มต้น 2 5 20 50 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดลองเติมไบโอชาร์ 0.5 กรัม ลงในสารละลายไตรโคลคาร์บาน 50 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาศึกษาหาไอโซเทอมการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich ดังสมการ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e} \quad (3)$$

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

เมื่อ q_e และ q_m คือ ปริมาณ TCC ที่ดูดซับอยู่บนไบโอชาร์ ณ สภาวะสมดุล และสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)
C_e คือ ความเข้มข้น TCC ที่คงเหลือ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
K_L และ K_f คือ ค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich (ลิตรต่อมิลลิกรัม และ มิลลิกรัมต่อกรัม)
n คือ ค่าความหนาแน่นการดูดซับ

5. การวิเคราะห์สารไตรโคลคาร์บาน

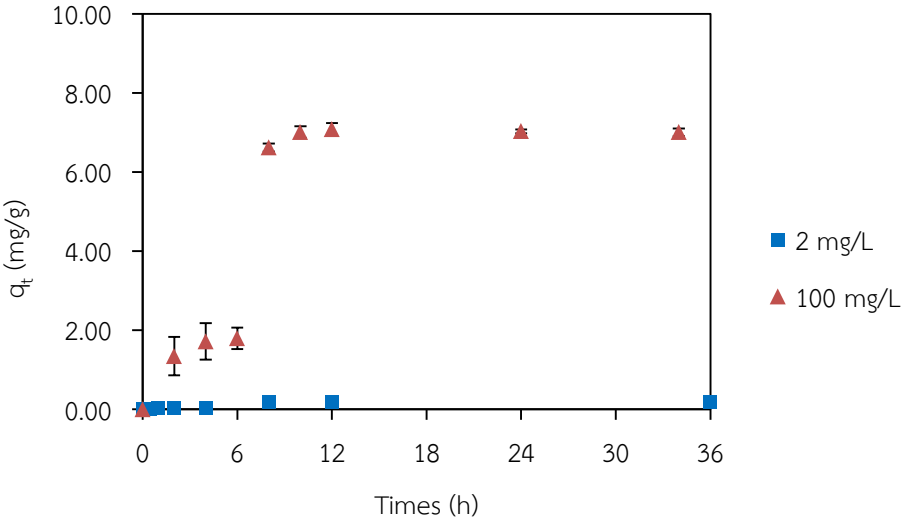
การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สาร TCC น้ำตัวอย่างถูกเจือจางด้วยสารอะซิโตไนไตรล์ด้วยอัตราส่วนระหว่างตัวอย่างและตัวทำละลายเท่ากับ 1:2 โดยปริมาตร และผสมสารละลายโดยใช้เครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตัวอย่างที่ถูกเจือจางนำมากรองผ่านตัวกรองเข็มฉีดยาไนลอน (Nylon syringe filter) ขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน

ตัวอย่างตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC) ที่บรรจุคอลัมน์ชนิด C18 และใช้เครื่องตรวจจับชนิดยูวี (UV detector) ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร และใช้เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็นสารอะซิโตไนไตรล์และน้ำปราศจากไอออนผสมในอัตราส่วน 75:25 โดยปริมาตร อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

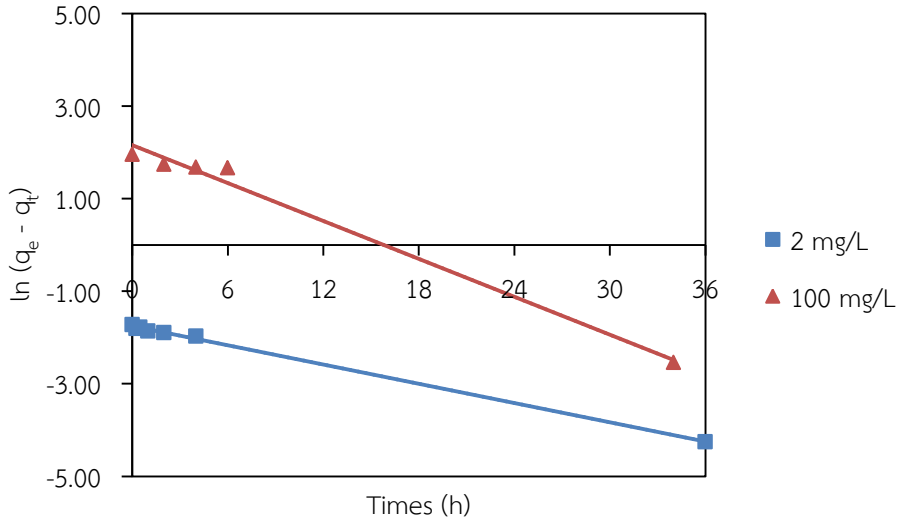
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับ TCC

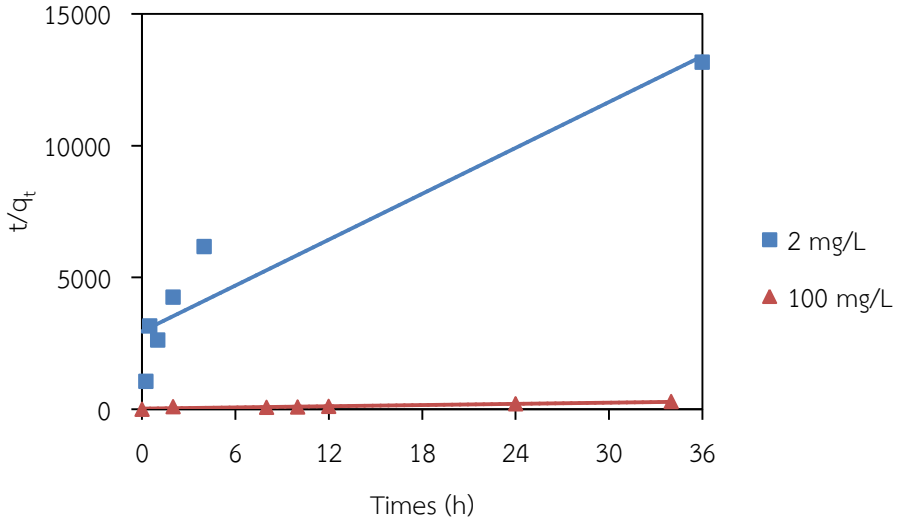
จากการศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับ TCC พบว่าไบโอชาร์ดูดซับ TCC อย่างรวดเร็วจนเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ระยะเวลา 8 และ 12 ชั่งโมง สำหรับน้ำปนเปื้อน TCC 2 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ไบโอชาร์ดูดซับ TCC ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นสูงได้ดี [5] เมื่อพิจารณาการดูดซับตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม และแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียมแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 เมื่อพิจารณาจลนศาสตร์การดูดซับตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับเทียม โดยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์การดูดซับ TCC แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ TCC ที่ความเข้มข้น 2 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 2 แบบจำลองปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมของการดูดซับ TCC



ภาพที่ 3 แบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองเทียมของการดูดซับ TCC

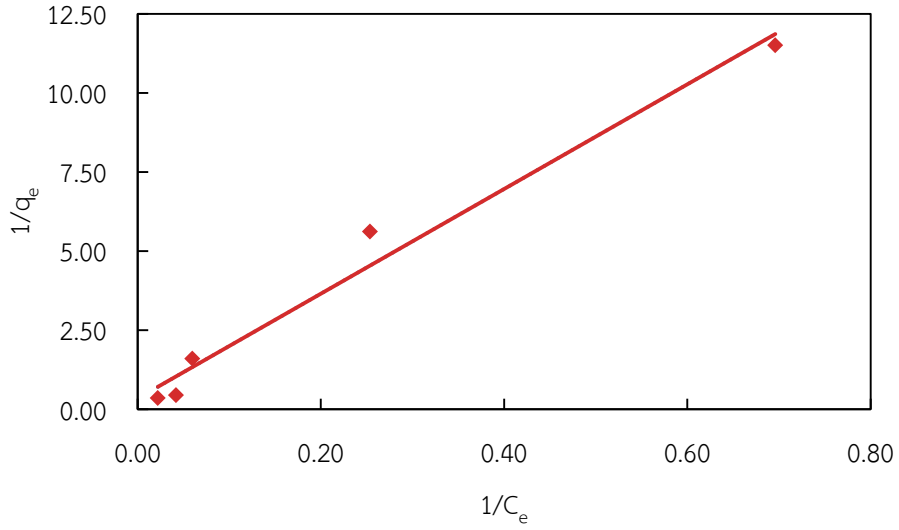
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์การดูดซับ TCC

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (Pseudo-first order)			
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	k_1 (1/นาที)	q_e (มิลลิกรัมต่อกรัม)	R^2
2	0.0012	0.1737	0.9985
100	0.0023	8.6538	0.9883
ปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (Pseudo-second order)			
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	k_2 (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที)	q_e (มิลลิกรัมต่อกรัม)	R^2
2	0.0079	0.2069	0.9027
100	0.0007	7.8431	0.9334

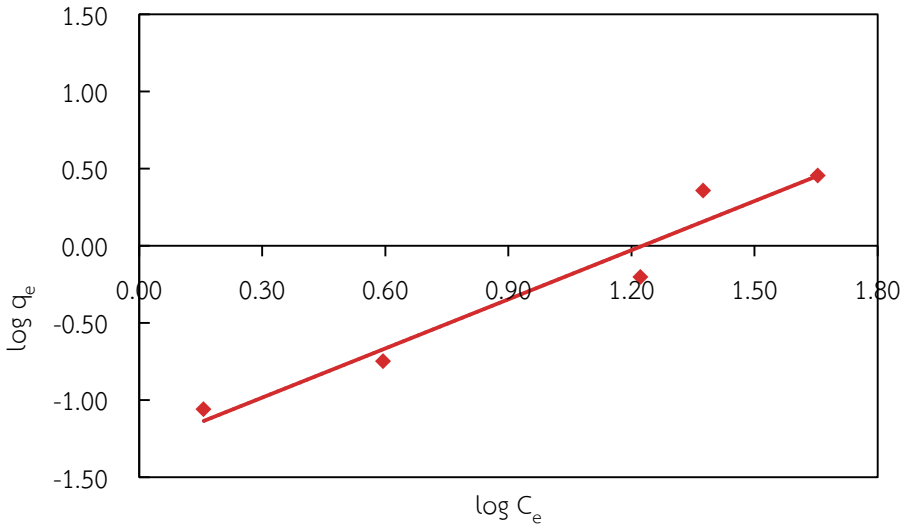
ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับ TCC ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกันส่งผลแตกต่างกัน โดยภาพรวมจลนพลศาสตร์การดูดซับ TCC มีแนวโน้มเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้น 2 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงถึง 0.9985 และ 0.9883 ตามลำดับ ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าความเข้มข้นมีผลต่ออัตราการดูดซับและกลไกการดูดซับเกิดจากแรงทางกายภาพเป็นสำคัญ โดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมสามารถบ่งบอกปฏิกิริยาได้ในช่วงของการทดลองระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาการดูดซับ กล่าวคือ การดูดซับเริ่มต้นอย่างรวดเร็วไปยังพื้นผิวด้านนอก [6] แสดงว่าความเข้มข้นของ TCC มีผลต่อกระบวนการดูดซับและค่าความสามารถในการดูดซับ TCC ของไบโอชาร์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของ TCC เพิ่มขึ้น [2]

2. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ TCC

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับ TCC ณ ความเข้มข้น 2 5 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าไบโอชาร์สามารถดูดซับ TCC ได้ร้อยละ 27.25 ถึง 48.93 เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับด้วยแบบจำลองไอโซเทอมตามสมการของ Langmuir แสดงดังภาพที่ 4 และไอโซเทอมสมการของ Freundlich แสดงดังภาพที่ 5 สำหรับพารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับ TCC แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 4 ไอโซเทอมการดูดซับ TCC ตามสมการของ Langmuir



ภาพที่ 5 ไอโซเทอมการดูดซับ TCC ตามสมการของ Freundlich

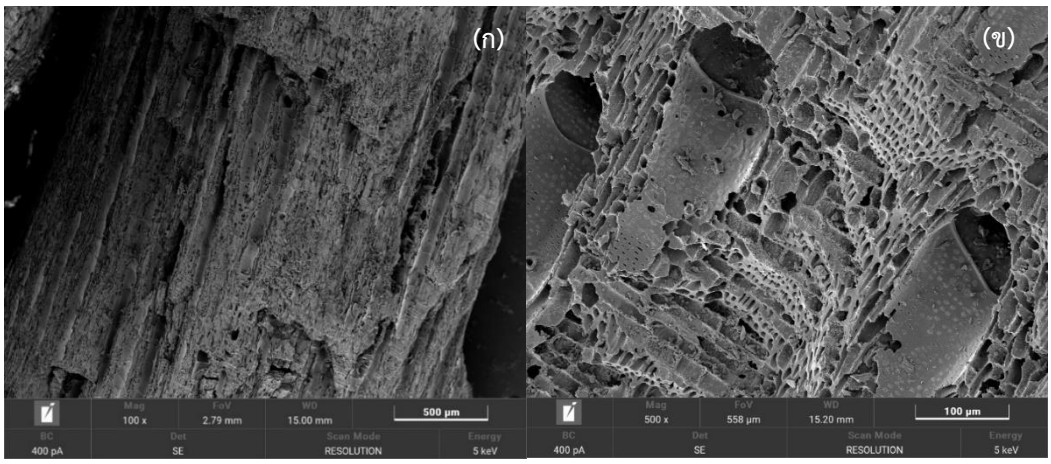
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ไอโซเทอมการดูดซับ TCC

Langmuir			Freundlich		
q_m (มิลลิกรัมต่อกรัม)	K_L (ลิตรต่อมิลลิกรัม)	R^2	n	K_f (มิลลิกรัมต่อกรัม)	R^2
2.8868	0.0209	0.9797	0.9422	0.2717	0.9486

จากค่า R^2 พบว่าการดูดซับ TCC เป็นไปตามสมการของ Langmuir (R^2>0.97) ผลการทดลองนี้บ่งชี้พฤติกรรมการดูดซับ TCC เป็นการดูดซับที่ผิวไบโอชาร์ชั้นเดียว (Monolayer) และตำแหน่งการดูดซับบนตัวดูดซับจะกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ และค่า K_L นั้นยังอยู่ในช่วง $0<K_L<1$ ซึ่งเป็นการยืนยันเพิ่มเติมว่าสารประกอบนี้เอื้อต่อการกำจัดสารไตรโคลคาร์บาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยไบโอชาร์ในงานวิจัยในอดีต [2]

3. การศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์

การศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์ด้วยการสังเกตทางสัณฐานวิทยาของไบโอชาร์ด้วยการใช้กล้อง SEM พบว่าไบโอชาร์ที่ใช้ศึกษาครั้งนี้เป็นถ่านไม้ยูคาลิปตัสเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำส้มควันไม้ซึ่งผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง (800 องศาเซลเซียส) ดังนั้นวัสดุจึงมีรูพรุนจำนวนมากแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 สัณฐานวิทยาของไบโอชาร์บริเวณ (ก) พื้นผิวรอบนอก และ (ข) พื้นผิวด้านใน

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของไบโอชาร์ (ถ่านเหลือทิ้ง) ก่อนใช้งานมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 2.389 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 1.760×10^{-2} ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 1.474×10^{2} นาโนเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนค่อนข้างต่ำ [2] เมื่อวิเคราะห์ไบโอชาร์หลังการดูดซับ TCC ไบโอชาร์มีพื้นที่ผิวจำเพาะเหลือเพียง 1.318 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ค่าพื้นที่ผิวลดลงหลังจากการนำไบโอชาร์ไปใช้งานสนับสนุนผลการทดสอบดูดซับ TCC โดยภาพรวมสามารถกล่าวได้ว่าแม้ถ่านเหลือทิ้งมีพื้นที่ผิวจำเพาะไม่มากนักแต่ก็สามารถใช้งานสำหรับการดูดซับ TCC ได้เป็นอย่างดีและบ่งชี้โอกาสประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์พิษที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชนิดอื่น ๆ ได้เช่นกัน

สรุป

จากการศึกษาการดูดซับ TCC ด้วยไบโอชาร์พบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดมลสารได้ กลไกการดูดซับเป็นแบบกายภาพเป็นหลักตามจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (0.0012 และ 0.0023 1/นาที สำหรับ TCC 2 และ 100 mg/L ตามลำดับ) และความเข้มข้นของ TCC เริ่มต้นส่งผลต่ออัตราการดูดซับ TCC สำหรับความสามารถในการดูดซับ TCC พบว่าไบโอชาร์มีพฤติกรรมการดูดซับตามแบบจำลอง Langmuir โดยมีความสามารถในการกำจัด TCC เท่ากับ 2.8868 มิลลิกรัมต่อกรัม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนวิจัย รวมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ปฏิบัติการจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เครื่องมือวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Tran, N.H., Reinhard, M., Khan, E., Chen, H., Nguyen, V.T., Li, Y., Goh, S.G., Nguyen, Q.B., Saeidi, N.and Gin, K.Y.H. 2019. Emerging contaminants in wastewater, stormwater runoff, and surface water: Application as chemical markers for diffuse sources. Science of the Total Environment, 676: 252–267.

[2] Jenjaiwit, S., Supanchaiyamat, N., Hunt, A.J., Ngernyen, Y., Ratpukdi, T. and Siripattanakul-Ratpukdi, S. 2021. Removal of triclocarban from treated wastewater using cell-immobilized biochar as a sustainable water treatment technology. Journal of Cleaner Production, 320: 128919.

[3] Zhu, L., Lei, H., Zhang, Y., Zhang, X., Bu, Q., Weu, L., Yadavalli, G. and Villota, E. 2018. A review of biochar derived from pyrolysis and its application in biofuel production. SF Journal of Material and Chemical Engineering, 1: 1007.

[4] Sonsuphab, K., Toomsan, W., Supanchaiyamat, N., Hunt, A. J., Ngernyen, Y., Ratpukdi, T., & Siripattanakul-Ratpukdi, S. 2022. Enhanced triclocarban remediation from groundwater using Pseudomonas fluorescens strain MC46 immobilized on agro-industrial waste-derived biochar: Optimization and kinetic analysis. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(3).

[5] Fasfous, I. I., Radwan, E. S., Dawoud J. N. 2010. Kinetics, Equilibrium and Thermodynamics of the Sorption of Tetrabromobisphenol A on Multiwalled Carbon Nanotubes, Appl. Surf. Sci, 256 (23), 7246–7252.

[6] Ho, Y.S., Mckay, G., 1999. The sorption of lead (II) ions on peat. Water Resources, 33, 578–584.

09R2-02

การสะสมและที่มาของไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 µm) ของปลาซาร์ดีนกระป๋องในซอสมะเขือเทศ

The Accumulation and Sources of Small-sized Microplastics (1-20 µm) of Canned Sardines in Tomato Sauce

ฐิติวัฒน์ มาตฤปโยธร[1] ถนอมศักดิ์ บุญภักดี[2*] และ สุปราณี แก้วภิรมย์[3]
Thitiwat Mataroepayotorn[1] Thanomsak Boonphakdee[2*] and Supranee Kaewpirom[3]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์; [2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์; [3]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
[*]โทรศัพท์ : 083-0404180, E-mail : thanomsa@buu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 µm) ในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ปลาซาร์ดีนกระป๋อง พบไมโครพลาสติกในปลาซาร์ดีนกระป๋อง 415.98±45.66 µg/can โดยส่วนใหญ่มาจากเนื้อปลาซาร์ดีนเป็นหลัก (88.9%) กระบวนการผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋องส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไมโครพลาสติก เช่น การนึ่ง (3.19±0.15 ng/l) การปิดฝา (1.37±0.06 ng/l) และการรีทอร์ท (8.4-10.9% ของปริมาณทั้งหมด) และยังพบไมโครพลาสติกปนเปื้อนในวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิต เช่น ปลาซาร์ดีน และวัตถุดิบผลิตซอส ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานของกระบวนการผลิตที่จะมาช่วยในการควบคุมและลดปริมาณของไมโครพลาสติกในผลิตภัณฑ์ (GHPs, HACCP และ ISO22004) ซึ่งจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการสะสมไมโครพลาสติกซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกายของผู้บริโภคในอนาคตได้อนาคต

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติกขนาดเล็ก; ปลาซาร์ดีนกระป๋อง; กระบวนการผลิต

Abstract

In this study, we investigated the amount of small-sized microplastics (1-20 µm) in the production process and canned sardine products. Microplastics were found in canned sardines at 415.98±45.66 µg/can, mostly from sardine meat (88.9%). The production process of canned sardines increased the number of microplastics, such as steaming (3.19±0.15 ng/l), capping (1.37±0.06 ng/l), and retorting (8.4-10.9% of the total amount). Additionally, microplastic contamination was also found in the main ingredients for production, such as sardine meat and the main ingredients used in making sauce. Currently, there are no production process standards to control and reduce the amount of microplastics in products (GHPs, HACCP, and ISO22004), which can decrease the risk of microplastic accumulation, which potentially poses health risks to consumers.

Keywords : small-sized microplastics; canned sardines; production processes

บทนำ

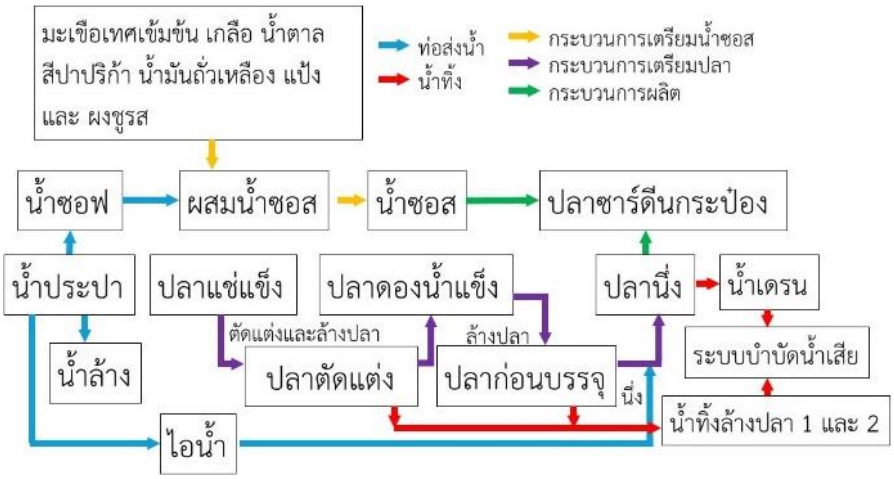
ไมโครพลาสติกเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทั่วโลก ทั้งแหล่งน้ำ ดิน และอากาศ โดยไมโครพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อม มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 µm มากที่สุด ซึ่งสิ่งแวดล้อมทางทะเลเป็นแหล่งสะสมของพลาสติกมากที่สุดของโลก [1] ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางทะเลนั้นมีการสะสมของไมโครพลาสติกในห่วงโซ่อาหารซึ่งสามารถถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภคลำดับสูงสุด (Top Consumer) จากการบริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้ [2] ปัจจุบันพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<20 µm) ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแปรรูปเพิ่มมากขึ้น เช่น ปลาแซลมอนรมควัน [3] ปลาทูน่ากระป๋อง [4,5] ปลิงทะเลกระป๋อง [6] และปลาซาร์ดีนกระป๋อง [7,8] ซึ่งปัจจุบัน พบว่ามีงานวิจัยที่ตรวจหาไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<20 µm) ในผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้ไม่มากนัก

ไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<20 µm) สามารถสะสมในร่างกายของมนุษย์โดยการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก [2] ซึ่งพบว่ามีไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<20 µm) ตกค้างอยู่ในร่างกายของมนุษย์ [9,10,11] ซึ่งมีความเป็นพิษต่อเซลล์ของมนุษย์ และส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาท ระบบหายใจ ระบบสืบพันธุ์ และ ระบบย่อยอาหาร [12] และเป็นพาหะของสารเคมีและจุลินทรีย์ก่อโรค และยังเป็นหนึ่งในสาเหตุของการดื้อยาในจุลินทรีย์ เนื่องจากไมโครพลาสติกไปขัดขวางและกระจายทิศทางของยาปฏิชีวนะ ทำให้ยาปฏิชีวนะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [11] แต่ในขณะนี้ ยังไม่มีงานวิจัยใดที่แสดงถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ต่อปริมาณของไมโครพลาสติกที่มนุษย์ได้รับเข้าสู่ร่างกาย [10]

อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบรายงานที่บ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 µm) ในผลิตภัณฑ์ปลาซาร์ดีนกระป๋อง [7,8] และไม่มีมาตรฐานด้านปริมาณไมโครพลาสติกปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารจาก International Standardization Organization (ISO 22004) [13,14] และความปลอดภัยของอาหารที่มีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากกระบวนการผลิตของโรงงานจาก Good Hygiene Practices (GHPs) และ Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) ข้อกำหนดเหล่านี้เป็นมาตรฐานสากลที่ทั่วโลกยอมรับและนำไปใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค [15] ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถบ่งชี้ได้ถึงแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการในการพิจารณามาตรการของการลดและป้องกันการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกให้มีปริมาณน้อยที่สุด และเป็นแนวทางที่จะกำหนดมาตรฐานสินค้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการบริโภคอาหารทะเล (seafood safety) โดยเฉพาะปลาซาร์ดีนกระป๋องในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบทุกชนิด (รูปที่ 1) จากกระบวนการผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋องของโรงงานผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋องแห่งหนึ่ง ทั้งนี้วัตถุดิบที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ วัตถุดิบปลา วัตถุดิบผลิตซอส (น้ำตาล เกลือ แป้ง ผงชูรส มะเขือเทศเข้มข้น สีปาปริก้า น้ำมันถั่วเหลือง) น้ำใช้ในการผลิตทั้งหมด น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย และผลิตภัณฑ์ปลาซาร์ดีนกระป๋องที่มาจากสายการผลิตเดียวกัน โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (n=3) และเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม พ.ศ.2567



รูปที่ 1 ตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและแผนผังกระบวนการผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋องในซอสมะเขือเทศ

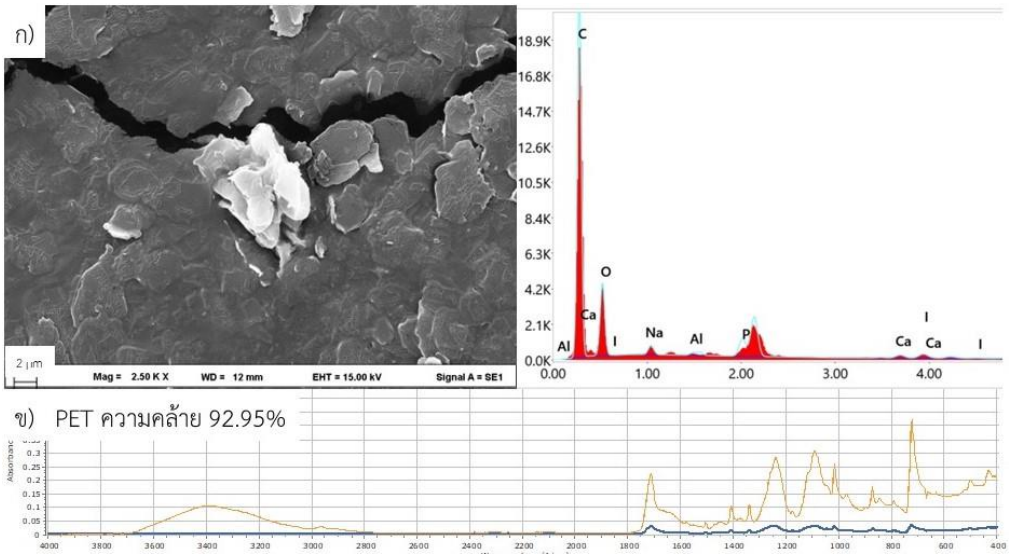
วิธีการสกัดแยกไมโครพลาสติก

ทำการสกัดแยกไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Su et al. (2016) [16] และ Liu et al. (2018) [17] โดยเติม 200mM NaOH และ 20% SLS ลงในตัวอย่าง ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 50 ℃ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอนไซม์ย่อยโปรตีน 20 mg/ml บ่มที่อุณหภูมิ 50 ℃ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เติม 30% H_2O_2 1 ml บ่มต่อที่อุณหภูมิ 50 ℃ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านตะแกรงกรองขนาดรูกรอง 20 µm ใส่ลงกรวยตกตะกอนและเติม 6M Nal ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน นำสารละลายส่วนบนมากรองผ่าน 1 µm Polycarbonate (PCTE) Membrane Filters (Sterlitech) หยด Nile-Red 0.01 mg/ml จำนวน 3 หยด ทำการนับจำนวนไมโครพลาสติกภายใต้กล้อง Fluorescence stereo microscopes กำลังขยาย 40 เท่า (Model camera KÖnigsalle optronic, Germany) [5]

สัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบของไมโครพลาสติก

ศึกษาลักษณะพื้นผิว โครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมีที่พื้นผิวเชิงคุณภาพและปริมาณของไมโครพลาสติก ด้วยเทคนิค Scanning electron microscope - Energy Dispersive X-Ray Analysis (SEM-EDX) [5] เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนขององค์ประกอบ C และ O ของพอลิเมอร์ และทำการสุ่มพอลิเมอร์บางส่วนเพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิค micro Fourier Transform Interferometer (µ-FTIR) [18]

ผลจากการวิเคราะห์ SEM-EDX พบว่า ไมโครพลาสติกที่พบ มีองค์ประกอบหลักคือ C และ O ซึ่งสามารถบอกได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบเป็นพอลิเมอร์มากกว่า 94 % (รูปที่ 2ก) และจากการวิเคราะห์พอลิเมอร์บางส่วนด้วยเทคนิค µ-FTIR พบว่ามีความคล้ายพลาสติกชนิด Polyethylene terephthalate (PET) 92.95% (รูปที่ 2ข) [18]



รูปที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกด้วยวิธี ก) SEM- EDX และ ข) µ-FTIR

การตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพ

น้ำและสารละลายทุกชนิดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะผ่านการกรองด้วย 0.45 µm Cellulose nitrate filter (Whatman) และจัดให้มีชุดควบคุมโดยใช้น้ำกลั่นเพื่อตรวจการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ [9,19] โดยเมื่อเสร็จสิ้นการนับจำนวนชิ้นตัวอย่างไมโครพลาสติกแล้ว จะนำปริมาณไมโครพลาสติกที่นับได้จากชุดควบคุมมาหักลบออกจากปริมาณชิ้นไมโครพลาสติกที่นับได้จากตัวอย่าง เพื่อให้ได้จำนวนไมโครพลาสติกที่แท้จริง [20]

ทำการประเมินประสิทธิภาพการสกัดแยกไมโครพลาสติกออกจากตัวอย่าง โดยนำชิ้นไมโครพลาสติกขนาด 20-300 µm มาผ่านกระบวนการเตรียมและสกัดไมโครพลาสติกเช่นเดียวกับตัวอย่าง นำจำนวนไมโครพลาสติกที่นับได้มาคำนวณ %Recovery ของกระบวนการสกัดไมโครพลาสติก [7] ซึ่งพบว่ามี %Recovery เท่ากับ 93.00±4.36% ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ [19] แสดงให้เห็นว่าการสกัดไมโครพลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถแยกไมโครพลาสติกออกจากตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับวิธีการสกัดไมโครพลาสติกในงานวิจัยของ Karami at el. (2016) [21] และ Duman at el. (2023) [3]

การคำนวณน้ำหนักไมโครพลาสติก

มวลของไมโครพลาสติกแต่ละขนาดและชนิด สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) [22]

$$\sum W = \sum 4/3\ \rho\pi r^3 \quad (1)$$

$\sum W$ = ผลรวมของน้ำหนักไมโครพลาสติกทั้งหมด (g_{MPs})

ρ = ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกแต่ละชนิด (g_{MPs}/cm^3)

r = ค่าเฉลี่ยขนาดของไมโครพลาสติก (cm)

จากผลการทดสอบโดยใช้ไมโครพลาสติกขนาดต่างๆ มาชั่งน้ำหนักและผ่านกระบวนการสกัดแยกไมโครพลาสติก พบว่าน้ำหนักที่สามารถคำนวณได้เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% จากนั้นใช้ Simple two sources mixing model ในการเปรียบเทียบวิเคราะห์ปริมาณและแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกในปลาซาร์ดีนกระป๋อง [23] เพื่อบ่งชี้แหล่งที่มาสำคัญของไมโครพลาสติกและนำเสนอข้อบกพร่องที่ควรได้รับการปรับปรุง โดยการประยุกต์ใช้หลัก GHPs และ HACCP

ผลการทดลองและวิจารณ์

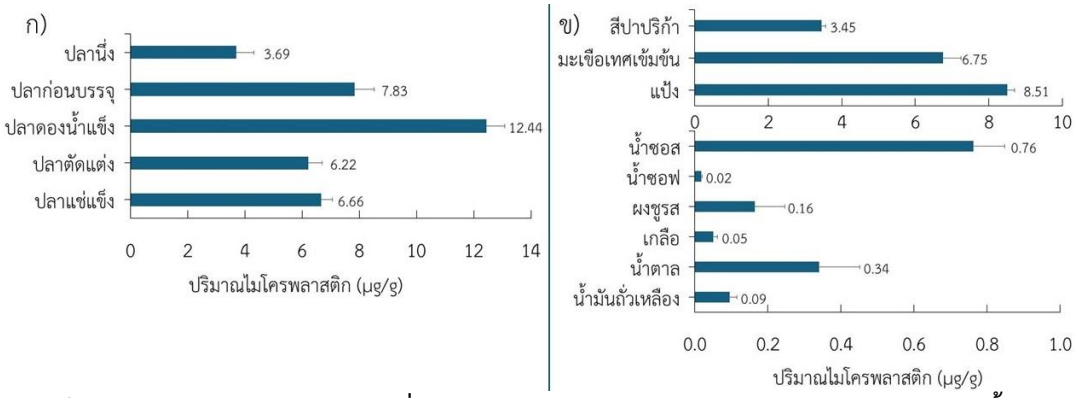
ปริมาณไมโครพลาสติกในผลิตภัณฑ์ปลาซาร์ดีนกระป๋องในซอสมะเขือเทศ

ผลการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในปลาซาร์ดีนกระป๋อง พบว่ามีปริมาณ 415.98±45.66 µg/can โดยพบไมโคร-พลาสติกในเนื้อปลาและน้ำซอส 88.9% และ 11.1% ตามลำดับ แต่เนื่องจากยังไม่พบว่ามีการศึกษาไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 µm) ในปลาซาร์ดีนกระป๋อง มีแต่งานวิจัยของ Hussien et al. (2021) [8] ที่ทำการศึกษาไมโครพลาสติกขนาดใหญ่กว่า 8 µm แต่ไม่สามารถระบุปริมาณของไมโครพลาสติกได้ เนื่องจากพบการปนเปื้อนของวัสดุอื่นจำนวนมาก และ Karami et al. (2018) [7] ศึกษาไมโครพลาสติกขนาดใหญ่กว่า 149 µm ในปลาซาร์ดีนกระป๋องที่ผลิตจากประเทศอิหร่าน พบไมโครพลาสติก 3 MPs/can คิดเป็นน้ำหนักได้ประมาณ 871.62 µg/can ซึ่งมีปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าผลิตภัณฑ์ปลาซาร์ดีนกระป๋องที่ผลิตในประเทศไทยถึง 2 เท่า

ปริมาณไมโครพลาสติกในวัตถุดิบและกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

จากรูปที่ 3ก พบไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ในปลาแช่แข็ง 6.66±0.40 µg/g ซึ่งเป็นปลาที่จับจากทะเลตามธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่ามีไมโครพลาสติกปนเปื้อนในวัตถุดิบปลาตั้งแต่ต้นทาง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ribeiro et al. (2020) [24] ที่ทำการศึกษาไมโครพลาสติกขนาดมากกว่า 2.7 µm ในปลาซาร์ดีนสด พบไมโครพลาสติก 2.9 mg/g แสดงให้เห็นว่า แหล่งจับของปลาซาร์ดีนมีผลต่อปริมาณไมโครพลาสติกที่สะสมอยู่ในตัวปลา

กระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน ส่งผลต่อปริมาณไมโครพลาสติกในเนื้อปลาแตกต่างกัน โดยหลังผ่านการตัดแต่งจะมีการใช้น้ำในการล้างปลาส่งผลให้ไมโครพลาสติกลดลง 6.7% จากปริมาณที่พบในปลาแช่แข็ง และเมื่อผ่านกระบวนดองน้ำแข็งส่งผลให้ไมโครพลาสติกในตัวปลาเพิ่มขึ้น 100.1% ก่อนจะนำปลาบรรจุใส่ในกระป๋อง ต้องผ่านการล้างด้วยน้ำ ซึ่งสามารถลดปริมาณไมโครพลาสติกได้ 37.1% จากนั้นนำปลากระป๋องเข้าสู่กระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำและเดรนน้ำออก ส่งผลให้ไมโครพลาสติกลดลง 52.8% แล้วจึงเติมซอสมะเขือเทศและเข้าสู่การรีทอร์ทต่อไป (รูปที่ 3ก) ปัจจุบัน ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณไมโครพลาสติกจากกระบวนการผลิตปลากระป๋อง



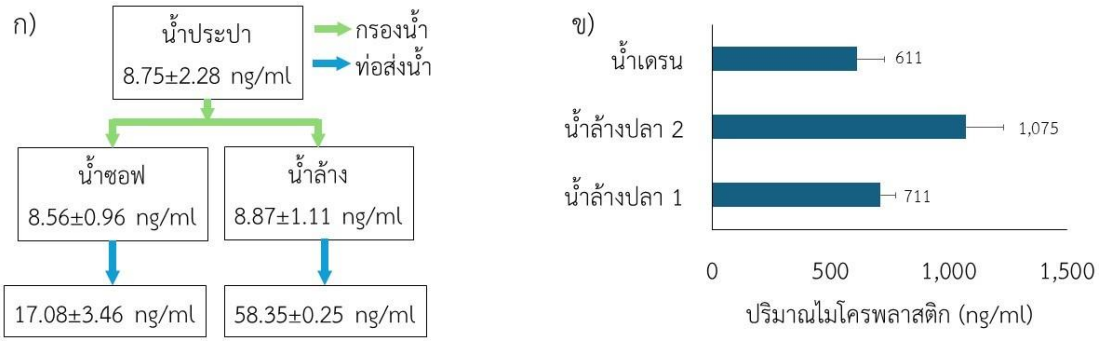
รูปที่ 3 ปริมาณไมโครพลาสิตกขนาด 1-20 µm ที่พบใน ก) ปลาจากกระบวนการผลิต และ ข) วัตถุดิบผลิตน้ำซอส

พบไมโครพลาสติกในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำซอสทั้งหมด (รูปที่ 3ข) ปริมาณไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ที่พบในแป้งและเกลือนั้นมีปริมาณมากที่สุดและน้อยที่สุด ตามลำดับ ซึ่งวัตถุดิบต่างๆนั้นถูกบรรจุอยู่ในกระสอบพลาสติก ถุงพลาสติก และเหยือกพลาสติก (รูปที่ 4)

รูปที่ 4 บรรจุภัณฑ์ของ ก) น้ำตาล ข) ผงชูรส ค) เกลือ ง) แป้ง จ) มะเขือเทศเข้มข้น และ ฉ) ถุงเตรียมวัตถุดิบ

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะถูกกรองจากน้ำประปาและส่งน้ำเข้าสู่กระบวนการผลิตด้วยท่อ PVC ซึ่งถังกรองน้ำไม่สามารถกรองเอาไมโครพลาสติกออกจากน้ำประปาได้ อีกทั้งยังพบว่าปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำที่ปลายท่อของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น โดยน้ำซอฟและน้ำล้างปลาที่ปลายท่อมีไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้น 99.53% และ 557.84% ตามลำดับ (รูปที่ 5ก) สาเหตุเกิดจากท่อส่งน้ำ PVC และสายยางซิลิโคนของโรงงาน ซึ่งมีการใช้งานมานานกว่า 20 ปี มีสภาพเก่าและเกิดการผุกร่อน ทำให้มีไมโครพลาสติกแตกหักออกมา [25] วัสดุเหล่านี้จึงเป็นหนึ่งในแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

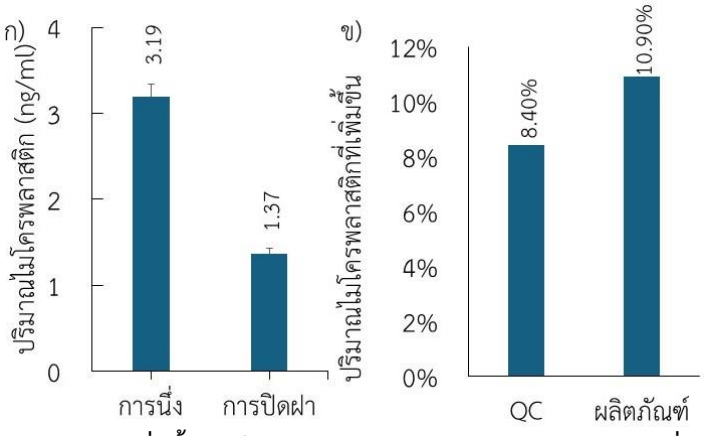
กระบวนการผลิตปลากระป๋องจะมีการทิ้งน้ำออกจากระบบ 3 อย่าง คือ น้ำล้างปลา 1 น้ำล้างปลา 2 และน้ำเดรน (รูปที่ 5ข) การใช้น้ำในการล้างปลาสามารถกำจัดไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนติดอยู่กับเนื้อปลาออกไป 6.5%, 36.9% และ 52.9% ตามลำดับ ดังนั้นกระบวนการผลิตปลากระป๋องจะกำจัดไมโครพลาสติกออกจากระบบได้ประมาณ 2.40 µg/ml



รูปที่ 5 ปริมาณไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ที่พบใน ก) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และ ข) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต

การเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติกจากกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

ทำการตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติกจากกระบวนการผลิตโดยใช้ชุดควบคุม (กระป๋องเปล่าใส่น้ำกลั่นปราศจากไมโครพลาสติก) และนำชุดควบคุมผ่านเข้าไปในสายการผลิตตามขั้นตอนต่างๆ พบว่ากระบวนการนึ่งและการปิดฝามีไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6ก) และกระบวนการรีทอร์ท ส่งผลให้ไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ในชุดควบคุมและผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น 8.4% และ 10.9% (รูปที่ 6ข) สาเหตุเกิดจากการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ด้วยการรีทอร์ทต้องใช้อุณหภูมิและความดันที่สูง ซึ่งอุณหภูมิมากกว่า 70 °C มีผลกระทบต่อไมโครพลาสติก [26]



รูปที่ 6 กระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ก) การนึ่งและการปิดฝา และ ข) การรีทอร์ท

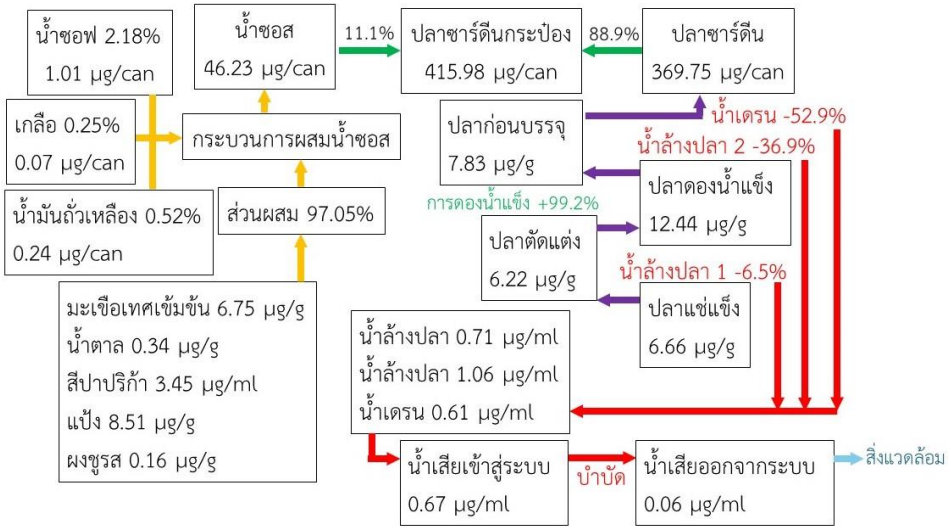
ไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย

ในโรงงานมีระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge:AS) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดเข้าและออกของระบบบำบัด พบว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบ AS มีประสิทธิภาพในการลดไมโครพลาสติกก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ถึง 84.5% ของปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำเข้าสู่ระบบ ปริมาณไมโครพลาสติกที่ลดลง จะไปสะสมอยู่ในตะกอนสลัดจ์ของระบบบำบัดน้ำทิ้ง ซึ่งระบบ AS นั้นมีความสามารถในการบำบัดไมโครพลาสติก โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ต้องมีการจัดการสลัดจ์ที่ถูกวิธีต่อไปในอนาคต [27]

บ่งชี้แหล่งที่มาของไมโครพลาสติกในปลาซาร์ดีนกระป๋อง

นำข้อมูลปริมาณไมโครพลาสติกมาคำนวณสมดุลมวลของไมโครพลาสติกที่เข้าและออกจากแต่ละขั้นตอนการผลิตโดยใช้ Simple two sources mixing model ที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Mishima et al. (1999) [23] ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 7

จากการวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติกในกระบวนการผลิตปลากระป๋องทั้งหมด สามารถนำมาประเมินแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกในผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องได้ โดยส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากวัตถุดิบ คือ เนื้อปลา ซึ่งมีปริมาณมากถึง 88.9% ของปริมาณทั้งหมด ในขณะที่น้ำซอสมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติก 11.1% โดยที่ส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากวัตถุดิบต่าง ๆ ที่นำมาผลิตน้ำซอส



รูปที่ 7 สมดุลมวลสารของไมโครพลาสติกในกระบวนการผลิตปลาซาร์ดีนกระป๋อง

สรุปและข้อเสนอแนะ

วัตถุดิบปลาซาร์ดีนเป็นแหล่งที่มาสำคัญของไมโครพลาสติกในปลาซาร์ดีนกระป๋อง การล้างชิ้นปลาสดสามารถลดปริมาณไมโคร-พลาสติกได้เพียงบางส่วน ทั้งนี้ ผู้ผลิตควรเลือกปลาจากแหล่งจับจากบริเวณทะเลเปิดนอก ชายฝั่งซึ่งมีปริมาณไมโคร-พลาสติกน้อยกว่าปลาที่จับจากปลาจากทะเลใกล้ชายฝั่ง ส่วนไมโครพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำซอส เช่น ภาชนะในใส่วัตถุดิบ น้ำซอฟที่ใช้ในการผลิตซอส (2.18%) และวัตถุดิบ (97.05%) สามารถพิจารณาได้จากภาชนะที่ใส่วัตถุดิบ ควรเปลี่ยนจากกระสอบพลาสติก ถุงพลาสติก และเหยือกพลาสติก มาใช้ภาชนะจำพวกสแตนเลสเพื่อลดการปนเปื้อนไมโครพลาสติก และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสามารถลดไมโครพลาสติกด้วยการใส่หัวกรองที่มีความสามารถในการกรองไมโครพลาสติกขนาด 1-20 µm ที่ปลายท่อ กระบวนการผลิตส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติกในผลิตภัณฑ์ เช่น การรีทอร์ทส่งผลต่อการแตกหักของไมโคร-พลาสติกขนาดเล็ก ทำให้มีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นหลังการรีทอร์ท 8.4-10.9%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอขอบคุณภาควิชาวาริชศาสตร์ ภาควิชาเคมี และหลักสูตรบัณฑิตศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

[1] Gomes, T., Bour, A., Coutris, C., Almeida, A. C., Bråte, I. L., Wolf, R., Bank, M. S., & Lusher, A. L. 2022. Ecotoxicological Impacts of Micro- and Nanoplastics in Terrestrial and Aquatic Environments. In *Microplastic in the Environment: Pattern and Process* (pp. 199-260)

[2] Wang, W., Do, A. T. N., & Kwon, J. H. 2022. Ecotoxicological effects of micro- and nanoplastics on terrestrial food web from plants to human beings. *Sci Total Environ*, 834, 155333.

[3] Duman, S., Doyen, P., Merveillie, P., Andersson, N., Bayeuil, R., Grard, T., Dehaut, A., & Duflos, G. 2023. Optimization of a method designed to extract and characterize microplastics in different packaged fish products. *Food Control*, 154.

[4] Diaz-Basantes, M. F., Nacimba-Aguirre, D., Conesa, J. A., & Fullana, A. 2022. Presence of microplastics in commercial canned tuna. *Food Chem*, 385, 132721.

[5] Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tajbakhsh, S., Darabi, A. H., & Spitz, J. 2020. Abundance, composition, and potential intake of microplastics in canned fish. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111633.

[6] Mohsen, M., Lin, C., Abdalla, M., Liu, S., & Yang, H. 2023. Microplastics in canned, saltdried, and instant sea cucumbers sold for human consumption. *Marine Pollution Bulletin*, 192.

[7] Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaei, S., & Salamatinia, B. 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Sci Total Environ*, 612, 1380-1386.

[8] Hussien, N. A., Mohammadein, A., Tantawy, E. M., Khattab, Y., & Al Malki, J. S. 2021. Investigating microplastics and potentially toxic elements contamination in canned Tuna, Salmon, and Sardine fishes from Taif markets, KSA. *Open Life Sci*, 16(1), 827-837.

[9] Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int*, 163, 107199.

[10] Horvatits, T., Tamminga, M., Liu, B., Sebode, M., Carambia, A., Fischer, L., Püschel, K., Huber, S., & Fischer, E. 2022. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *eBioMedicine*, 82, 104147.

[11] Fournier, E., Etienne-Mesmin, L., Grootaert, C., Jelsbak, L., Syberg, K., Blanquet-Diot, S., & Mercier-Bonin, M. 2021. Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development. *Journal of Hazardous Materials*, 415.

[12] Li, H., Zhu, L., Ma, M., Wu, H., An, L., & Yang, Z. 2023. Occurrence of microplastics in commercially sold bottled water. *Science of The Total Environment*, 867, 161553.

[13] ISO 22004. 2005. Food safety management systems—guidance on the application of ISO 2 2000: 2005.

[14] Chen, H., Liu, S., Chen, Y., Chen, C., Yang, H., & Chen, Y. 2020. Food safety management systems based on ISO 22000: 2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000: 2005. *Accreditation and Quality Assurance*, 25, 23-37.

[15] Garrido Gamarro, E., & Constanzo, V. 2022. Microplastics in food commodities: A food safety review on human exposure through dietary sources.

[16] Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. 2016. Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*, 216, 711-719.

[17] Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., Zhou, W., Cao, C., Shi, H., Yang, X., & He, D. 2018. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environ Pollut*, 242(Pt A), 855-862.

[18] Tagg, A.S., Sapp, M., Harrison, J.P. and Ojeda, J.J. 2015. Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging, *Analytical Chemistry*, vol. *87*, May 2015, pp. 6032-6040.

[19] Nava, V., & Leoni, B. 2021. Comparison of Different Procedures for Separating Microplastics from Sediments. *Water*, 13(20), 2854.

[20] Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. 2015. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.

[21] Karami, A. 2017. Gaps in aquatic toxicological studies of microplastics. *Chemosphere*, 184, 841-848.

[22] Torosian, G. T., & Ashley Mac Millan, P. E. (2016). 6 - Physical properties, behavior, and testing of geotextiles. In R. M. Koerner (Ed.), *Geotextiles* (pp. 105-113). Woodhead Publishing.

[23] Mishima, Y., Hoshika, A., & Tanimoto, T. 1999. Deposition Rates of Terrestrial and Marine Organic Carbon in the Osaka Bay, Seto Inland Sea, Japan, Determined Using Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios in the Sediment. *Journal of Oceanography*, 55(1), 1-11.

[24] Ribeiro, F., Okoffo, E. D., O'Brien, J. W., Fraissinet-Tachet, S., O'Brien, S., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Mueller, J. F., Galloway, T., & Thomas, K. V. 2020. Quantitative Analysis of Selected Plastics in High-Commercial-Value Australian Seafood by Pyrolysis Gas Chromatography Mass Spectrometry. Environmental Science & Technology, 54(15), 9408-9417.

[25] Yang, X., Zhou, Y., Xia, R., Liao, J., Liu, J., & Yu, P. 2024. Microplastics and chemical leachates from plastic pipes are associated with increased virulence and antimicrobial resistance potential of drinking water microbial communities. *Journal of Hazardous Materials*, 463, 132900.

[26] Munno, K., Helm, P. A., Jackson, D. A., Rochman, C., & Sims, A. 2018. Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. *Environ Toxicol Chem*, 37(1), 91-98.

[27] Bretas Alvim, C., Castelluccio, S., Ferrer-Polonio, E., Bes-Piá, M. A., Mendoza-Roca, J. A., Fernández-Navarro, J., Alonso, J. L., & Amorós, I. 2021. Effect of polyethylene microplastics on activated sludge process - Accumulation in the sludge and influence on the process and on biomass characteristics. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 536-547.

09R2-03

ผลกระทบของของแข็งละลายน้ำและสารอินทรีย์ละลายน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อคคูเลชัน-ตกตะกอน

Effects of Total Dissolved Solid and Dissolved Organic Matter on Microplastic Removal Efficiency by Coagulation-Flocculation-Sedimentation

วลิตา ภู่ประเสริฐ[1] ดร.พลอยไพลิน ร่มโพธ์ภักดิ์[2] และ รศ.ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล[3*]
Walita Puprasert[1], Ploypailin Romphophak, Ph.D.[2], and Assoc. Prof. Patiparn Punyapalakul, Ph.D.[3*]
[1]นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]นักวิจัยหลังปริญญาเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[3*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[*]โทรศัพท์ : 02-218-6337, โทรสาร : 02-218-6338, E-mail : patiparn.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอนุภาคไมโครพลาสติกสามารถพบได้ในแหล่งน้ำผิวดินเป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลให้เกิดความตื่นตัวและความพยายามในการกำจัดอนุภาคเหล่านี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค กระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อคคูเลชันและตกตะกอน (Coagulation-Flocculation-Sedimentation, CFS) เป็นหนึ่งในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ราคาถูก แต่อย่าไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของค่าของแข็งละลายน้ำ (Total dissolved solid; TDS) จากการรุกล้ำของน้ำทะเล และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter; DOM) ในแหล่งน้ำผิวดิน อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของ TDS และ DOM ต่อประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกด้วยกระบวนการ CFS โดยใช้การทดลองจาร์เทสที่มีสารส้มเป็นสารรวมตะกอน และใช้น้ำสังเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วยไมโครพลาสติกชนิดโพลีเอธีลีน (Polyethylene Microplastic; PEMP) จำนวน 100 ชิ้น/ลิตร เกลือจากโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ 500 5,000 และ 9,000 µS/cm และ กรดฮิวมิก (Humic Acid; HA) ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 15 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการทดลองพบว่า ในน้ำประปาสังเคราะห์ที่มีค่า TDS และ DOM ใกล้เคียงกับน้ำดิบทั่วไป สามารถกำจัดไมโครพลาสติกเป็นไปได้ไม่ดีนักโดยมีประสิทธิภาพเพียง 46% แต่เมื่อค่า TDS และ DOM มีค่าสูงขึ้นพบว่ากระบวนการ CFS สามารถกำจัด PEMP ได้ดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 75 – 91% ที่ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่า HA ในน้ำจะช่วยเพิ่มการกำจัด PEMP ได้อย่างมีนัยยะสำคัญมากกว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TDS ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับ HA ลงบนผิวของ PEMP ทำให้เกิดความเป็นประจุลบมากขึ้นร่วมกับการเกิดฟล็อคจากการรวมตัวของ HA ในน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก; โคแอกกูเลชัน-ฟล็อคคูเลชัน-ตกตะกอน; เกลือ; สารอินทรีย์ละลายน้ำ; ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

Abstract

Nowadays, surface water is found to be abundant with microplastics (MPs), leading to global attention and attempts to remove the particles in water treatment processes. Herein, coagulation-flocculation-sedimentation (CFS) is one of the mainstream units in water treatment plants due to its effectiveness in colloids removal and low operation cost. However, owing to the increasing total dissolved

solids (TDS) from seawater intrusion and the presence of dissolved organic matter (DOM) in the raw water, the removal efficiency of MPs via CFS is still unknown. Therefore, this research aims to study the effects of TDS and DOM on microplastic removal efficiency using the CFS process. A jar test experiment was conducted with alum (aluminum sulfate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) as coagulant, and synthetic raw water as influent. The water was synthesized by using 100 pieces/L of Polyethylene Microplastic (PEMP), salt (NaCl and Na_2SO_4) responded to the conductivity at 500, 5,000, and 9,000 µS/cm, and humic acid (HA) as DOM at 5, 10, and 15 mgC/L. The results showed that in control raw water, PEMP was barely removed, with only 46% removal efficiency. On the other hand, with the increase of TDS and HA, CFS can better remove the particles up to 75 – 91% at optimum coagulant dosage. Additionally, existing HA in the water significantly impacts PEMP removal compared to TDS. The reason is mainly due to the adsorption of HA on the PEMP surface, increasing their negatively charge surface, and inducing HA floc formation. However, the increase of HA concentration needs more alum dose to reduce the PEMP particles in the effluent.

Keywords : Microplastics; Coagulation-Flocculation-Sedimentation; Salt; Dissolved Organic Matter; Water Treatment Plant

บทนำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งการอุปโภคและบริโภค โดยทั่วไปแล้วแหล่งน้ำที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดคือน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ และลำคลอง ทั้งนี้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านี้มักปนเปื้อนไปด้วยสารเจือปนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ตะกอนหิน ดิน ทราย สารอินทรีย์ธรรมชาติ เชื้อโรค หรือไอออนละลายน้ำประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะแหล่งน้ำผิวดินที่มีอาณาเขตติดต่อกับทะเล ซึ่งต้องเผชิญกับการรุกล้ำของน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีไอออนประเภทโซเดียมและคลอไรด์เป็นปริมาณมาก นอกจากนี้ในปัจจุบันยังพบการปนเปื้อนของมลสารอุบัติใหม่ (Emerging Pollutants) ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในวงการวิชาการอย่างอนุภาคไมโครพลาสติก (Microplastics, MPs) อีกด้วย

ไมโครพลาสติก คือ อนุภาคพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวันหรือขยะพลาสติกที่กระจัดกระจายอยู่ในธรรมชาติ เมื่อพลาสติกเหล่านี้ผ่านการใช้งานเป็นเวลานานจะเกิดการสลายตัวเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ และกลายเป็นอนุภาคไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในที่สุด ในประเทศไทยมีรายงานการพบอนุภาคไมโครพลาสติกในหลายแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ [1] น้ำเสียชุมชน [2] หรือทะเลอ่าวไทย [3] เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการสะสมของอนุภาคไมโครพลาสติกเหล่านี้ในร่างกายมนุษย์ผ่านการบริโภคน้ำและอาหาร เช่น ชา เกลือ อาหารทะเล [4] ก่อให้เกิดความกังวลต่อผลกระทบที่อาจเกิดกับสุขภาพร่างกาย

นอกจากอนุภาคไมโครพลาสติกแล้ว แหล่งน้ำผิวดินยังมีการปนเปื้อนของสารอื่นอย่างสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) และของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS) อย่างเกลืออีกด้วย ดังนั้นแล้วก่อนการใช้งานน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกก่อน โดยหนึ่งในกระบวนการที่เลือกใช้อย่างแพร่หลายคือ กระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อคคูเลชันและตกตะกอน (Coagulation-Flocculation-Sedimentation, CFS) เนื่องจากเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสำหรับโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของของแข็งละลายน้ำและสารอินทรีย์ละลายน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคไมโครพลาสติกด้วยกระบวนการ CFS เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการกำจัดอนุภาคไมโครพลาสติกโดยระบบ CFSและนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อกำจัดอนุภาคไมโครพลาสติกต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การสังเคราะห์น้ำตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้น้ำสังเคราะห์ในการทดลองเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้ใกล้เคียงกับน้ำผิวดิน โดยใช้น้ำประปาที่กรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C Glass microfiber filter, Whatman) แล้วจึงปรับแต่งคุณภาพน้ำด้วยการเติม 1) อนุภาคไมโครพลาสติก

ชนิด Polyethylene (PEMP) จาก Sigma-Aldrich ที่ขนาด 50 µm ปริมาณ 100 ชิ้น/ลิตร 2) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ในอัตราส่วน 2:1 เป็นตัวแทนเกลือในน้ำ ผสมให้ได้ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ 500 5,000 และ 9,000 µS/cm และ 3) กรดฮิวมิก (Humic acid, HA) ที่ขนาด 10,000 – 30,000 Da เป็นตัวแทนสารอินทรีย์ละลายน้ำ โดยใช้ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) ที่ 5 10 และ 15 mgC/L และมีการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการปรับค่าพีเอชของน้ำให้อยู่ในช่วง 7.5 – 8.0

การเตรียมอนุภาคไมโครพลาสติก

ในการเตรียมอนุภาคไมโครพลาสติกสำหรับน้ำสังเคราะห์ของงานวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยการคัดขนาดไมโครพลาสติกบริสุทธิ์ (pristine PEMP, Sigma-Aldrich) ให้อยู่ในช่วง 50 µm ด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดรู 50 ไมครอน (มาตรฐาน ISO 3310-1) จากนั้นผสมอนุภาคไมโครพลาสติกลงในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) ให้ได้ความเข้มข้น 5 mg/L และกวนผสมด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที จากนั้นจึงใช้ปิเปตต์อัตโนมัติ (Automatic pipette) ในการดูดสต็อคเพื่อใช้สำหรับสังเคราะห์น้ำ

การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกด้วยกระบวนการ CFS

ในการกำจัดไมโครพลาสติกด้วยกระบวนการ CFS จะทดลองด้วยการทำจาร์เทส (Jar Test) โดยใช้สารส้ม (Aluminum Sulfate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) เป็นสารรวมตะกอน (Coagulant) และทดลองโดยใช้ 5 ความเข้มข้น คือ 0 10 20 30 40 และ 50 mg/L กวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้าที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 1 กรณีการสังเคราะห์น้ำสำหรับการทดลอง

Case	Salt (µS/cm)	HA (mgC/L)
1	ไม่มีการเติม	ไม่มีการเติม
2	500, 5000, 9000	ไม่มีการเติม
3	ไม่มีการเติม	5, 10, 15
4	500, 5000, 9000	5, 10, 15

การทดลองเริ่มจากการสังเคราะห์น้ำให้ได้คุณภาพเริ่มต้นที่ต้องการ โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 กรณี ดังแสดงใน **ตารางที่ *1*** จากนั้น ก่อนเริ่มกระบวนการจาร์เทสจะมีการใส่อนุภาคไมโครพลาสติกลงในแต่ละบีกเกอร์ที่ปริมาณประมาณ 100 ชิ้น นับเป็นปริมาณไมโครพลาสติกเริ่มต้น (MP_i) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ CFS แล้ว นำเฉพาะส่วนน้ำใสปริมาตร 300 ml มากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C Glass microfiber filter, Whatman) เพื่อนับจำนวนไมโครพลาสติกที่คงเหลือผ่านไมโครสโคป โดยนับจำนวนที่ได้ในบีกเกอร์ที่มีสารส้มที่ประมาณต่าง ๆ กัน (MP_f) เทียบกับจำนวนที่ได้จากบีกเกอร์ที่ไม่มีการเติมสารส้มหรือแบลงค์ (MP_b) แล้วจึงคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก (%RE) ดัง สมการ (1)

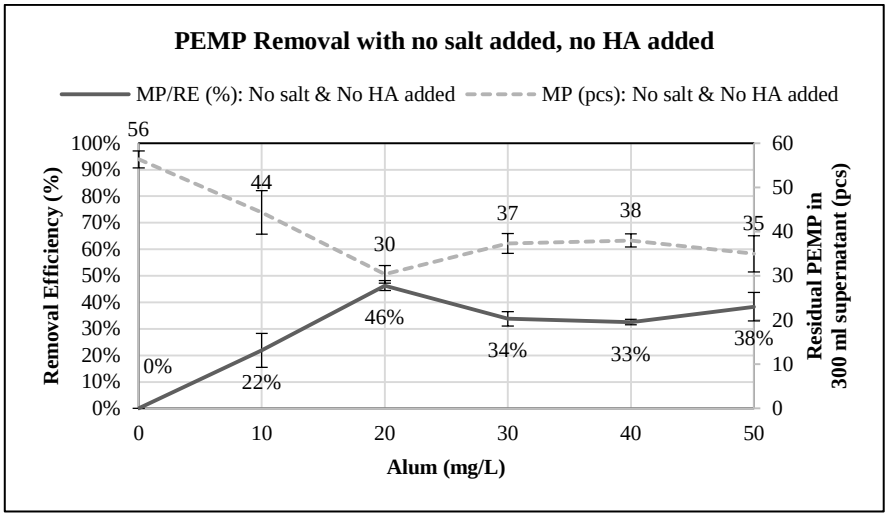
$$\%RE = \frac{MP_b - MP_f}{MP_b} \times 100 \qquad (1)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลอง สามารถแบ่งผลงานวิจัยการกำจัดไมโครพลาสติกในน้ำได้เป็น 4 ส่วนดังต่อไปนี้

1. กรณีไม่มีการเติมแต่งน้ำสังเคราะห์ (ชุดควบคุม)

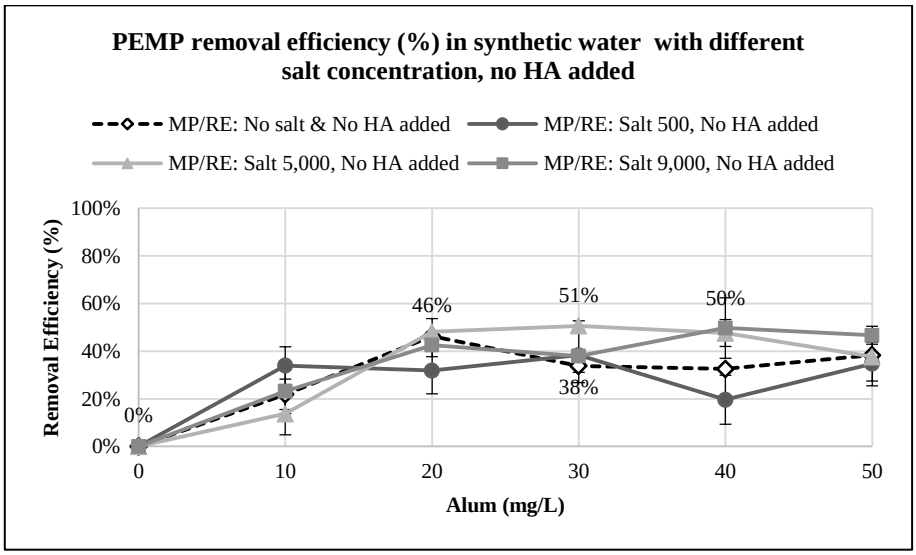
ในกรณีแรกนี้ เมื่อไม่มีการเติมเกลือหรือสารอินทรีย์ น้ำสังเคราะห์ที่ใช้จะมีค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่า DOC อยู่ในช่วง 371-376 µS/cm และ 2.71-2.97 mgC/L ตามลำดับ ผลการทดลองเป็นดังแสดงใน**รูปที่ 1** คือ ปริมาณไมโครพลาสติกคงเหลือในน้ำใสอยู่ในช่วง 30 – 56 ชิ้น คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วง 22 – 46% โดยสามารถกำจัดได้สูงสุดที่ปริมาณสารส้ม 20 mg/L จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า หลังการตกตะกอน 10 นาที อนุภาคไมโครพลาสติกจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เนื่องความหนาแน่นของ PEMP มีค่าน้อยกว่าน้ำ (0.92 g/ml) ทำให้ปริมาณ PEMP ที่นับได้ในน้ำใสเมื่อไม่มีการเติมสารส้มมีมากถึง 56 ชิ้น นับเป็นมากกว่า 50% เมื่อเทียบกับจำนวนพลาสติกตั้งต้น และการเติมสารรวมตะกอน สามารถช่วยดักจับไมโครพลาสติกไม่ให้ลอยได้ ดังจะเห็นได้จากจำนวนไมโครพลาสติกในน้ำใสที่ลดลงเมื่อมีการเติมสารส้ม ทว่าประสิทธิภาพการกำจัดยังไม่ค่อยดีนัก โดยเหลือจำนวนน้อยสุดเพียง 30 ชิ้น หรือ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่ 46%



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ในน้ำสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมแต่ง

2. กรณีที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว

สำหรับกรณีนี้ เป็นกรณีที่มีการเติมเกลือให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสังเคราะห์ที่ 500 5,000 และ 9,000 µS/cm ตามลำดับ เมื่อเทียบประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ระหว่างความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกัน และเทียบกับกรณีที่ (1) จะเห็นได้ดัง **รูปที่ 2** คือต่างกันอย่างไม่มีนัยยะสำคัญ ในภาพรวมแล้วประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ระหว่าง 38 – 51% ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสม (Optimum dose) ในการกำจัด PEMP ของน้ำที่มีการเติมเกลือจะต้องใช้ปริมาณมากกว่า (กรณีเกลือ 500 5,000 และ 9,000 µS/cm มี Optimum dose ที่ 30, 30 และ 40 mg/L ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับน้ำที่ไม่มีการเติมเกลือ (ชุดควบคุม) (Optimum dose ที่ 20 mg/L) โดยมีสาเหตุมาจากการมีอยู่ของประจุลบจากเกลืออย่าง คลอไรด์ (Cl^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะไปดักจับประจุบวกของสารส้ม ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายเป็นฟล็อค [5] ยิ่งมีประจุลบมาก ความต้องการสารส้มก็จะยิ่งมากขึ้น อีกทั้งการเกิดฟล็อคที่มากนี้เองยังสามารถใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ได้อีกด้วย

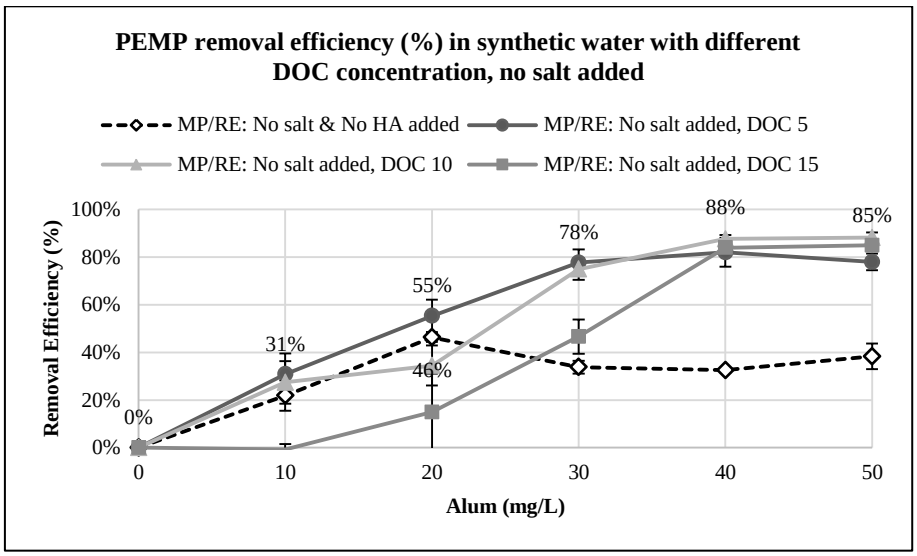


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ในน้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเกลือต่าง ๆ

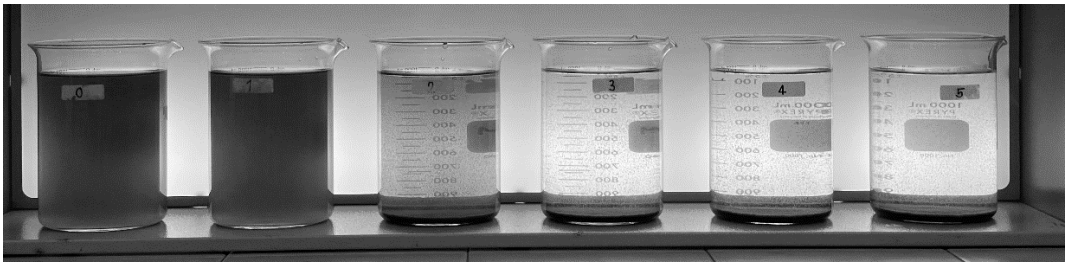
3. กรณีที่มีการเติมสารอินทรีย์ละลายน้ำเพียงอย่างเดียว

กรณีการเติมสารอินทรีย์ หรือ HA ลงในน้ำเพียงอย่างเดียว จะเป็นการคุมให้ค่า DOC โดยรวมอยู่ที่ 5 10 และ 15 mg/L ได้ผลดังแสดงใน**รูปที่ 3** พบว่า เมื่อเทียบผลการกำจัดกับกรณีน้ำสังเคราะห์ชุดควบคุม (เส้นประ) การมีอยู่ของ HA ในน้ำส่งผลกระทบอย่างมีนัยยะสำคัญต่อการกำจัด PEMP โดยพบว่า ที่จุด Optimum dose ของแต่เส้น สามารถกำจัด PEMP ได้เพิ่มจาก

สูงสุด 46% ของชุดควบคุม ได้มากถึง 82 – 88% โดยปรากฏการณ์นี้เกิดจากการที่ HA สามารถถูกดูดซับลงบนพื้นผิวของพลาสติก [6] และเพิ่มความเป็นประจุลบให้กับ PEMP ทำให้เกิดการดึงดูดสารส้มเข้ามาจับรวมกันเป็นฟล็อค (Floc) มากขึ้น และเกิด Bridging effect ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดดีขึ้น [7] ดังแสดงใน**รูปที่ 4** ซึ่งจะเห็นการเกิดฟล็อคที่ตกตะกอนได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า ปริมาณการเติมสารส้มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการกำจัด PEMP ซึ่งสามารถสังเกตุได้จากเส้นกราฟใน***รูปที่ 3*** ที่ปริมาณสารส้มต่ำ จะไม่สามารถกำจัด PEMP ได้ดีในสภาวะที่มีสารอินทรีย์สูง ทั้งนี้หากมีการเติมสารรวมตะกอนที่มากเพียงพอ (ซึ่งในการทดลองนี้คือ 40 mg/L) ก็จะสามารถกำจัด PEMP ได้ใกล้เคียงกันในทุกกรณี



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ในน้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่าง ๆ

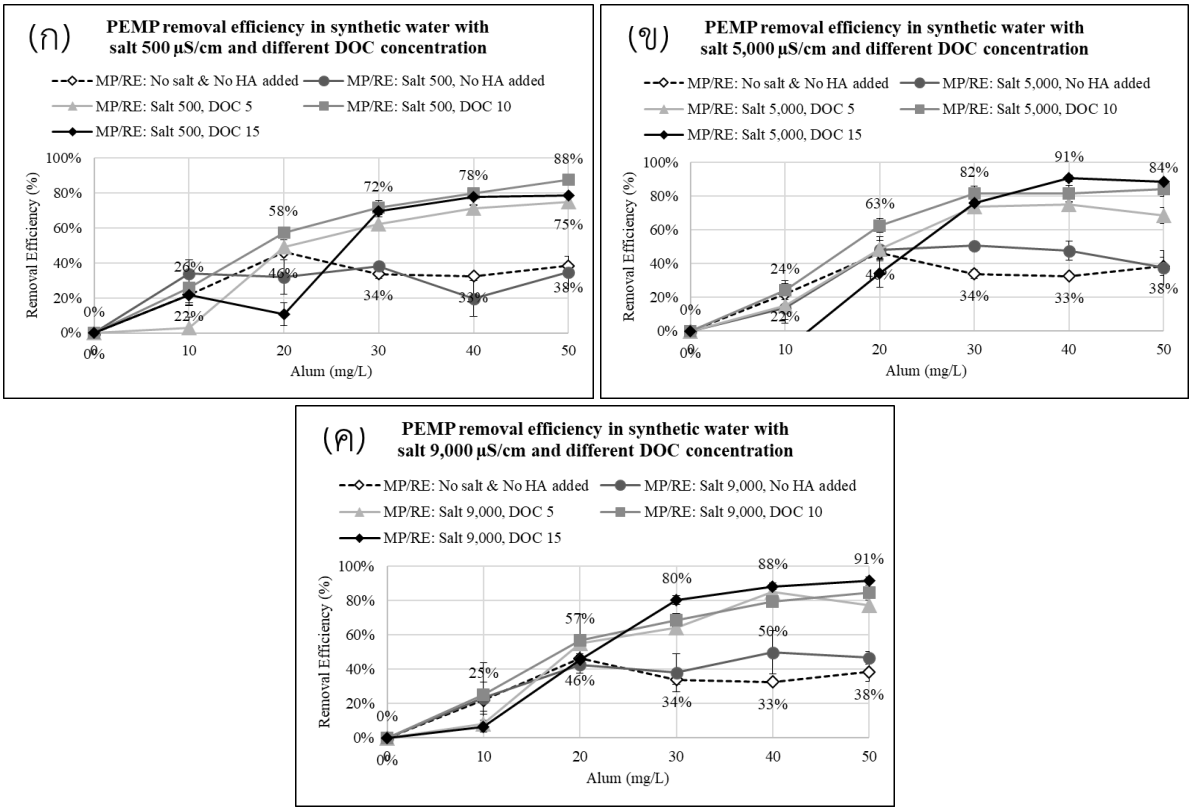


รูปที่ 4 การทดลองจาร์เทสเมื่อใส่สารส้มที่ 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 mg/L ตามลำดับ หลังตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที ของน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ 10 mgC/L โดยไม่มีการเติมแต่งเกลือ

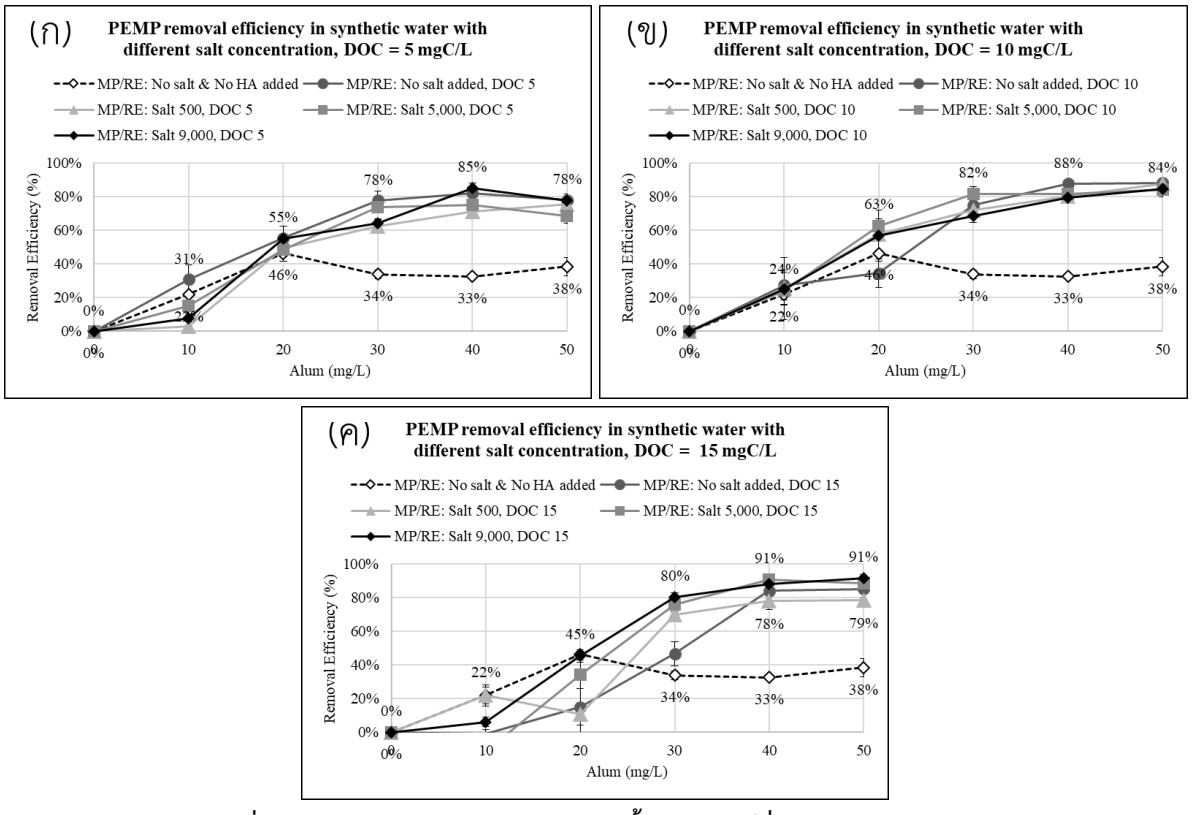
4. กรณีที่มีการเติมเกลือและสารอินทรีย์ละลายน้ำ

กรณีนี้เป็นการใช้น้ำสังเคราะห์ที่มีการเติมทั้งเกลือและ HA จากการทดลอง สามารถวิเคราะห์ได้ใน 2 มุมมอง คือ การเปรียบเทียบผลของสารอินทรีย์ละลายน้ำในกรณีที่เกลือคงที่ ดังแสดงใน**รูปที่ 5** และ การเปรียบเทียบผลของเกลือในกรณีที่ค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำคงที่ ตามผลการทดลองใน**รูปที่ 6**

เมื่อพิจารณา**รูปที่ 5** จะเห็นได้ว่าผลการกำจัด PEMP เป็นไปในทางเดียวกันกับกรณีที่ (3) นั่นคือการมีอยู่ของ HA มีผลอย่างมากต่อการดักจับ PEMP และจะสังเกตได้ว่า แนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดใสแต่ละความเข้มข้นของเกลือเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือความเข้มข้นของเกลือในน้ำไม่มีผลต่อการกำจัดมากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่า HA มีอิทธิพลต่อการรวมตะกอนมากกว่าเมื่อเทียบกับเกลือ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในรายละเอียดความต่างระหว่างความเข้มข้นของ HA ในแต่ละกรณีแล้ว จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณสารส้มต่ำ (<30 mg/L) น้ำที่มีสารอินทรีย์มากกว่าจะได้ผลประสิทธิภาพการกำจัด PEMP น้อย ในทางกลับกัน เมื่อใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้น (>30 mg/L) น้ำที่มีสารอินทรีย์มากจะช่วยให้กำจัด PEMP ได้ดีขึ้น ทั้งนี้ความแตกต่างของประสิทธิภาพไม่มากนัก โดยในทุกกรณีจะสามารถกำจัด PEMP ได้สูงสุดที่ช่วง 75-91%



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ในน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่างระดับและมีเกลือคงที่ที่ (ก) 500 µS/cm (ข) 5,000 µS/cm และ (ค) 9,000 µS/cm



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP ในน้ำสังเคราะห์ที่มีเกลือต่างระดับและมีความเข้มข้นสารอินทรีย์คงที่ที่ (ก) 5 mgC/L (ข) 10 mgC/L และ (ค) 15 mgC/L

ในอีกด้านหนึ่ง เมื่อพิจารณาผลกระทบของเกลือที่ระดับต่าง ๆ เมื่อปริมาณสารอินทรีย์คงที่ ดังแสดงใน **รูปที่ 6** จะเห็นได้ชัดว่าผลกระทบของ HA ต่อกระบวนการกำจัด PEMP มากกว่าผลกระทบของเกลือ โดยเฉพาะที่ปริมาณสารอินทรีย์ 5 และ 10 mgC/L ดัง**รูปที่ 6-ก** และ **รูปที่ 6-ข** ทว่าเมื่อปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นถึง 15 mgC/L ความเข้มข้นของเกลือจะเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการกำจัด ซึ่งสามารถสังเกตุได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้น ก็จะช่วยให้สามารถกำจัด PEMP ได้ดีขึ้น ดังแสดงใน **รูปที่ 6-ค** ที่เกลือ 500 µS/cm และ DOC 15 mg/L ได้ผลประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ 79% ในขณะที่ที่เกลือ 9,000 µS/cm และ DOC 15 mgC/L จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดที่ 91% ทั้งนี้ โดยภาพรวมแล้ว ความสามารถในการกำจัดอนุภาคไมโครพลาสติกของระบบก็ยังถือว่าสูงเมื่อมีการเติมสารรวมตะกอนที่มากเพียงพอ

สรุป

จากผลการทดลองสามาถรสรุปได้ว่า ไอออนของเกลือไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัด PEMP อย่างมีนัยยะสำคัญ ในทางกลับกัน การมีสารอินทรีย์ละลายน้ำกลับมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกำจัด PEMP ในทุกกรณี ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่มีเกลือหรือไม่ก็ตาม ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับของสารอินทรีย์บนพื้นผิวพลาสติก ร่วมกับการเกิดฟล็อคของสารอินทรีย์ที่สามารถช่วยดักจับ PEMP ได้มากขึ้น นอกจากนี้ การที่น้ำมีความเข้มข้นของเกลือและสารอินทรีย์ละลายน้ำเพิ่มขึ้น ยังเพิ่มความต้องการสารส้มเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัด PEMP อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ด้วยผลการทดลองเหล่านี้ อาจสามารถสรุปได้ว่า CFS สามารถกำจัดอนุภาคไมโครพลาสติกได้อย่างเพียงพอสำหรับน้ำที่มีเกลือและสารอินทรีย์ละลายน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหนับนิสิตระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ta, A.T., S. Babel, and A. Haarstick, *Microplastics Contamination in a High Population Density Area of the Chao Phraya River, Bangkok.* Journal of Engineering and Technological Sciences, 2020. 52(4): p. 534.

[2] Kittipongvises, S., et al., *Unravelling capability of municipal wastewater treatment plant in Thailand for microplastics: Effects of seasonality on detection, fate and transport.* Journal of Environmental Management, 2022. 302: p. 113990.

[3] Bissen, R. and S. Chawchai, *Microplastics on beaches along the eastern Gulf of Thailand – A preliminary study.* Marine Pollution Bulletin, 2020. 157: p. 111345.

[4] Leslie, H.A., et al., *Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood.* Environment International, 2022. 163: p. 107199.

[5] Xue, J., et al., *Removal of polystyrene microplastic spheres by alum-based coagulation-flocculation-sedimentation (CFS) treatment of surface waters.* Chemical Engineering Journal, 2021. 422.

[6] Lapointe, M., et al., *Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation.* Environmental Science & Technology, 2020. 54(14): p. 8719-8727.

[7] Lee, J., et al., *Highly efficient microplastics removal from water using in-situ ferrate coagulation: Performance evaluation by micro-Fourier-transformed infrared spectroscopy and coagulation mechanism.* Chemical Engineering Journal, 2023. 451: p. 138556.

09R2-04

กระบวนการนำกลับนิกเกิลจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่ใช้งานแล้วด้วยวิธีการทางไฟฟ้า

Nickel Recovery from Spent Lithium Ion Batteries by Electrowinning

อภิชัจ จักหงษ์สุวรรณ[1] เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์[2*] ชดชนก อัฑฒพงศ์[3*] นาตยา โมราวรรณ[4*] และ อรทัย ครุฑหุ่น[5*]
Apichat Jakhongsuwan[1] Piampoom Sarikprueck[2*] Chodchanok Attaphong[3*] Nattaya Morawan[4*] and Orathai Kruthun[5*]
[1]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา ; [2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า ; [3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมโยธา ; [4]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา ; [5]วิศวกร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
*โทรศัพท์ : 0 2329 8334, โทรสาร : 0 2329 8335, E-mail : 61601214@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้แล้วได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากความต้องการใช้งานโลหะและวัสดุมีค่าที่เป็นองค์ประกอบหลักของแบตเตอรี่ที่มากขึ้น ประกอบกับการคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการรั่วไหลของสิ่งปนเปื้อน หรือ โลหะหนักที่พบในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ในงานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการนำกลับโลหะนิกเกิล ซึ่งเป็นหนึ่งในโลหะหายากและมีราคาสูง จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่หมดอายุการใช้งานแล้วด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrowinning) ตัวแปรพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการนำกลับนิกเกิลด้วยกระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่ง อันได้แก่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการนำกลับจะถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์อย่างละเอียดในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการนำกลับนิกเกิล ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนำกลับนิกเกิลได้มากกว่าร้อยละ 99 ภายใต้เงื่อนไขของการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด โดยตัวแปรพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับที่มากที่สุด คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ระยะเวลา และอุณหภูมิ ตามลำดับ

คำสำคัญ : อิเล็กโตรวินนิ่ง; แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง; ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า; ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ; ระยะเวลา; อุณหภูมิ

Abstract

In the past years , recycle of spent lithium ion batteries gain more attention because the main components of batteries demand including precious metals and materials are increasinged. In addition, the impact on environmental pollution of contamination from These spent lithium ion batteries. There fore this research propose the method for recovering nickel metal. from spent lithium ion batteries by electrochemical process (Electrowinning). Parameters affected the efficiency of nickel recovery by the electrowinning process. including electric current density, pH of the solution, temperature and time are considered The best result. The results in this study by the proposed method as the most suitable condition are 99 percent of nickel recovery. The most important variables that affect recovery efficiency can be prioritized by electric current density, pH of the solution, processing time and temperature, respectively.

Keywords : electrowinning; DC power supply; electric current density; pH of the solution; temperature; time the process

บทนำ

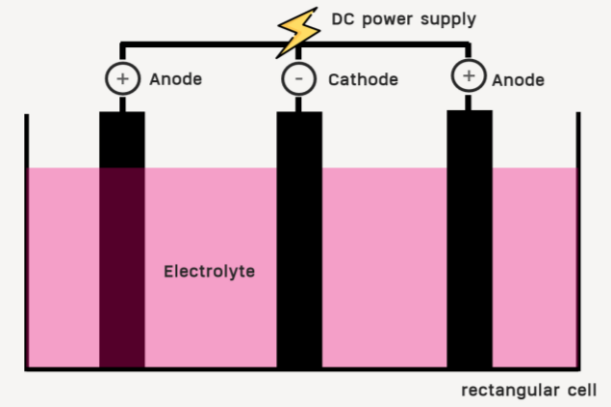
เนื่องจากความสามารถและประสิทธิภาพการใช้งานที่โดดเด่นทำให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานสำรองและเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมาก [1] เมื่อความต้องการใช้งานแหล่งกักเก็บพลังงานประเภทนี้มีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีองค์ประกอบของสารเคมีและโลหะหนัก ดังนั้นจึงต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจหลายประการ งานวิจัยส่วนมากจึงมุ่งความสนใจไปที่กระบวนการที่ใช้นำกลับโลหะมีค่าเป็นหลัก โดยเฉพาะโคบอลต์และนิกเกิล ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของขั้วแคโทดในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีมากมายที่ใช้นำกลับโลหะมีค่าจากแบตเตอรี่ลิเทียม [1] กระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการนำกลับทางเคมีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถนำกลับโลหะที่มีความบริสุทธิ์สูงได้มากกว่าเทคโนโลยีการนำกลับทั่วไป เช่น การตกตะกอน (Precipitation) และ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) เป็นต้น [2] อย่างไรก็ตาม เพื่อนำมาซึ่งประสิทธิภาพของการนำกลับที่สูงที่สุด กระบวนการนำกลับด้วยวิธีอิเล็กโตรวินนิ่งจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและเลือกใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำกลับโลหะที่ต้องการ ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของโลหะที่ต้องการนำกลับ

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการนำกลับโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่เสื่อมสภาพแล้ว ซึ่งมีโลหะมีค่านิกเกิลเป็นเป้าหมาย โดยจะศึกษาหาเงื่อนไขของการดำเนินงานที่เหมาะสมผ่านการศึกษาค่าพารามิเตอร์ อันได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ระยะเวลาดำเนินการ และอุณหภูมิของสารละลาย เพื่อให้สามารถนำกลับโลหะนิกเกิลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

กระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่ง (Electrowinning)

กระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่ง เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีอย่างหนึ่ง ซึ่งต้องมีองค์ประกอบ 3 ส่วน 1.ภาคแหล่งกำเนิดพลังงาน เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ 2.สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ คือนิกเกิล 3.ขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 1.1 แอโนดและแคโทด ระหว่างดำเนินกระบวนการจะเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ทำให้นิกเกิลรวมตัวและเกาะที่ขั้วแคโทด ได้สารนิกเกิลที่บริสุทธิ์ กระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่งนิยมนำมาใช้เป็นขั้นตอนถัดไปจากกระบวนการโลหะวิทยาสารละลาย เพื่อให้การนำกลับโลหะมีค่าดังเช่น นิกเกิล ทองแดง และโคบอลต์ มีความบริสุทธิ์สูงที่สุด [3]



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของกระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่ง [4]

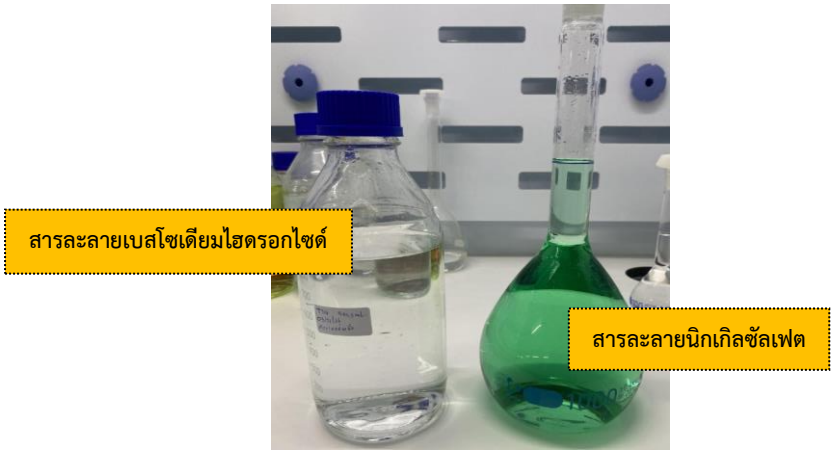
วิธีการดำเนินงาน

องค์ประกอบทางเคมี

1. ขั้วอิเล็กโทรด ขั้วอิเล็กโทรดแคโทดและแอโนดที่ใช้ในการทดลอง คือ Stainless steel 316L โดยมีขนาดกว้าง 110 มิลลิเมตร ยาว 185 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1.2

รูปที่ 1.2 ขั้วอิเล็กโทรดชนิด stainless steel 316L

2. อิเล็กโทรไลต์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง คือ สารละลายนิกเกิลซัลเฟต ความเข้มข้น 5,000 ppm สำหรับนำกลับโลหะมีค่านิกเกิล และสารละลายเบส โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ เพื่อใช้ในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH) ดังรูปที่ 1.3



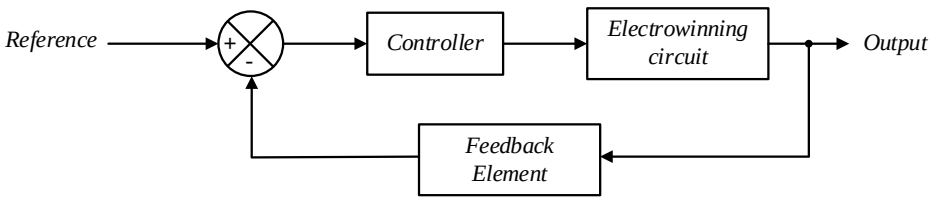
รูปที่ 1.3 สารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายนิกเกิลซัลเฟต

องค์ประกอบทางไฟฟ้า

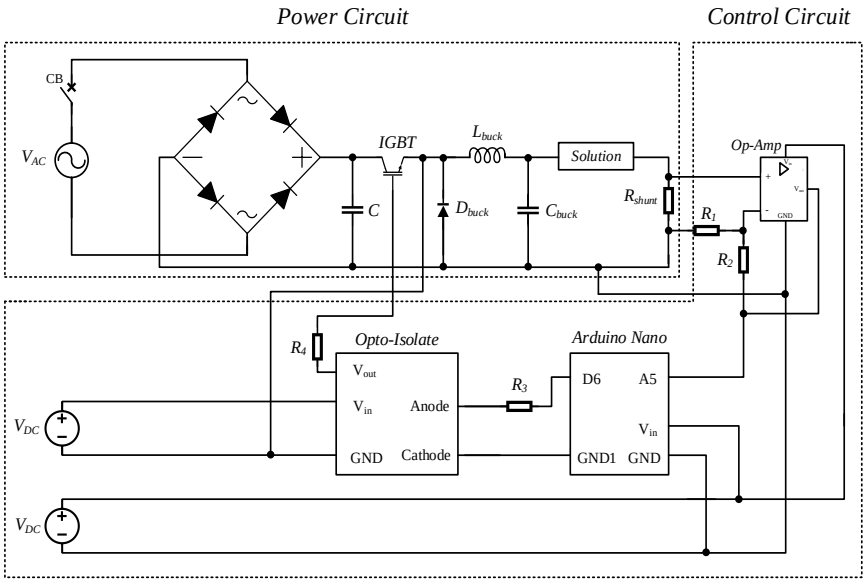
ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการนำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ [4] มาปรับปรุงใหม่เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับกระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่งสำหรับนำกลับนิกเกิล โดยวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรควบคุม (Control circuit) และส่วนของวงจรกำลัง (Power circuit) ดังรูปที่ 1.4 และ รูปที่ 1.5 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ที่สำคัญ ดังนี้

1. วงจรควบคุมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง มีหน้าที่ควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรให้มีค่าคงที่ตามต้องการ โดยอาศัยการทำงานแบบวงจรป้อนกลับด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino nano

2. วงจรกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น สำหรับใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ สำหรับใช้ควบคุมปริมาณของกระแสขาออกให้มีค่าคงที่ตามที่ต้องการผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่สวิตช์ปิดวงจรกับคาบเวลาในการทำงาน หรือที่เรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle)



รูปที่ 1.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระบบควบคุมแบบป้อนกลับ [4]



รูปที่ 1.5 แผนผังวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง [4]

แผนการทดลอง

เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขของการนำกลับนิกเกิลที่เหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงมีการวางแผนการศึกษาแต่ละพารามิเตอร์ โดยเริ่มจากการศึกษาความแป็นกรด-ด่าง เวลาที่ใช้ในกระบวนการ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และ อุณหภูมิของสารละลาย ดังตารางที่ 1.1 ในการศึกษา พารามิเตอร์ในแต่ละกลุ่มจะถูกทดลอง ณ ค่าต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพของการนำกลับนิกเกิลสูงสุดจะถูกเลือกและนำมาใช้เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

No	Factors	Condition			
		pH	Time (minute)	Current density (A/m^2)	Temperature (celsius)
1.	pH	5	120	220	60
		6	120	220	60
		7	120	220	60
		8	120	220	60
2.	Time	5	120	110	60
		5	180	110	60
		5	90	110	60
		5	60	110	60
3.	Current density	6	120	220	60
		6	120	110	60
4.	Temperature	8	120	220	25
		8	120	220	40
		8	120	220	60

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณการนำกลับนิกเกิล

จากแผนการทดลองสามารถแสดงผลการนำกลับนิกเกิล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพของการนำกลับโลหะนิกเกิลด้วยวิธีอิเล็กโตรวินนิ่ง

No	Condition				Ni recovery (%)
	Current density (A/m^2)	pH	Temperature (celsius)	Time (minute)	
1.	220	8	25	120	99.24
2.	220	10	40	90	93.06
3.	220	8	40	120	84.13
4.	220	8	60	120	81.57
5.	220	10	25	90	78.07
6.	220	9	60	60	73.94
7.	220	6	60	120	69.43

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลซัลเฟตที่ใช้ คือ 5,000 ppm เท่ากันทุกการทดลอง

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพของการนำกลับโลหะนิกเกิลด้วยวิธีอิเล็กโตรวินนิ่ง (ต่อ)

No	Condition				Ni recovery (%)
	Current density (A/m^2)	pH	Temperature (celsius)	Time (minute)	
8.	220	7	40	60	68.21
9.	110	5	60	120	67.59
10.	110	6	80	120	66.78
11.	110	4	60	120	65.8
12.	110	3	60	120	62.26
13.	110	6	60	120	61.66
14.	110	5	60	180	59.47
15.	110	5	60	90	58.99
16.	110	5	25	120	58.29
17.	110	5	60	60	54.12
18.	110	5	25	120	50.2
19.	110	4	40	120	41.1
20.	110	5	40	120	37.05
21.	110	5	25	120	28.42
22.	110	3	40	90	24.97

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลซัลเฟตที่ใช้ คือ 5,000 ppm เท่ากันทุกการทดลอง

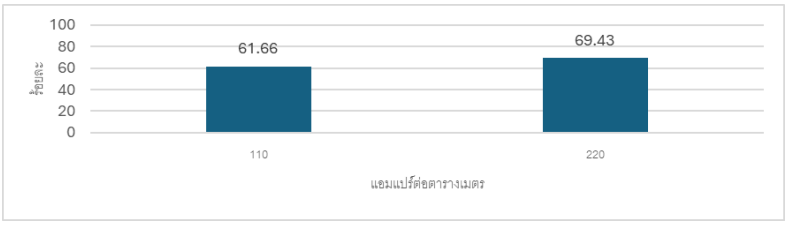
จากตารางจะเห็นว่าเงื่อนไขของการนำกลับนิกเกิลที่ดีที่สุด คือ ความเข้มข้นของสารละลาย 5,000 ppm, ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 220 แอมแปร์ต่อตารางเมตร, ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 8, อุณหภูมิของสารละลาย 25 องศาเซลเซียส, ระยะเวลาในการทดลอง 120 นาที และใช้ขั้วอิเล็กโทรดชนิด Stainless steel (316L) โดยสามารถนำกลับนิกเกิล

ได้สูงถึงร้อยละ 99.24 ในขณะที่เงื่อนไขของการนำกลับนิกเกิลที่ต่ำที่สุด คือ ความเข้มข้นของสารละลาย 5,000 ppm, ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 110 แอมแปร์ต่อตารางเมตร, ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 3, อุณหภูมิของสารละลาย 40 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทดลอง 90 นาที ซึ่งสามารถนำกลับนิกเกิลได้เพียงร้อยละ 24.97 เท่านั้น

บทวิจารณ์

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับนิกเกิลด้วยวิธีอิเล็กโตรวินนิ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ อันประกอบด้วย ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของสารละลาย เวลา และความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ ดังนี้

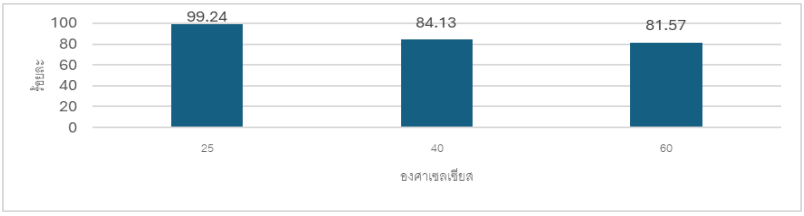
1. ผลกระทบจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

จากรูป 2.1 ค่าความหนาแน่น 220 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการนำกลับนิกเกิลมากกว่าการใช้ความหนาแน่น 110 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

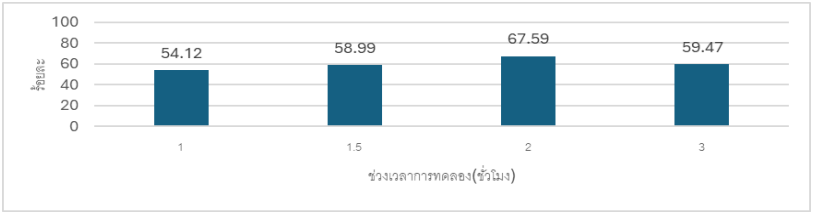
2. ผลกระทบจากอุณหภูมิของสารละลาย



รูปที่ 2.2 อุณหภูมิของสารละลาย

จากรูป 2.2 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำกลับนิกเกิล เนื่องจากการนำกลับนิกเกิลที่อุณหภูมิสูงมีแนวโน้มก่อให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการระเหยของสารละลาย

3. ผลกระทบจากเวลาการทดลอง

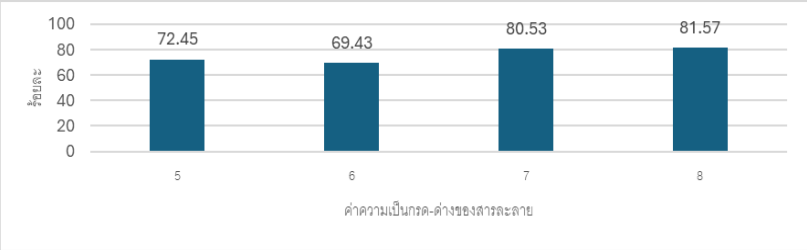


รูปที่ 2.3 ช่วงเวลาการทดลอง

จากรูป 2.3 ช่วงเวลาการทดลองที่ดีที่สุด คือ 2 ชั่วโมง โดยจากผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาทางเคมีการฟอร์มของตัวนิกเกิลจากรูปสารละลายสู่ของแข็งจะเริ่มเกิดในช่วงเวลาการทดลองตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 ชั่วโมง หากเกินระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ดังกล่าวจะเข้าสู่ช่วงของการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ โดยนิกเกิลในรูปของแข็งจะกลับไปเป็นสารละลายเหมือนเดิม ดังนั้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการนำกลับนิกเกิลลดลงเมื่อเวลาการทดลองมากขึ้น

4. ผลกระทบจากความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย



รูปที่ 2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย

จากรูป 2.4 นิกเกิลซัลเฟตตกตะกอนได้ดีเมื่อสารละลายมีสภาวะเป็นด่าง ขณะที่เมื่อสารละลายมีสภาพเป็นกรดจะยังยั้งกระบวนการตกตะกอนของนิกเกิล ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณการนำกลับนิกเกิล ณ สารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง มีแนวโน้มที่สูงกว่า

สรุป

จากงานวิจัยการศึกษากระบวนการนำกลับโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้งานแล้วซึ่งมีโลหะนิกเกิลเป็นเป้าหมายพบว่า กระบวนการอิเล็กโตรวินนิ่งสามารถนำกลับนิกเกิลได้มากกว่าร้อยละ 99 ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด คือ สารละลายความเข้มข้น 5,000 ppm อุณหภูมิของสารละลายถูกควบคุมให้คงที่ที่ 25°C ณ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย 8 และควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ให้คงที่ 220 A/m^2 ตลอดระยะเวลาการทดลอง 2 ชั่วโมง โดยพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการนำกลับนิกเกิลด้วยวิธีอิเล็กโตรวินนิ่งมากที่สุด คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ระยะเวลาในการทดลอง และอุณหภูมิของสารละลาย ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์ สำหรับความอนุเคราะห์ห้องทดลองและอุปกรณ์การทดลองทางเคมีและขอขอบคุณ ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ สำหรับความอนุเคราะห์ปรึกษาทางด้านไฟฟ้า สารละลายนิกเกิลซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับทดลอง ขอขอบคุณ **นางสาว**นาตยา โมราวรรณ สำหรับความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทางเคมี **และ นางสาว**อรทัย ครุฑหุ่น สำหรับความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทางไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Saloojee and J. Lloyd, "Lithium battery recycling process," Department of Environmental Affairs Development Bank of South Africa (Project No. DB-074 (RW1/1016)), vol. 27, no. 0, 2015.

[2] ผศ.ดร.สงบ คาค้อ, การศึกษาสถานภาพพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 2562.

[3] P. Fornari., C. Abbruzzese.,1999. Copper and nickel selective recovery by electrowinning from electronic ands galvanic industrial solutions. Hydrometallurgy 52 1999 209–222

[4] นางสาวอรทัย ครุฑหุ่น. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง “การพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่เสื่อมสภาพ”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2566.

09R2-05

การจัดการขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวก่อนสถานการณ์โควิด-19

Solid Waste Management from Tourist Boats before COVID-19 Pandemic Period

สินีนาฏ พวงมณี[1*] และ สุกัญญา ดังเด่น[2]
Sineenart Puangmanee[1*] and Sukanya Dungdan[2]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต 83000
[2]นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต 83000
*โทรศัพท์ : 08 1990 9707, โทรสาร : 076 218806, E-mail : Sineenart.p@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวก่อนสถานการณ์โควิด-19 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ องค์ประกอบ และการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยที่เกิดจากเรือท่องเที่ยวที่ให้บริการนักท่องเที่ยวบนเรือตามหมู่เกาะต่าง ๆ ในแต่ละโปรแกรมนำเที่ยวที่นำขึ้นมาบนฝั่งบริเวณท่าเทียบเรือหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ โดยทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ติดต่อกัน เก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 13.30-17.00 น. โดยแหล่งที่มาของขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เรือสปีดโบ๊ทและเรือหางยาว จากการศึกษา พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวรวม 623.20 ก.ก. ซึ่งมาจากเรือสปีดโบ๊ท 601.38 ก.ก. และจากเรือหางยาว 21.45 ก.ก. ซึ่งแบ่งองค์ประกอบของขยะมูลฝอยออกได้เป็น 4 องค์ประกอบ คือ 1) ขยะอินทรีย์ 2) ขยะทั่วไป 3) ขยะรีไซเคิล และ 4) ขยะอันตราย โดยมีปริมาณเท่ากับ 459.70, 82.83, 77.03 และ 3.64 ก.ก. ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยเท่ากับ 0.12/ก.ก./วัน ในส่วนของลักษณะภาชนะรองรับขยะมูลฝอยบนเรือทั้ง 2 ประเภท พบว่า มี 3 ลักษณะ คือ 1) ถังพลาสติกสีดำ 2) ถุงพลาสติกสีดำ และ 3) กล่องกระดาษลัง โดยในการเก็บกักรวบรวมภาชนะบนเรือดำเนินการโดยบุคคลภายนอกที่ถูกว่าจ้างโดยอุทยานแห่งชาติหาดนพรัตน์ธาราจำนวน 1 คน จากนั้นผู้ดำเนินการทำการขนย้ายขยะมูลฝอยไปคัดแยกที่บ้านของผู้ดำเนินการด้วยรถซาเล้งพ่วงข้าง ซึ่งในขณะดำเนินการ พบว่า บุคคลดังกล่าวไม่สวมถุงมือหน้ากากอนามัย ผ้ากันเปื้อน และสวมรองเท้าแตะ นอกจากนี้ ขยะมูลฝอยทั่วไปที่เหลือจากการคัดแยกจะถูกส่งไปยังจุดพักขยะเพื่อรอการเก็บขนและขนย้ายไปกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายโดยบุคคลภายนอกที่ถูกว่าจ้างโดยเทศบาลตำบลอ่าวนางจำนวน 3 คน (รวมคนขับ) ด้วยรถบรรทุกขยะมูลฝอยแบบขอเกี่ยวหรือเครนยกขนาดบรรจุ 4 ลบ.ม. โดยทำการเก็บขนและขนย้ายทุกวัน นอกจากนี้ ในขณะดำเนินการบุคคลดังกล่าวมีการสวมถุงมือ หน้ากากอนามัย สวมรองเท้าแตะแต่ไม่สวมผ้ากันเปื้อน และในส่วนของการกำจัดขยะมูลฝอย พบว่า ขยะมูลฝอยถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ณ ศูนย์กำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลเมืองกระบี่ ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

คำสำคัญ : การจัดการขยะมูลฝอย; เรือท่องเที่ยว; สถานการณโควิด-19

Abstract

Speed boats and long-tail boats take tourists back and forth between Krabi, Thailand and nearby islands. These boats are sources of solid waste. This study investigated the quantities and compositions of the waste from the boats, and solid waste management was also observed before the COVID-19 pandemic. The samples were collected twice a week for four weeks between 1.30 p.m. and 5.00 p.m. The waste was classified based on the source of either speedboats or long-tail boats. The study found a total of 623.20 kg of

waste from the tour boats: 601.38 kg from speedboats and 21.45 kg from long-tail boats. The composition of the waste was divided into four groups: 1) organic waste (459.70 kg); 2) general waste (82.83 kg); 3) recyclable waste (77.03 kg); and 4) hazardous waste (3.64 kg). The rate of waste generated was 0.12 kg/person/day. On board the boats four types of waste were collected in three types of containers: 1) black plastic bin; 2) black plastic bags; and 3) cardboard boxes. These containers were collected by a third party hired by the local national park service. The containers were transported by sidecar motorcycles for sorting at a local residence. The third party personnel were not wearing gloves, face masks, or aprons, and the footwear were sandals. The remaining general waste after separation was sent to a waste storage point for collection and transport for final disposal by third parties hired by the local municipality. On a daily basis, collection of waste at the storage point was carried out by three people, including the driver, using garbage trucks with 4 m^3 capacity. The operators wore gloves, face masks, and sandals but no aprons. The waste was properly disposed in a landfill according to the sanitary regulations of the Krabi Municipality Landfill Waste Disposal Center.

Keywords : solid waste management; tourist boats; COVID-19 Pandemic Period

บทนำ

ปัญหาขยะมูลฝอย เป็นปัญหาที่สำคัญและพบมากในจังหวัดที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง ซึ่งจังหวัดกระบี่เป็นหนึ่งในจังหวัดที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคใต้และกำลังประสบปัญหาเรื่องขยะมูลฝอย โดยจังหวัดกระบี่ มีปริมาณของขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นและมีขยะตกค้าง ซึ่งจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษระบุปริมาณที่เกิดขึ้น ในปี 2560 รวม 27.4 ล้านตัน (ข้อมูลก่อนสถานการณ์โควิด-19) ขยะส่วนใหญ่ไม่มีการคัดแยกประเภทจากต้นทางจึงยากต่อการกำจัด ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเนื่องจากกลิ่นเหม็นจากขยะอินทรีย์ [1] นอกจากนี้ จังหวัดกระบี่ได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดขยะที่มีการปล่อยปละละเลยในการบริหารจัดการและบริหารจัดการไม่ถูกหลักสุขาภิบาลจนทำให้เกิดภูเขาขยะ [2] อ่าวนาง เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดกระบี่ที่มีชื่อเสียงและเป็นที่รู้จักของนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ อีกทั้งยังเป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวทางทะเล ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถลงเรือไปเที่ยวเพื่อดำน้ำลึก ดำน้ำตื้น ดูปะการัง ตามหมู่เกาะต่าง ๆ เช่น เกาะไก่ เกาะปอดะ ทะเลแหวก เป็นต้น ผลจากการขยายตัวด้านการท่องเที่ยวส่งผลให้มีนักท่องเที่ยวเข้ามาจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยเฉพาะปัญหาขยะมูลฝอย

โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวที่ให้บริการนักท่องเที่ยวบนเรือตามหมู่เกาะต่าง ๆ ในแต่ละโปรแกรมนำเที่ยว ได้แก่ เกาะไก่ เกาะปอดะ ทะเลแหวก เกาะหม้อ ถ้ำพระนาง ถ้ำไวกิ้ง อ่าวลิง อ่าวมาหยา อ่าวปิเละ และเกาะพีพี ที่นำมาขึ้นฝั่งบริเวณท่าเทียบเรือ หาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ทำการเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวที่นำขึ้นมาบนฝั่งบริเวณท่าเทียบเรือหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ โดยทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 เดือน ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 2 ครั้ง คือ ทุกวันหยุดเสาร์และอาทิตย์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ติดต่อกัน รวม 8 ทั้งหมดครั้ง ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 13.30-17.00 น. โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นขยะมูลฝอยที่มาจากเรือท่องเที่ยว 2 กลุ่ม คือ เรือสปีดโบ๊ทและเรือหางยาว จากโปรแกรมการท่องเที่ยว 2 โปรแกรม คือ โปรแกรมพีพี (เกาะไผ่ อ่าวมาหยา อ่าวลิง อ่าวปิเละ ถ้ำไวกิ้ง และเกาะพีพี) และโปรแกรมสี่เกาะ (เกาะปอดะ เกาะไก่ ถ้ำพระนาง และทะเลแหวก)

2. ทำการศึกษาปริมาณ องค์ประกอบ ลักษณะภาชนะรองรับ การเก็บกักรวบรวม การเก็บขน การกำจัดขยะมูลฝอย และอัตราการเกิดขยะมูลฝอย

3. นำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิและรูปภาพประกอบการบรรยาย

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาปริมาณและองค์ประกอบขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยว ในโปรแกรมการท่องเที่ยวจำนวน 2 โปรแกรม คือ 1) โปรแกรมพีพี: มีเส้นทางการเดินเรือ คือ เกาะไผ่ อ่าวมาหยา อ่าวลิง อ่าวปิเละ ถ้ำไวกิ้ง และเกาะพีพี และ 2) โปรแกรมสี่เกาะ: มีเส้นทางการเดินเรือ คือ เกาะปอดะ เกาะไก่ ถ้ำพระนาง และทะเลแหวก โดยมีเรือท่องเที่ยวให้บริการเป็นเรือสปีดโบ๊ทและเรือหางยาว ดังแสดงในรูปที่ 1

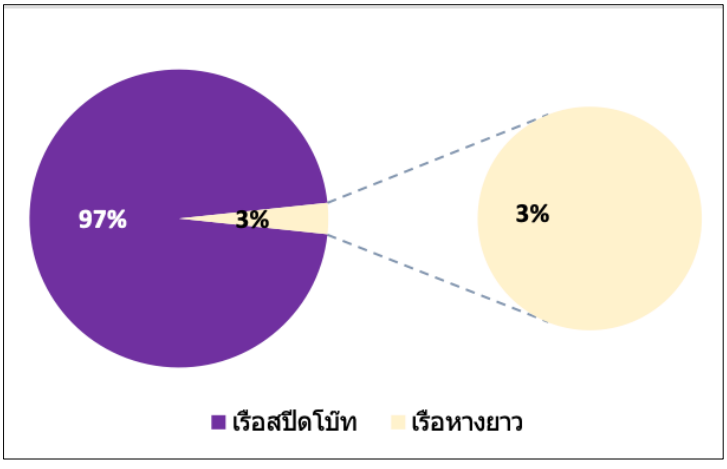
ก: เรือสปีดโบ๊ท

ข: เรือหางยาว

รูปที่ 1 (ก-ข) แสดงเรือท่องเที่ยวที่ให้บริการนำเที่ยวใน 2 โปรแกรมท่องเที่ยว

ผลการศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอยมาจากแหล่งที่มาบนเรือท่องเที่ยวทั้ง 2 ประเภท รวมจำนวนเรือ 321 ลำ พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งหมด 623.20 ก.ก. ซึ่งมาจากเรือสปีดโบ๊ทจำนวน 159 ลำ มีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 601.38 ก.ก. (ร้อยละ 97.00) และจากเรือหางยาวจำนวน 162 ลำ มีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 21.45 ก.ก. (ร้อยละ 3.00) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีจำนวนนักท่องเที่ยวรวม 5,352 คน ส่งผลให้มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยรวมเท่ากับ 0.12 ก.ก./คน/วัน

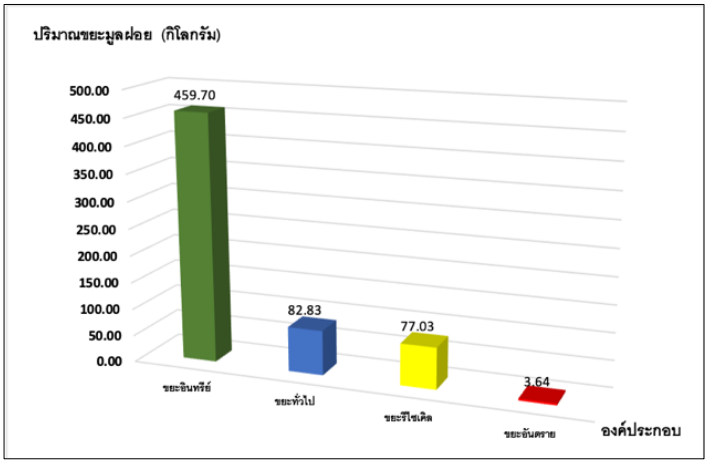
นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณขยะมูลฝอยรวมจากเรือท่องเที่ยวในวันหยุดเสาร์และอาทิตย์ พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยจากเรือนำเที่ยวทั้ง 2 ประเภท ในวันเสาร์มีปริมาณขยะมูฝอยรวมเท่ากับ 266.97 ก.ก. ซึ่งมาจากเรือจำนวน 147 ลำ และมีจำนวนนักท่องเที่ยวรวม 2,543 คน ส่งผลให้มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยรวมเท่ากับ 0.10 ก.ก./คน/วัน และในวันอาทิตย์มีปริมาณขยะมูฝอยรวมเท่ากับ 356.23 ก.ก. มาจากเรือจำนวน 174 ลำ โดยมีจำนวนนักท่องเที่ยวรวม 2,809 คน ส่งผลให้มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยรวมเท่ากับ 0.13 ก.ก./คน/วัน



รูปที่ 2 แสดงร้อยละของปริมาณขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยว

โดยขยะมูลฝอยรวมที่ได้จากการศึกษา สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 องค์ประกอบ คือ ขยะอินทรีย์ ซึ่งพบมากที่สุด มีปริมาณ 459.70 ก.ก. (ร้อยละ 73.76) โดยองค์ประกอบที่พบ ได้แก่ เศษผลไม้และเศษอาหาร รองลงเป็นขยะทั่วไป มีปริมาณ 82.83 ก.ก. (ร้อยละ 13.29) องค์ประกอบที่พบได้แก่ ถุง/แก้ว/กล่องพลาสติก, กล่อง/แก้ว/จานกระดาษ, ช้อน/หลอดพลาสติก, ไม้เสียบลูกชิ้น, เชือก, ผ้าเย็น, ทิชชูเปียก, ซองบุหรี่, อุปกรณ์ดำน้ำ, โฟม, กล่องนม และกระสอบ นอกจากนี้ ยังพบขยะรีไซเคิล

มีปริมาณ 77.03 ก.ก. (ร้อยละ 12.36) โดยองค์ประกอบที่พบ ได้แก่ ขวดแก้ว, ขวดพลาสติก, กระป๋องอะลูมิเนียม, และกระดาษลัง และพบน้อยที่สุด คือ ขยะอันตราย มีปริมาณ 3.64 ก.ก. (ร้อยละ 0.58) องค์ประกอบที่พบได้แก่ อุปกรณ์ปฐมพยาบาล, ยาเมาเรือ, ไฟแช็ค, สายไฟ และปากกาเคมี โดยองค์ประกอบขยะมูลฝอยรวม ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งขยะอินทรีย์ที่พบมากที่สุดนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลัฆวี ปรีชัย [4] ที่ได้ศึกษาการจัดการมูลฝอยบนเรือและท่าเทียบเรือจากกิจกรรมบริการท่องเที่ยวดำน้ำบริเวณหมู่เกาะราชาที่ขึ้นฝั่ง ณ ท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต จากการศึกษา พบว่ามีขยะอินทรีย์มากที่สุด ร้อยละ 70-80 และสอดคล้องกับ นภัสกนก เมฆนิติ [5] ที่ได้ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการฝึกอบรมด้านการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับบุคลากรและผู้ประกอบธุรกิจประมงในท่าเทียบเรือประมงภูเก็ต พบว่า มีปริมาณขยะอินทรีย์มากที่สุด 40.99 ก.ก./วัน แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ กันตา สิทธิการ [6] ที่ได้ศึกษาปริมาณและองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยท่าเทียบเรือรัษฎาและท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จากกิจกรรมการใช้บริการท่าเทียบเรือโดยสาร จังหวัดภูเก็ต ซึ่งพบว่ามีขยะที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด ร้อยละ 50 แต่สอดคล้องในส่วนของการพบขยะอันตราย ซึ่งพบน้อยที่สุดเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 0.58



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยรวมจากเรือท่องเที่ยว

ในส่วนของการเก็บรวบรวม เก็บขน และขนย้ายขยะมูลฝอยบนเรือทั้ง 2 ประเภท พบว่า ขยะมูลฝอยบนเรือถูกเก็บรวบรวมลงในภาชนะรองรับบนเรือ ซึ่งเป็นภาชนะ 3 ลักษณะ คือ 1) ถังพลาสติกแบบมีฝาปิด มีช่องเปิดตรงกลาง ภายในมีถุงพลาสติกสีดำรองรับ 2) ถุงพลาสติกสีดำ และ 3) กล่องกระดาษลัง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจากการสำรวจภายในภาชนะรองรับขยะมูลฝอย พบว่า ไม่มีการคัดแยกขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทาง จึงทำให้ขยะมูลฝอยถูกทิ้งปะปนรวมกันหมด ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560 [3] ที่กำหนดไว้ว่าภาชนะสำหรับบรรจุมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ใหม่ต้องทำจากวัสดุที่ทำความสะอาดง่าย มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่รั่วซึม มีฝาปิดมิดชิด สามารถป้องกันสัตว์และแมลงพาหนะนำโรคได้ ขนาดเหมาะสม สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และง่ายต่อการถ่ายและเทมูลฝอย มีเพียงแต่ถุงพลาสติกสีดำเท่านั้น ที่มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่รั่วซึม เป็นไปตามลักษณะที่กำหนดในกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560

ก: ถังพลาสติกแบบมีฝาปิด

ข: ถุงพลาสติกสีดำ

ค: กล่องกระดาษลัง

รูปที่ 4 (ก-ค) แสดงลักษระภาชนะรองรับบนเรือทั้ง 2 ประเภท

สำหรับการจัดการขยะมูลฝอยภายหลังจากเรือเข้าจอดเทียบท่าบริเวณท่าเทียบเรือหาดนพรัตน์ธาราแล้ว ภาชนะรองรับขยะมูลฝอยบนเรือทั้งหมดจะถูกบุคคลภายนอกที่ถูกว่าจ้างโดยอุทยานแห่งชาติหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ เข้ามาเก็บรวบรวม เก็บขนและขนย้าย ในช่วงเวลา 13.30-17.00 น. โดยใช้รถซาเล้งพ่วงข้าง ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งยานพาหนะไม่เป็นไปตามกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560 [3] ที่กำหนดไว้ว่า ยานพาหนะขนมูลฝอยทั่วไป ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และสุขลักษณะตัวถังบรรจุมูลฝอยทั่วไป มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่รั่วซึม มีลักษณะปกปิด ง่ายต่อการบรรจุขนถ่ายและทำความสะอาด ระดับตัวถังไม่สูงเกินไปหรืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในขณะขนถ่ายมูลฝอยทั่วไป

รูปที่ 5 แสดงรถซาเล้งพ่วงข้าง

โดยในขณะที่เก็บรวบรวมขยะมูลฝอย พบว่า บุคคลดังกล่าวไม่มีการสวมถุงมือ หน้ากากอนามัย ผ้ากันเปื้อน และสวมรองเท้าแตะ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งไม่เหมาะสมตามกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560 หมวด 2 ข้อ 13 [3] ที่กำหนดไว้ว่า หน่วยงานหรือบุคคลตามข้อ 4 วรรคหนึ่ง ต้องจัดให้มีผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการเก็บรวบรวมและคัดแยกมูลฝอยทั่วไปและจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสมสำหรับผู้ปฏิบัติงานดังกล่าว

รูปที่ 6 การใช้อุปกรณ์ป้องกันของผู้ปฏิบัติงาน

นอกจากนี้ ขยะมูลฝอยทั้งหมดจากรถซาเล้งพ่วงข้างจะถูกนำไปคัดแยกที่บ้านของผู้เก็บรวบรวม ซึ่งทำการคัดแยกขยะมูลฝอยออกได้เป็น 3 องค์ประกอบ คือ ขยะรีไซเคิล (ขวดน้ำพลาสติก ขวดแก้ว กระป๋องเหล็ก กระป๋องอลูมิเนียม กระดาษลัง) ขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร) และขยะทั่วไป (ถุงพลาสติก แก้วน้ำพลาสติก กล่องโฟม เศษกระดาษ หลอดกระดาษ หลอดพลาสติก ไม้เสียบลูกชิ้น)

สำหรับการเก็บขนขยะทั่วไปภายหลังการคัดแยกและถูกส่งไปยังจุดพักขยะของเทศบาลที่ตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าสนามกีฬาตำบลอ่าวนางแล้ว จะถูกเก็บขนและขนย้ายไปกำจัดด้วยพนักงานที่ถูกว่าจ้างโดยเทศบาลตำบลอ่าวนาง ซึ่งมีพนักงานจำนวน 3 คน (รวมคนขับรถ) ดำเนินการเก็บขนด้วยรถบรรทุกขยะแบบขอเกี่ยวหรือเครนยกขนาดบรรจุ 4 ลบ.ม. จำนวน 1 คัน ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งยานพาหนะเป็นไปตามกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560 [3] ที่กำหนดไว้ว่า ยานพาหนะ

ขนมูลฝอยทั่วไป ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และสุขลักษณะตัวถังบรรจุมูลฝอยทั่วไป มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่รั่วซึม มีลักษณะปกปิด ง่ายต่อการบรรจุขนถ่ายและทำความสะอาด ระดับตัวถังไม่สูงเกินไปหรืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในขณะขนถ่ายมูลฝอยทั่วไป โดยทางเทศบาลจะเก็บขยะมูลฝอยทุกวัน

รูปที่ 7 แสดงรถบรรทุกขยะแบบขอเกี่ยวหรือเครนยกขนาดบรรจุ 4 ลบ.ม.

โดยในขณะเก็บขนและขนย้าย พนักงานมีการสวมถุงมือ หน้ากากอนามัย สวมรองเท้าแตะ แต่ไม่สวมผ้ากันเปื้อน ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งไม่เหมาะสมตามกฎกระทรวงสุขลักษณะการจัดการมูลฝอยทั่วไป พ.ศ. 2560 หมวด 2 ข้อ 13 [3] ที่กำหนดไว้ว่า หน่วยงานหรือบุคคลตามข้อ 4 วรรคหนึ่ง ต้องจัดให้มีผู้ปฏิบัติงานซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการเก็บรวบรวมและคัดแยกมูลฝอยทั่วไป และจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสมสำหรับผู้ปฏิบัติงานดังกล่าว

รูปที่ 8 แสดงการใช้อุปกรณ์ป้องกันในขณะปฏิบัติงานของผู้มีหน้าที่เก็บขน

ในส่วนของการกำจัดขยะมูลฝอย พบว่า ขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวที่มีการคัดแยกที่บ้านของผู้เก็บกักรวบรวมแล้ว มีการกำจัดด้วยกัน 3 วิธี คือ 1) ขยะรีไซเคิล จะถูกนำไปขายยังร้านรับซื้อของเก่าในตำบลอ่าวนาง 2) ขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร) ถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์ และ 3) ขยะทั่วไป จะถูกส่งไปยังจุดพักขยะของเทศบาลที่จัดไว้ และถูกขนไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ณ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่ ซึ่งมีเนื้อที่ 251 ไร่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลไสไทยและตำบลปริก ซึ่งเป็นศูนย์รวมการกำจัดขยะมูลฝอยของภาครัฐและเอกชนในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงที่เข้ามาใช้บริการ ดังแสดงในรูปที่ 9

ก: ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ

ข: ภายในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ

รูปที่ 9 (ก-ข) แสดงศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ เทศบาลเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่

สรุป

ขยะมูลฝอยจากเรือท่องเที่ยวมาจากเรือสปีดโบ๊ทและเรือหางยาว ซึ่งถูกแบ่งเป็น 4 องค์ประกอบ คือ ขยะอินทรีย์ ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย ในส่วนของการเก็บกัก รวบรวม และขนย้ายขยะมูลฝอยจากเรือมาคัดแยกองค์ประกอบ ดำเนินการโดยบุคคลภายนอกที่ถูกว่าจ้างจากอุทยานแห่งชาติหาดนพรัตน์ธารา จังหวัดกระบี่ ด้วยรถซาเล้งพ่วงข้าง และในส่วนของการขนย้ายขยะมูลฝอยทั่วไปไปกำจัด ดำเนินการโดยพนักงานที่ถูกว่าจ้างโดยเทศบาลตำบลอ่าวนาง ซึ่งขนย้ายขยะมูลฝอยด้วยรถบรรทุกแบบขอเกี่ยวหรือเครนยก โดยขนย้ายไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ณ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติหาดนพรัตน์ธารา-หมู่เกาะพีพี จังหวัดกระบี่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้เข้าใช้พื้นที่เพื่อทำการศึกษา และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการสนับสนุนการเผยแพร่งานวิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. **สถานการณ์ขยะประเทศไทย.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th2public/Publication/print_report.cfm เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2567

[2] ฐานเศรษฐกิจ. 2561**. ชาวบ้าน จ. กระบี่สุดทน “ปัญหาขยะ” ยื่น “บิ๊กตู่”แก้ไขด่วน 4 ข้อ.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://www.thansettakij.com/business/31926 เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2567

[3] กรมอนามัย. 2559. พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://laws.anamai.moph.go.th/ewtadmin/ewt/laws/main.php?fileman=1HLaws2016. เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2567

[4] ลัฆวี ปรีชัย. 2557. **การจัดการขยะมูลฝอยบนเรือและท่าเทียบเรือจากกิจกรรมบริการท่องเที่ยวดำน้ำลึกบริเวณหมู่เกาะราชาที่ขึ้นฝั่ง ณ ท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9892 เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2567

[5] นภัสกนก เมฆนิติ. 2553 **การศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการฝึกอบรมด้านการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับบุคลากรและผู้ประกอบธุรกิจประมงในท่าเทียบเรือประมงภูเก็ต.**

[6] กันตา สิทธิการ. 2560. **การศึกษาปริมาณและองค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอย.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

09R2-06

การกำจัดฝุ่นควัน (PM 2.5) ปล่องโรงงานด้วยฟิวเตอร์ร่วมกับสารเคลือบผิว

Purify unburned carbon (PM 2.5) from stack by air filtration + pre-coating

ชัยโรจน์ ประมวลมาศ[1] ชูชีพ ประจิตร [2] และ ณัฐนิช ประมวลมาศ[3]
Chairote Pramounmat[1] Choocheep Prajit[2] and Nuttanit Pramounmat[3]
[1*]สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม Tel: 0818317400 Email : chairote@rc-trading.com
[2]ผู้ชำนาญการออกแบบระบบกรองฝุ่นควัน PM 2.5 Tel: 089-0376267 e-mail : choocheep@rc-trading.com
[3]PhD in Chemical Engineering & Biomolecular Engineering

บทคัดย่อ

ปัญหามลภาวะจากฝุ่น(PM 2.5) และหมอกควันในประเทศไทย ปัจจุบันมีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆและในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาส่งกระทบกับประชาชนโดยตรง ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบการหายใจ,โรคภูมิแพ้ ผิวหนังอักเสบ และอื่นๆตามมาอย่างมากมาย ในปี 2566 ประเทศไทยมีสถิติผู้ป่วยที่เกิดจาก PM 2.5 เพิ่มขึ้น 1.7 ล้านคน ตั้งแต่วันที่ 1 ม.ค. ถึง 19 มี.ค. 2566 พบผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ รวม 1,730,976 ราย [1] โดยสาเหตุหลักๆ ในเขตต่างจังหวัดมาจากการเผาซากพืชผลทาง และอีกปัจจัยที่สร้างผลกระทบอย่างรุนแรงในเขตชุมชน คือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อต้มน้ำ (boiler)โดยเชื้อเพลิงชีวะมวล (Biomass) ในการผลิตไอน้ำและผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขายให้การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศหรือ PM 2.5 หรือที่มีการติดตั้งอยู่ก็ไม่ได้มาตรฐานและคุณภาพต่ำ จึงปล่อยฝุ่นควัน PM 2.5 ออกมาจากปล่อง boiler จำนวนมาก วิธีที่เหมาะสมและสามารถกำจัดมลพิษทางอากาศ PM 2.5 ที่ได้ผลมากว่า 90% และราคาการลงทุนติดตั้งระบบไม่สูงมากนัก คือระบบการฟิวเตอร์ร่วมกับสารเคลือบผิวหรือการติดตั้งเครื่องกำจัดฝุ่น (Dust collector) โดยการเลือกใช้ฟิวเตอร์ (Filter) ที่มีประสิทธิภาพสูง(กรองฝุ่น PM 2.5) โดยใช้ร่วมกับสารเคลือบผิวฟิวเตอร์ และสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงในการใช้งานได้

คำสำคัญ : การกำจัดฝุ่นควัน PM 2.5 ; การใช้ฟิวเตอร์ร่วมกับสารเคลือบผิว; เชื้อเพลิงชีวะมวล; ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ; boiler; ปล่องควัน

Abstract

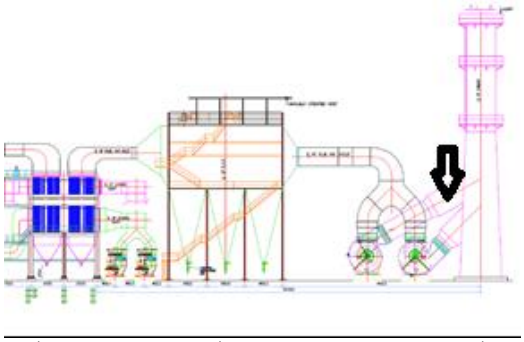
Pollution problems from unburned carbon (PM 2.5) and smoke in Thailand Currently, it is becoming more and more violent and in the past 2-3 years has directly affected the people. Causes diseases related to the respiratory system, allergies dermatitis and many others followed in 2023. Thailand has statistics of patients caused by PM 2.5 increasing by 1.7 million people from Jan 1st- Mar 19th, 2023. Patients with diseases related to air pollution were found. Total air: 1,730,976 cases [1]. The main cause in the provinces comes from the burning of agricultural crop remains. Another factor that creates severe impacts in community areas is an industrial factory that using a biomass boiler to produce the electrical energy for sale to the Electricity Authority of Thailand. Most industrial plants do not yet have the air pollution system or not up to standard and of low efficiency to purify the unburned carbon (PM 2.5). Therefore, they release a lot of unburned carbon (PM 2.5) from the biomass boiler chimney. The appropriate method that can eliminate unburned carbon (PM 2.5) is using the air filter combined with the coating material.

Keywords : Unburned carbon (PM 2.5); Using filters with coatings material; biomass boiler; air pollution control system; chimney

อุปกรณ์และวิธีการ

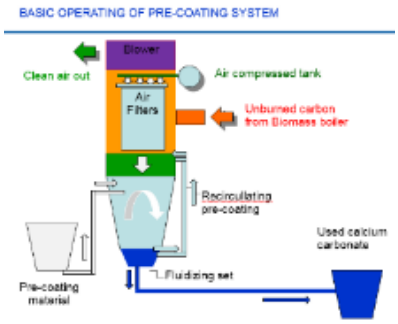
การทำงานของเครื่องกำจัดฝุ่นควัน PM 2.5 ด้วยฟิวเตอร์เลือกใช้ชนิดที่สามารถการกรองฝุ่น PM 2.5 ได้ หรือมีขนาดของรูในการกรอง (Pore size) เล็กกว่า 2.5 ไมครอน และมีการติดตั้งระบบปล่อยสารเคลือบผิวฟิวเตอร์ (pre-coating system) ในการทดสอบจะใช้ปูนขาว (CaCO3) เป็นตัวป้องกันความชื้น (%RH) และน้ำมันทาร์ (Tar) ที่มาจากการเผาไม้ไม่สมบูรณ์ (Unburned carbon) โดยได้นำเครื่องทดสอบ ขนาดปริมาณลมดูด 1,000 ลบ.เมตร/ชม (1,000 CMH) ไปติดตั้งในสถานที่ใช้งานจริงที่โรงงานผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงชีวะมวล (Biomass) ในการต้มน้ำ (Boiler) โดยการเจาะท่อแยกออกมาจากท่อส่งควันหลักก่อนขึ้นปล่องควันใหญ่ ที่อุณหภูมิ ระหว่าง 45 C - 84 C เพื่อเข้าเครื่องทดสอบการกรองและกำจัดควัน PM 2.5

รูปที่ 1 ฝุ่นควัน PM 2.5 จาก Boiler ใช้เชื้อเพลิงชีวะมวล



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งจัดที่ต่อท่อดูดฝุ่นควันจาก boiler เพื่อทดสอบ

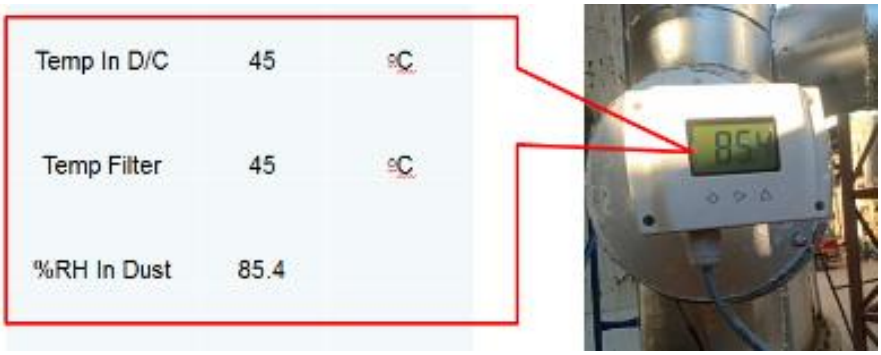
รูปที่ 3 ชุดทดสอบ (ฟิวเตอร์ร่วมสารเคลือบผิว)



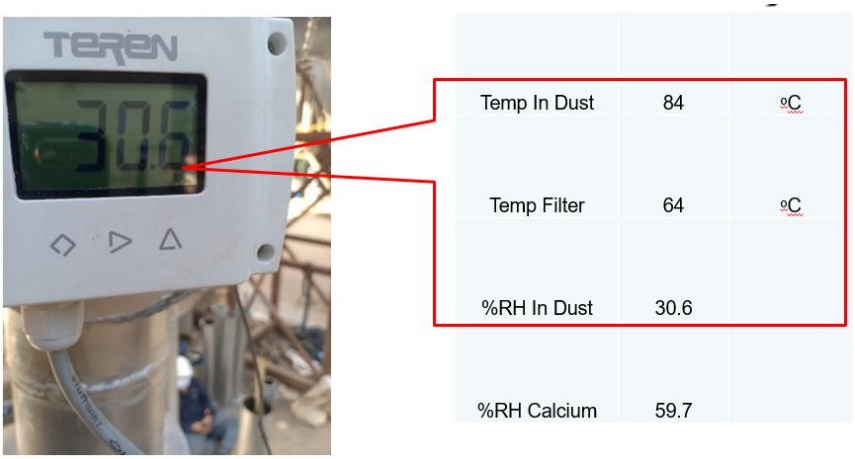
รูปที่ 4 หลักการทำงานของการใช้ฟิวเตอร์ร่วมกับสารเคลือบผิว

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบการใช้ฟิวเตอร์กรองฝุ่นควัน PM 2.5ร่วมกับสารเคลือบผิวฟิวเตอร์(Pre-coating) ระยะเวลา 3 ชม. ระบบสามารถกำจัดฝุ่นควันของการเผาไหม้เชื้อเพลง ชีวะมวล (Biomass) ใน ได้มากกว่า 90% โดยการสังเกตได้จากตาเปล่า (Visual check) และกรองอากาศมีสภาพการใช้งานที่ดีไม่มีการอุดตัน หลังจากการทำความสะอาดด้วยลมอัด(Compressed air) ที่ความดัน 5.0 บาร์ (5.0 bar) สังเกตได้จากแรงดันตกคร่อม (Pressure drop) คงที่ตลอดเวลาที่ทดสอบระบบ โดยตรวจเช็กได้จาก เกจวัดความดัน (differential gage) ที่ติดไว้เพื่อบอกการทำงานของกรองฝุ่น ระหว่างการทดสอบ พบว่ามีความชื้นจากการควบแน่น (Condensation) ที่มาพร้อมกับฝุ่นควัน PM 2.5 เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และจะสังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิสูง 84 C ความชื้นของฝุ่นควันจะต่ำที่ RH= 30.6% และที่อุณหภูมิต่ำที่ 45 C ความชื้นของฝุ่นควันจะสูงที่ RH 85.4.5% ทั้งนี้หากระบบทดสอบไม่ได้ติดตั้งระบบเคลือบผิว(Pre-coating) ฟิวเตอร์ ไว้ กรองอากาศ (Air filter) จะเปียก ชื้น และมีแรงดันตกคร่อม (Pressure Drop) สูง และฟิวเตอร์ตันในที่สุด



รูปที่ 5 แสดงให้เห็นความชื้น(%RH)ของฝุ่นควันจากการเผาไหม้เทียบกับอุณหภูมิ



รูปที่ 6 แสดงให้เห็นความชื้น(%RH)ของฝุ่นควันจากการเผาไหม้เทียบกับอุณหภูมิ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบ	
ปริมาณฝุ่นที่ไม่ผ่านเครื่องทดสอบ (มก/ลบ.เมตร)	ปริมาณฝุ่นที่ผ่านเครื่องทดสอบ (มก/ลบ.เมตร)
895	44.75

รูปที่ 7 ตารางการวัดปริมาณฝุ่นที่กรองได้เทียบเป็นประสิทธิภาพ(Eff.= 95%

รูปที่ 8 หลังจากการทำความสะอาดด้วยลมอัด(Compressed air) ที่ความดัน 5.0 บาร์ (5.0 bar)

สรุปผล

เปรียบเทียบการกำจัดฝุ่นควัน PM 2.5 โดยการระบบไซโคลน (Separated Cyclone) มีประสิทธภาพที่ดีในดักฝุ่นทีเล็กสุดเพียง 50 ไมครอน (>50 micron) [2] หรือระบบสเปรย์น้ำ (Wet scrubber) ที่เหมาะสำหรับแก๊สหรือสารระเหยที่ละลายน้ำได้ (Dissolvable) เท่านั้นและยังต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียของน้ำในระบบที่ใช้ ดังนั้นการใช้กรองฝุ่น (Air filtration) โดยมีการติดตั้งระบบสารเคลือบผิวกรองอากาศ (Pre-coating system) สามารถกำจัดฝุ่นควัน PM 2.5 และประสิทธิภาพการกรองสูงกว่า 90% (Eff. >90%) และจากการรวบรวมข้อมูลสารเคลือบผิวกรองฝุ่นหรือปูนขาว ($CaCO_3$) ที่ใช้แล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพการเป็น กรด-ด่าง (PH) ของดินให้มีสภาพเป็นกลางได้โดยไม่มีสารที่ทำให้ก่อมลพิษแต่อย่างใด

ระบบกำจัดฝุ่นควัน PM 2.5 ด้วยกรองฝุ่น (Biomass Smoke Filtration) ยังสามารถกรอง ฝุ่นควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวะมวล ที่อุณหภูมิสูงถึง 300 C โดยมีประสิทธิภาพสูงถึง 95% (> 95%) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้กรองอากาศที่เหมาะสมกับอุณหภูมิ รวมถึงการติดตั้งระบบเคลือบผิวฟิวเตอร์ (Pre coating) ที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

การทดสอบระบบกำจัดฝุ่นควัน (PM 2.5) ลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยสามารถนำเครื่องทดสอบไปติดตั้งและทดสอบกับการใช้จริง ในสถานที่จริงคือโรงงานผลิตไฟฟ้าจากการต้มน้ำ(Boiler) ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass เพื่อผลิตไฟฟ้าส่งให้การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

ทางผู้ทำการทดสอบต้องขอขอบคุณทาง บริษัท รวมผลไบเพาเวอร์ จำกัด และทีมงาน วิศกรรม ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทดสอบมาครั้งนี้เป็นอย่างสูง

และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการทดสอบและบทความนี้จะเป็นประโยชน์กับ นักศึกษาและผู้สนใจโดยเฉพาะโรงงานอุตสกรรมที่ยังประสบปัญหาของการปล่อยฝุ่นควัน (PM2.5) แต่ยังมองหาอุปกรณ์และระบบที่เหมาะสมกับการ กำจัดฝุ่นควัน (PM2.5)

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงสาธารณสุข. ข้อมูลจากเวปไซต์ Worktoday https://workpointtoday.com/news-568/ สืบค้นเมื่อ 29 มกราคม 2567

[2] EPA 602/05 : This guideline aim to assist person considering the use a cyclone as a “ dedusting device”. https://www.epa.sa.gov.au/files/8233
https://www.epa.sa.gov.au/files/8233_guide_cyclones.pdf

09R2-07

การประเมินฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เพื่อการจัดการคุณภาพอากาศ ด้วยแบบจำลอง AERMOD กรณีศึกษา เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

Evaluation of $PM_{2.5}$ for air quality management using AERMOD model case study of Phatumwan, Bangkok.

สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์[1] เจษฎานันท์ เวียงนนท์[2*] และ ภรณ์ดรัลรัตน์ สุชามาลาวงษ์[3]
Sutthicha Nilrit[1] Jessadanan Wiangnon[2*] and Phorndranrat Suchamalawong[3]
[1]อาจารย์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000
[2*]อาจารย์ วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10330
[3]วิทยาจารย์ชำนาญการพิเศษ ศูนย์ฝึกพาณิชย์นาวี กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ 10270
[*]โทรศัพท์ : 08 1369 7904, E-mail : Jessadanan@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาการประเมินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้เลือกพื้นที่ศึกษาในเขตปทุมวัน เนื่องจากเป็นพื้นที่ใจกลางเมืองที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น และมีแนวโน้มปริมาณ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อคุณภาพอากาศและนำเข้าข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2561-2563 ลักษณะพื้นผิว จุดสังเกตจำนวน 30 จุด โดยใช้สมการ Gaussian Plume ในการประเมินการแพร่กระจาย $PM_{2.5}$ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากปริมาณจราจร บริเวณริมถนนในพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร พบว่า ค่าสูงสุดของ $PM_{2.5}$ (80.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากแบบจำลองที่พบบริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ของเขตปทุมวัน มีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดสูงสุดบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ใกล้ที่สุด (82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) บริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ริมถนนพระราม 4) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้จำลองการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่จริง และยังช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับสัดส่วน $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดชนิดยานพาหนะประเภทต่างๆ สอดคล้องกับการตรวจวัดจริงในช่วงที่ตรวจนับจำนวนวันที่ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงเกินมาตรฐานในบรรยากาศ เพื่อวางแผนจัดการคุณภาพอากาศได้อีกด้วย

คำสำคัญ : $PM_{2.5}$; แบบจำลอง AERMOD; ยานพาหนะ; การจัดการมลพิษทางอากาศ

Abstract

A study to evaluate the concentration of particle matter less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) that emission from the combustion of fuel from vehicles in the case study area was selected in Pathumwan District, Bangkok. Because it is a city center area with heavy traffic volumes and there increased for the amount of $PM_{2.5}$ emission to continually exceed the standard value in the ambient air quality by AERMOD model. To study the impact on air quality and input data on meteorological conditions 2018-2020, surface data and 30 sensitive area points for calculations based on gaussian plume equation for evaluate $PM_{2.5}$. The result shown that comparing $PM_{2.5}$ concentration values from traffic volumes Along the roadside in the Pathumwan area Bangkok found that the highest $PM_{2.5}$ (80.28 $\mu g/m_3$) from the model was found in the southern area of Pathumwan District. The value is close to the highest $PM_{2.5}$ (82 $\mu g/m_3$) measurement value at the nearest air quality monitoring station. Chulalongkorn Hospital area (Rama 4 Road). The case study which can be applied to simulate $PM_{2.5}$ emissions close to measurement data in real areas It also helps to understand the proportion of $PM_{2.5}$ emission from various types of vehicles and corresponds to actual measurements during the counting of days when $PM_{2.5}$ values standards in the ambient to plan air quality management

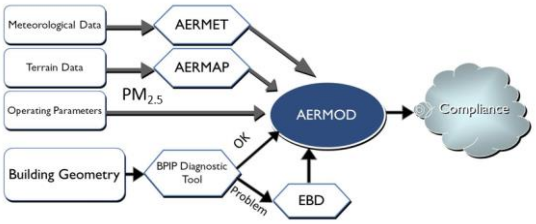
Keywords : $PM_{2.5}$; AERMOD model; vehicles; Air quality management

บทนำ

การศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการประเมินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้เลือกพื้นที่ศึกษาในเขตปทุมวัน เนื่องจากเป็นพื้นที่ใจกลางเมืองที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น และมีแนวโน้มปริมาณ $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง [1] โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD เพื่อศึกษาผลกระทบจาก $PM_{2.5}$ ที่มีต่อคุณภาพอากาศในบรรยากาศ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้คนที่พื้นที่ศึกษา [2] และเป็นปัญหาต่อเนื่องทุกปี และการตรวจวัดคุณภาพอากาศมีข้อจำกัดที่ผลการตรวจวัดนั้นมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ที่เป็นปัญหาด้วยข้อจำกัดด้านจำนวนสถานีตรวจวัด [3] การใช้แบบจำลอง AERMOD ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับวางแผนโครงสร้างพื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อมของชุมชนเมือง [4] ช่วงเหตุการณ์ที่เกิดมลพิษทางอากาศที่สะสมและมีแนวโน้มรุนแรง [5] และเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมิน $PM_{2.5}$ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบด้านคุณภาพอากาศในเขตเมือง

อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินผลกระทบด้านคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่เกิดจากการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ แหล่งกำเนิด ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD Version 9.9.0 ในการทำนายความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ [6] ตัวแบบจำลองเป็น Steady-State Plume Model ซึ่งใช้ Gaussian Plume Equation เป็นสมการพื้นฐานในการประเมินการแพร่กระจาย ใช้ทฤษฎีของชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) การกำหนดความคงตัวของบรรยากาศ (Stability Parameter) ทิศทางลมความสูงของชั้นผสม (Mixing Height) และการคำนวณความสูงของพลูม แสดงดังรูปที่ 1

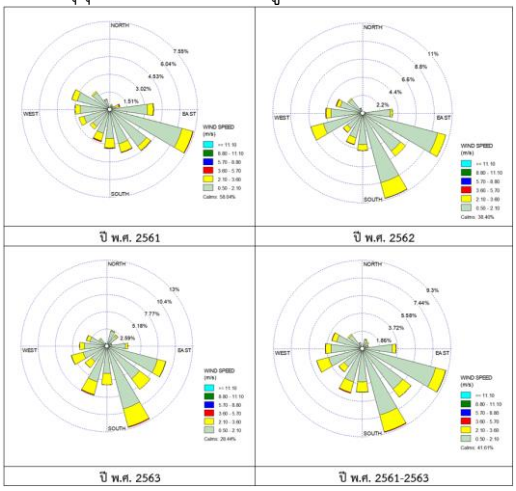


รูปที่ 1 การนำเข้าข้อมูลสภาพแวดล้อมเพื่อประเมินการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลอง AERMOD

การประเมินสภาวะอากาศเพื่อใช้คำนวณการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลอง AERMOD มีข้อมูลนำเข้าข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1.1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว (Surface Meteorological Data) เป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ของ 3 ปีล่าสุด พ.ศ. 2561-2563 ได้แก่ ข้อมูลทิศทางและความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณเมฆปกคลุม และความสูงฐานเมฆ จากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด คือ สถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร ของกรมอุตุนิยมวิทยา (ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ระยะห่างประมาณ 0.8 กิโลเมตร โดยข้อมูลจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของข้อมูลรายชั่วโมง [6] (ข้อมูลผังลมสถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร ของกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังลมสถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2561-2563

1.2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับสูง (Upper Air Meteorological Data) เป็นข้อมูลราย 3 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2561-2563 ประกอบด้วยข้อมูล ความดัน ทิศทางและความเร็วลม และอุณหภูมิ ในแต่ละระดับความสูงเหนือพื้นดินขึ้นไป จากสถานีอุตุนิยมวิทยาระดับสูงที่ใกล้ที่สุด คือ สถานีกรุงเทพ บางนา

2. ข้อมูลลักษณะพื้นผิว (Surface Data) ประกอบด้วยค่า Surface Roughness Length ค่า Bowen Ratio และค่า Albedo พิจารณาจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แผนที่สภาพการใช้ที่ดินของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2562 ของกรมพัฒนาที่ดิน และใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณรอบพื้นที่สถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานครเป็นจุดศูนย์กลาง โดยกำหนดค่าดังกล่าวใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (ฤดูฝน) และเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (ฤดูแล้ง (ฤดูร้อนและฤดูหนาว)) ซึ่งมีรายละเอียดค่าต่างๆ ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและการคำนวณ ดังนี้

1) ค่า Surface Roughness Length ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก ในรัศมี 3 กิโลเมตร
2) ค่า Bowen Ratio ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร
3) ค่า Albedo ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x10 กิโลเมตร

สภาพการใช้ที่ดินรอบสถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร ในพื้นที่รัศมี 3 กิโลเมตร สำหรับใช้ในการหาค่า Surface Roughness Length และพื้นที่ 10x10 ตารางกิโลเมตร สำหรับใช้ในการหาค่า Albedo และ Bowen Ratio แสดงดังสมการที่ 1-3

- ค่า Surface Roughness Length ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

$$\bar{X} = [(X_1)^{w_1} \cdot (X_2)^{w_2} \cdot \ldots \cdot (X_n)^{w_n}]^{1/\Sigma(w)} \qquad 1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก ของค่า Surface Roughness
w = ค่าน้ำหนักของข้อมูล (Weighting)
n = จำนวนประเภทของ Land use ในพื้นที่

- ค่า Bowen Ratio ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

$$\bar{x} = [(x_1)^{w_1} \cdot (x_2)^{w_2} \cdot \ldots \cdot (x_n)^{w_n}]^{1/\Sigma(w)} \qquad 2)$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ของค่า Bowen ratio
w = ค่าสัดส่วนของพื้นที่ Land use แต่ละประเภท (Fraction)
n = จำนวนประเภทของ Land use ในพื้นที่

- ค่า Albedo ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad 3)$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ของค่า Albedo
w = ค่าสัดส่วนของพื้นที่ Land use แต่ละประเภท (Fraction)
n = จำนวนประเภทของ Land use ในพื้นที่

3. จุดสังเกต (Sensitive Area) กำหนดให้พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 10×10 ตารางกิโลเมตร จากจุดศูนย์กลางของพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร และกำหนดจุดสังเกต (Receptor) ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาดังกล่าว โดยกำหนดความละเอียดหรือระยะห่างของกริดแบบไม่คงที่ (Variable Grid Resolution) ดังนี้ 3.1) พื้นที่จากจุดศูนย์กลางจนถึงขอบของพื้นที่เขตปทุมวันระยะ 2.0 กิโลเมตร ใช้ความละเอียด 100 เมตร 3.2) ระยะ 2-3 กิโลเมตร ใช้ความละเอียด 250 เมตร 3.2) ระยะ 3-5 กิโลเมตร ใช้ความละเอียด 500 เมตร

นอกจากนี้ ยังได้มีการกำหนดจุดสังเกตเพิ่มเติมให้ครอบคลุมพื้นที่อ่อนไหวต่อผลกระทบ (Sensitive Receptor) ได้แก่ สถานพยาบาล ศาสนสถาน และสถานศึกษา บริเวณพื้นที่ศึกษาในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร รวมจำนวน 30 จุด ได้แก่ โรงพยาบาลเจตนิน โรงพยาบาลคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลตำรวจ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย วัดชำนิหัตถการ (วัดสามง่าม) วัดสระบัว วัดดวงแข คริสตจักรไมตรีจิตหลังสวน วัดพระมหาไถ่ ศูนย์บริการสาธารณสุข 16 ลุมพินี โรงเรียนวัดสระบัว สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน โรงเรียนอนุบาลจุไรรัตน์ โรงเรียนสีตบุตรบำรุง โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย วิทยาลัยพยาบาลตำรวจ สถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงเรียนวัดดวงแข สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตอุเทนถวาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒปทุมวัน โรงเรียนประเสริฐธรรมวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงเรียนอนุบาลแสงประเสริฐ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงเรียนพระมหาไถ่ศึกษา โรงเรียนสวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร โรงเรียนปลูกจิต และโรงเรียนอนุบาลสุนี

4. การประเมินผลกระทบ $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลอง

1) แหล่งกำเนิดและการประเมินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ใช้ข้อมูลจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภท บริเวณทางแยกในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร โดยอ้างอิงข้อมูลสถิติปริมาณจราจรบริเวณทางแยกในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2563 ของสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสำรวจปริมาณจราจรโดยแบ่งประเภทรถออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถตู้/ปิคอัพ รถเมล์ใหญ่ รถเมล์เล็ก รถบรรทุก และรถสามล้อ ใน 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนเช้า (7.00-9.00 น.) ช่วงนอกเร่งด่วน (9.00-16.00 น.) และช่วงเร่งด่วนเย็น (16.00-19.00 น.) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณจราจรแยกประเภทรถและช่วงเวลาบริเวณทางแยกในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2563

ช่วงเวลา	จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภท (คัน) [1/]							
	รถยนต์นั่ง	ปิคอัพ	ตู้	แวน	เมล์ใหญ่	เมล์เล็ก	บรรทุก	สามล้อ
เร่งด่วนเช้า (7.00 - 9.00 น.)	37,968	8,264	1,099	7,165	1,349	113	257	1,095
นอกเร่งด่วน (9.00 - 16.00 น.)	121,435	37,051	4,925	32,122	4,225	411	1,864	4,706
เร่งด่วนเย็น (16.00 - 19.00 น.)	53,507	14,343	1,907	12,437	1,564	175	384	2,003
รวมทุกช่วงเวลาของทุกถนน	212,910	59,658	7,930	51,724	7,138	699	2,505	7,804

หมายเหตุ : [1/] จากข้อมูลสถิติปริมาณจราจรบริเวณทางแยกในเขตกรุงเทพมหานคร ปี 2563 ของสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร

2) การคำนวณค่าอัตราการระบายฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายมลสาร (Emission Factor) จากยานพาหนะ [7] ในการคำนวณค่าอัตราการระบาย $PM_{2.5}$ จากยานพาหนะแต่ละประเภทในแต่ละช่วงเวลาตามการสำรวจปริมาณจราจร

สำหรับการนำเข้าข้อมูลอัตราการระบายมลสารในแบบจำลอง AERMOD กำหนดให้การระบายมลสารที่มีแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะทั้งหมดในพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร เป็นแหล่งระบายมลสารแบบพื้นที่ (Area Source) โดยกำหนดให้มีการระบายมลสารในช่วงเวลา 7.00 - 19.00 น. ตามข้อมูลการสำรวจปริมาณจราจรในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลอัตราการระบายมลสารในหน่วยกรัม/วินาที/ตารางเมตร ซึ่งคำนวณจากค่าอัตราการระบายรวมของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากยานพาหนะในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร และขนาดพื้นที่รวมของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ที่มีขนาดประมาณ 8,370,000 ตารางเมตร รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการระบายมลสารจากปริมาณจราจรต่อขนาดพื้นที่ของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

ชนิดมลสาร	อัตราการระบายมลสารจากยานพาหนะในพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร					
	(กรัม/วินาที)			(กรัม/วินาที/ตารางเมตร) [1/]		
	เร่งด่วนเช้า (7.00-9.00 น.)	นอกเร่งด่วน (9.00-16.00 น.)	เร่งด่วนเย็น (16.00-19.00 น.)	เร่งด่วนเช้า (7.00-9.00 น.)	นอกเร่งด่วน (9.00-16.00 น.)	เร่งด่วนเย็น (16.00-19.00 น.)
$PM_{2.5}$	9.4629	10.3782	9.3668	1.13E-06	1.24E-06	1.12E-06

หมายเหตุ : [1/] ค่าอัตราการระบาย (กรัม/วินาที/ตารางเมตร) คำนวณจากค่าอัตราการระบาย (กรัม/วินาที) หารด้วยขนาดพื้นที่รวมของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ที่มีขนาดพื้นที่รวม 8,370,000 ตารางเมตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการประเมินความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ของยานพาหนะในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 7.00-19.00 น. โดยใช้แบบจำลอง AERMOD มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 และเส้นระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบ ค่า $PM_{2.5}$ สูงสุดบริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ห่างจากถนนพระราม 4 ประมาณ 120 เมตร โดยค่าความเข้มข้นสูงสุดของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่า 80.28 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 160.56 ของค่ามาตรฐาน) และบริเวณแหล่งรับผลกระทบที่เป็นจุดสังเกตจำนวน 30 จุด มีค่าอยู่ระหว่าง 37.68-77.58 ไมโครกรัม/

ลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 75.36-155.16 ของค่ามาตรฐาน) ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐาน $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศโดยทั่วไป ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) ที่กำหนดค่าไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

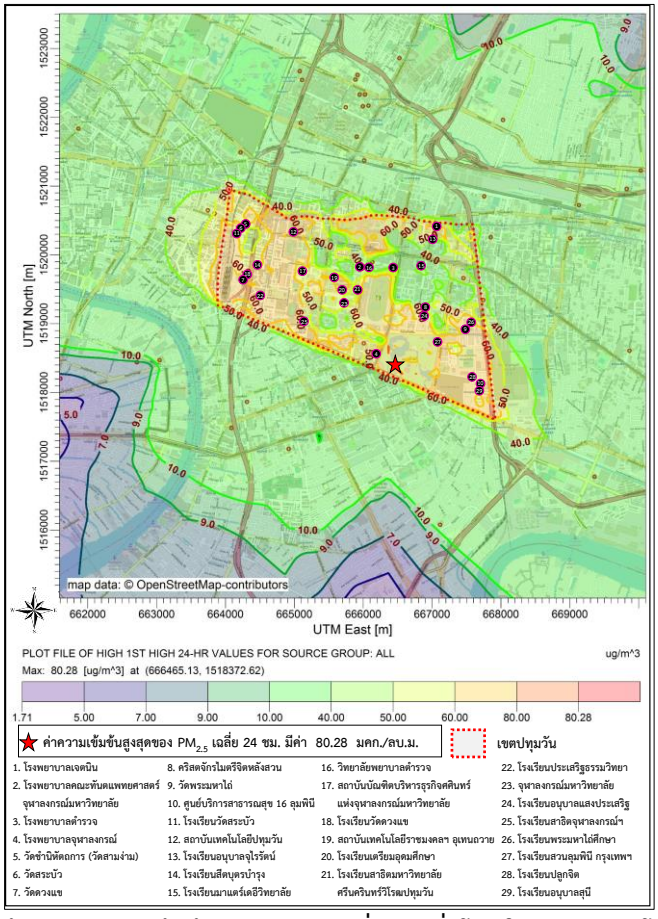
ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศโดยทั่วไป ที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลอง AERMOD

รายละเอียด/จุดสังเกต	ค่าความเข้มข้นของมลสารจากแบบจำลอง AERMOD (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง
- ค่าความเข้มข้นสูงสุด	80.28 (บริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ห่างจากถนนพระราม 4 ประมาณ 120 เมตร พิกัดภูมิศาสตร์ UTM (WGS84) 47P 666465.13E,1518372.62N)
ค่าต่ำสุด-สูงสุด (จุดสังเกต 30 จุด)	37.68-77.58
ค่ามาตรฐาน	50 [1/]

หมายเหตุ : [1/] อ้างอิงค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไป

สำหรับบริเวณจุดสังเกต มีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนี้ 1) โรงพยาบาลเจตนิน (54.27), 2) โรงพยาบาลคณะทันตแพทยศาสตร์ 3) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (42.29), 4) โรงพยาบาลตำรวจ (49.27), 5) โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย (53.77), 6) วัดชำนิหัตถการ (วัดสามง่าม) (59.01), 7) วัดสระบัว (62.22), 8) วัดดวงแข (64.14), 9) คริสตจักรไมตรีจิตหลังสวน (61.59), 10) วัดพระมหาไถ่ (69.80), 11) ศูนย์บริการสาธารณสุข 16 ลุมพินี (68.76) 12) โรงเรียนวัดสระบัว(62.97), 13) สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน (66.56), 14) โรงเรียนอนุบาลจุไรรัตน์ (42.09), 15) โรงเรียนสีตบุตรบำรุง (58.90), 16) โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย (37.68), 17) วิทยาลัยพยาบาลตำรวจ (38.21), 18) สถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(52.31), 19) โรงเรียนวัดดวงแข (63.85), 20) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตอุเทนถวาย (59.81), 21) โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา (69.17), 22) โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒปทุมวัน (48.04), 23) โรงเรียนประเสริฐธรรมวิทยา (64.51), 24) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (58.84), 25) โรงเรียนอนุบาลแสงประเสริฐ (62.37) 26) โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (60.01) 27) โรงเรียนพระมหาไถ่ศึกษา (65.90), 28) โรงเรียนสวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร (77.58), 29) โรงเรียนปลูกจิต (71.95) และ 30) โรงเรียนอนุบาลสุนี (73.89) ตามลำดับ

การเปรียบเทียบผลการประเมินจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศของกรมควบคุมมลพิษ (แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า $PM_{2.5}$ มีค่าอยู่ในช่วง 8-82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงตั้งแต่เดือนธันวาคมต่อเนื่องถึงเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและลมที่พัดปกคลุมเป็นลมเหนือหรือลมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงปลายฤดูหนาวของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงที่ความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนจะแผ่ลงมาปกคลุมทำให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ประเทศไทยตอนบนมีอุณหภูมิลดลงโดยทั่วไป มีอากาศเย็นถึงหนาวและหนาวจัดบางพื้นที่ แต่มีบางช่วงความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมาปกคลุมบริเวณดังกล่าวมีกำลังอ่อนลงส่งผลให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังอ่อนลงหรือมีลมสงบตามไปด้วย ประกอบกับมีการผกผันกลับของอุณหภูมิ (Inversion) ในระดับล่าง ส่งผลให้ระดับเพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียนและถ่ายเทของอากาศไม่ดีจึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศและมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 3 เส้นระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศโดยทั่วไป ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ของยานพาหนะในเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบรรยากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบต่อเนื่องของกรมควบคุมมลพิษ บริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน พ.ศ. 2563

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)			ค่าเฉลี่ย รายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	จำนวนวัน > ค่ามาตรฐาน	
มกราคม	82	19	8/31	42
กุมภาพันธ์	76	16	12/28	44
มีนาคม	44	16	0/31	25
เมษายน	39	19	0/30	23
พฤษภาคม	25	10	0/31	17
มิถุนายน	20	8	0/30	14
กรกฎาคม	24	12	0/29	16
สิงหาคม	27	12	0/31	18
กันยายน	29	8	0/30	17
ตุลาคม	47	12	0/31	22
พฤศจิกายน	48	16	0/30	28
ธันวาคม	66	20	4/29	36
ค่ามาตรฐาน		50 [1/]		-

หมายเหตุ : [1/] อ้างอิงค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไป

ที่มา : ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบต่อเนื่อง, กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, กรมควบคุมมลพิษ, 2563

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากปริมาณจราจรในปี 2563 ที่ได้จากผลการประเมินจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD กับผลการตรวจวัดในปี 2563 บริเวณริมถนนในพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานครดังรายละเอียดในตารางที่ 5 พบว่า ค่าสูงสุดของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง AERMOD ที่พบบริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ของเขตปทุมวัน (ห่างจากถนนพระราม 4 ประมาณ 120 เมตร) มีค่า ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดสูงสุดบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ใกล้ที่สุดบริเวณโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ริมถนนพระราม 4) ที่มีระยะห่างประมาณ 300 เมตร ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนของอัตราการระบาย $PM_{2.5}$ ที่เกิดขึ้นจากจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ [7] พบว่า ฝุ่นขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากยานพาหนะมากกว่าร้อยละ 90 ถึง 100 เป็นฝุ่นชนิด $PM_{2.5}$ และมีการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากการจราจรในพื้นที่ศึกษาร้อยละ 49.5 [8] และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชยานนท์ และคณะ [9] ที่ได้หาความสัมพันธ์ของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินเพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการแจ้งเตือนผลกระทบจาก $PM_{2.5}$ สำหรับการจัดการมลพิษทางอากาศในระยะยาวได้

อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยใช้แบบจำลอง AERMOD ในการศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่ การประเมินจากแหล่งกำเนิดเพียงชนิดเดียว (จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ) รวมทั้งข้อจำกัดที่มีข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณถนนในเขตปทุมวันไม่ครบทุกเส้นทาง และมาตรฐานไอเสีย (มาตรฐาน EURO) ของยานพาหนะที่ใช้ในการศึกษาเป็นมาตรฐาน EURO 1-5 ซึ่งปัจจุบันรถรุ่นใหม่ได้มีการพัฒนาการควบคุมค่ามาตรฐานไอเสียเป็น EURO6 และการส่งเสริมการเปลี่ยนวิธีการเดินทางแบบคาร์บอนต่ำลดการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น การใช้รถไฟฟ้าแทนรถยนต์เชื้อเพลิงน้ำมัน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กชนิด $PM_{2.5}$ ให้น้อยลง [10] ดังนั้น จึงทำให้ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลผลการตรวจวัดจริงได้ สำหรับการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจของประชาชนในพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ [11] ได้แก่ การประชาสัมพันธ์หรือการให้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับ $PM_{2.5}$ การให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหา สาเหตุและผลกระทบ และการมีส่วนร่วมของประชาชน ตามลำดับเพื่อปรับตัวและแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นชนิด $PM_{2.5}$ จากปริมาณจราจรในปี 2563 ที่ได้จากผลการประเมินจากแบบจำลอง AERMOD กับผลการตรวจวัดในปี 2563 บริเวณริมถนนในพื้นที่เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

พื้นที่/จุดสังเกต ในแบบจำลอง AERMOD	สถานีตรวจวัดที่ใกล้ที่สุด / ระยะห่างจาก จุดสังเกต	$PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
		ค่าความเข้มข้นสูงสุดจากแบบจำลอง AERMOD	ค่าความเข้มข้นสูงสุด (พ.ศ. 2563) บริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ที่สุด
ค่าสูงสุดบริเวณพื้นที่ด้านทิศใต้ของเขตปทุมวัน ห่างจากถนนพระราม 4 ประมาณ 120 เมตร	โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ริมถนนพระราม 4) / ระยะห่างประมาณ 300 เมตร	80.28	82
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์	โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ (ริมถนนพระราม 4)	53.77	82

สรุป

จากงานวิจัยนี้แบบจำลอง AERMOD สามารถนำมาประยุกต์ใช้จำลองการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่จริง และยังช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับสัดส่วนการปลดปล่อย $PM_{2.5}$ จากแหล่งกำเนิดชนิดยานพาหนะประเภทต่างๆ สอดคล้องกับการตรวจวัดจริงในช่วงที่ตรวจนับจำนวนวันที่ $PM_{2.5}$ มีค่าสูงเกินมาตรฐานในบรรยากาศได้อีกด้วย ทั้งนี้ต้องมีการนำเข้าข้อมูลที่เป็นจริงที่มีความถูกต้องเพื่อนำไปสู่การประเมิน $PM_{2.5}$ ที่มีผลลัพธ์อย่างแม่นยำนำไปสู่การจัดการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการประเมินมลพิษด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ

เอกสารอ้างอิง

[1] ธรรมลักษณ์ รัตนวรชัย. 2565. การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแพร่กระจายฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) จากภาคการจราจรบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

[2] Udomratana, V., Panida, N., Man, B.K., Jantamas, K., Jeerawan, P., Herman, A. and Mathuros, R. 2014. Oxidative DNA damage and inflammatory response in cultures human cells and in humans exposed to traffic-related particles. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 217: 23-33.

[3] ชยานนท์ เทพแสงพราว, ธงทิศ ฉายากุล และ ศิริมา ปัญญาเมธีกุล. 2564. การทำนายปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากข้อมูลความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26. วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564. SGI-02-1 - SGI-02-8.

[4] สัตยา มะโนแก้ว, วราภัญ มณีวรรณ, กฤชกำภู ชัยศิริ, ชนันพัฒน์ อินทร, สุนทร สุนทราภา, ดำรงศักดิ์ รินชุมภู และพีรพงศ์ จิตเสงี่ยม. 2564. การประยุกต์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจำลองค่ามลพิษอากาศสำหรับวางแผนโครงสร้างพื้นฐานสิ่งแวดล้อมชุมชนเมือง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26. วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564. INF-02-1 - INF-02-8.

[5] สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ. 2559. การจำลองความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงเหตุการณ์มลพิษอากาศรุนแรงในภาคเหนือตอนบนด้วยแบบจำลองสามมิติ. รายงานการวิจัย. สำนักการวิจัยแห่งชาติ.

[6] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. 2563. เอกสารเพื่อเผยแพร่ความรู้อย่างง่ายเกี่ยวกับแบบจำลองอากาศ AERMOD ฉบับประชาชน. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก.

[7] AIT. 2020. The study of sources of PM2.5 and precursors of secondary PM2.5 in Bangkok metropolitan region. Pollution Control Department. Bangkok.

[8] Thammaluck, R. and Win, T. 2023. Application of a PM2.5 dispersion model in Bangkok central business district for air quality management. Frontiers in Environmental Science. 1-12.

[9] ศิริลักษณ์ เจริญรัมย์ และวิสาขา ภู่จินดา. 2564. ทัศนคติของประชาชนต่อแนวทางการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน กรุงเทพมหานคร. วารสารวิจัยรำไพรรณี ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2564.

[10] Sinthunon, C., Peter, F., Wongpun, L., Witsani, A., Sirima, P., Shabbir, H.G. and Trakarn, P. 2021. Health impacts and costs of ofine particulate matter formation from road transport in Bangkok metropolitan Region. Atmospheric Pollution Research. (12); 1-13.

[11] US.EPA. 2021. AERMOD Implementation Guide. สืบค้น 8 สิงหาคม 2564 จาก https://gaftp.epa.gov/Air/aqmg/SCRAM/models/preferred/aermod/aermod_implementation_guide.pdf

09R2-08

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะแบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี

Initial environmental examination: Waste management research and design project for solid waste management system, (Phase 2) Uthai Thani Province

บุญรักษ์ แวนบอเซอร์[1*] และ ดลเดช ตั้งตระการพงษ์[2]
Boonruk Vanborsel[1*] and Dondej Tungtakanpoung[2]
[1*]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย กรุงเทพมหานคร 10330
[2]รองศาสตราจารย์ สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการ ด้านนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมและคมนาคมแห่งอนาคต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[*]โทรศัพท์ : 0855359022, E-mail : boonruk_va@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะแบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี ผลการวิจัยพบว่า เทศบาลเมืองอุทัยธานี สามารถนำผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 4 ด้าน คือ 1. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ 2. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ 3. คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และ 4. คุณค่าคุณภาพชีวิต และมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่อาจเกิดขึ้นในระยะก่อสร้างและระยะดำเนินงานโครงการตามองค์ประกอบ ด้านสิ่งแวดล้อม 8 ปัจจัย คือ 1. สภาพภูมิประเทศและทรัพยากรดิน 2. คุณภาพอากาศ 3. คุณภาพน้ำ 4. การคมนาคม 5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน 6. เศรษฐกิจและสังคม 7. สาธารณสุข อาชีวอนามัย และ ความปลอดภัย และ 8. สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์ ไปใช้เพื่อดำเนินการป้องกันและแก้ไขในขั้นตอนต่อไปได้ รวมทั้งเสนอแนะมาตรการแก้ไขปัญหาสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่จะรับไปเตรียมการในการแก้ไขปัญหา เมื่อมีการดำเนินโครงการนี้ในอนาคต

คำสำคัญ : องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม; นิเวศวิทยาบนบก; ระบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

Abstract

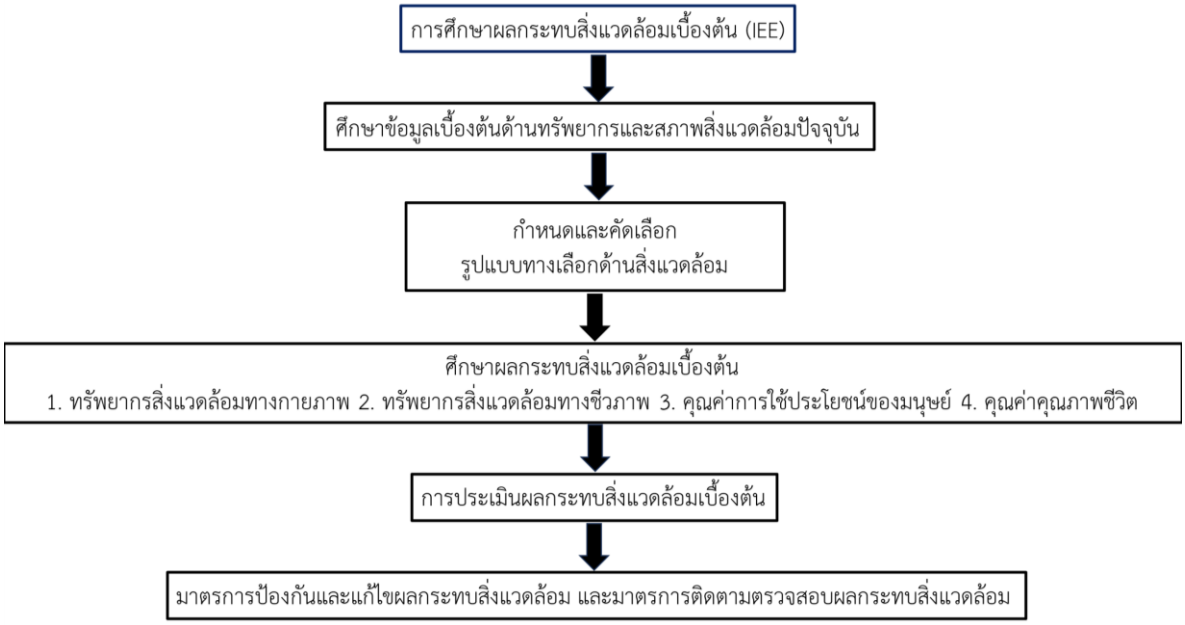
The aim of this research is to study Initial Environmental Examination (IEE): Waste management research and design project for solid waste management system, (Phase 2) Uthai Thani Province. The results found that Uthai Thani Municipality can use initial environmental examination results that consist of four main factors: 1. Physical environmental resources 2. Biological environmental resources 3. Value of human use 4. Quality of life Value, and the measures to prevent and correct environmental impacts, and measures to monitor environmental impacts that may occur during the construction and operation of the project

according to eight environmental factors. These can take preventative and corrective actions, according to research results, and suggesting measures to solve problems for relevant agencies to prepare to solve problems when this project is implemented in the future.

Keywords : environmental factor; terrestrial ecology; sanitary landfill

บทนำ

ด้วยเทศบาลเมืองอุทัยธานี อำเภอเมืองอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี ได้ดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยโดยวิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ในที่ดินของเทศบาลเมืองอุทัยธานี โดยเริ่มดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอย ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2544 ปัจจุบันบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย ระยะที่ 1 แบบศูนย์รวมกำจัดขยะมูลฝอยของจังหวัดอุทัยธานี ซึ่งได้ดำเนินการ มาเป็นระยะเวลากว่า 20 ปี มีปริมาณขยะมูลฝอยเป็นจำนวนมาก จนใกล้จะเต็มพื้นที่ และยังมีขยะมูลฝอยบางส่วนล้นออกมานอกบ่อฝังกลบฯ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อม และเตรียมการรองรับปริมาณขยะมูลฝอยที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เทศบาลเมืองอุทัยธานี จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการศึกษาวิจัยความเหมาะสมระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี เพื่อศึกษาวิจัยความเหมาะสม รูปแบบ วิธีการ แนวทาง การจัดการขยะมูลฝอย ให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ และปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน เพื่อให้จัดการขยะมูลฝอย ระยะที่ 2 มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น [1] อนึ่ง เมื่อต้นปี พ.ศ. 2567 เทศบาลเมืองอุทัยธานี ได้จัดให้มีการทบทวนโครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบกำจัดกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลอุทัยธานี แบบศูนย์รวมกำจัดขยะมูลฝอย ของจังหวัดอุทัยธานี ขึ้นมาอีกครั้ง [2] ซึ่งสอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอย จังหวัดอุทัยธานี (พ.ศ.2566 - 2570) ที่ระบุว่า “สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรน่า 2019 ที่ผ่านมา ทำให้ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สถานที่กำจัดที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล มีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณขยะ มูลฝอยทั้งหมดได้ในอนาคต ซึ่งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล มีเพียง 1 แห่ง และเปิดดำเนินงานมาหลายปี บ่อขยะใกล้เต็ม ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการรองรับปริมาณขยะเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรในอนาคต รวมถึงองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ เครื่องจักร อุปกรณ์ และบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญในการดูแลรักษาระบบกำจัดขยะมูลฝอย [3] วัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะ แบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ จะศึกษาข้อมูลเบื้องต้นด้านทรัพยากร และสภาพสิ่งแวดล้อมปัจจุบัน ที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการ โดยจะเน้นเฉพาะบริเวณพื้นที่โครงการ พร้อมทั้งกำหนดรูปแบบทางเลือกด้านสิ่งแวดล้อมและคัดเลือกรูปแบบทางเลือก จากนั้นจะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลักที่คาดว่าจะเกิดขึ้น พร้อมทั้งนำเสนอมาตรการป้องกันแก้ไขและมาตรการตรวจสอบ เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการดำเนินโครงการอย่างเหมาะสมต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจากการศึกษารายละเอียดโครงการ 4 ด้าน คือ 1) ที่ตั้ง และการใช้ประโยชน์จากที่ดินของโครงการ 2) วัตถุดิบ 3) การขนส่ง และ 4) กระบวนการดำเนินงาน และสภาพแวดล้อมในปัจจุบันบริเวณพื้นที่โครงการ 4 ด้าน คือ 1) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วย สภาพภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยาและสภาพทางธรณีสัณฐาน แหล่งน้ำ อากาศ และเสียง 2) ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย ทรัพยากรนิเวศวิทยาทางบก และ ทรัพยากรนิเวศวิทยาทางน้ำ 3) คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วย การใช้น้ำ การคมนาคม การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน และ 4) คุณค่าต่อคุณภาพชีวิต ซึ่งประกอบด้วย สภาพเศรษฐกิจและสังคม การสาธารณสุข และการศึกษา ผู้วิจัยได้สรุปผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของโครงการ ในระยะก่อสร้าง และระยะดำเนินการ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นของโครงการ

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม	ระยะก่อสร้าง				ระยะดำเนินการโครงการ			
	ไม่เกิดผลกระทบ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ไม่เกิดผลกระทบ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ								
1.1 ลักษณะภูมิประเทศ		✓				✓		
1.2 ทรัพยากรดิน		✓				✓		
1.3 คุณภาพน้ำผิวดิน		✓				✓		
1.4 คุณภาพอากาศ		✓				✓		
2. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ								
2.1 นิเวศวิทยาทางน้ำ	✓				✓			
2.2 นิเวศวิทยาบนบก		✓				✓		
3. คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์								
3.1 การใช้น้ำ		✓			✓			
3.2 การคมนาคม		✓			✓			
3.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	✓				✓			
4. คุณค่าคุณภาพชีวิต								
4.1 สภาพสังคมและเศรษฐกิจ	✓				✓			
4.2 สาธารณะสุข อาชีวอนามัย และความปลอดภัย	✓				✓			
4.3 สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์	✓				✓			

จาก ตารางที่ 1 พบว่า

1) องค์ประกอบสิ่งแวดล้อม ด้าน 1.1 ลักษณะภูมิประเทศ 1.2 ทรัพยากรดิน 1.3 คุณภาพน้ำผิวดิน 1.4 คุณภาพอากาศ และ 2.2 นิเวศวิทยาบนบก เกิดผลกระทบ ทั้งช่วงระยะก่อสร้าง และระยะดำเนินการโครงการ อยู่ในระดับต่ำ

2) องค์ประกอบสิ่งแวดล้อม ด้าน 2.1 นิเวศวิทยาทางน้ำ 3.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน 4.1 สภาพสังคมและเศรษฐกิจ 4.2 สาธารณะสุข อาชีวอนามัย และความปลอดภัย และ 4.3 สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์ ไม่เกิดผลกระทบ ทั้งช่วงระยะก่อสร้าง และระยะดำเนินการโครงการ

3) องค์ประกอบสิ่งแวดล้อม ด้าน 3.1 การใช้น้ำ และ 3.2 การคมนาคม เกิดผลกระทบ ช่วงระยะก่อสร้าง อยู่ในระดับต่ำ และ ไม่เกิดผลกระทบ ช่วงดำเนินการโครงการ

สำหรับมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างและการดำเนินงานของโครงการ ตามองค์ประกอบ ด้านสิ่งแวดล้อม 8 ปัจจัย คือ 1. สภาพภูมิประเทศ และทรัพยากรดิน 2. คุณภาพอากาศ 3. คุณภาพน้ำ 4. การคมนาคม 5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน 6. เศรษฐกิจและสังคม 7. สาธารณสุข อาชีวอนามัย และ ความปลอดภัย และ 8. สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์ [1] ผู้วิจัยได้นำมาแสดงเป็นตัวอย่าง ดัง ตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 มาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ช่วงระยะการก่อสร้าง)

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม	มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม	พารามิเตอร์	จุดตรวจวัด	สถานที่ดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	ผู้รับผิดชอบ
5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน	-ออกแบบและดำเนินการอย่างรัดกุม			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาก่อสร้าง	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
6. เศรษฐกิจและสังคม	-พิจารณารับคนท้องถิ่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามความต้องการเข้ามาทำงานเป็นอันดับแรก -ติดตั้งป้ายประกาศและรายละเอียดโครงการเพื่อสร้างความเข้าใจกับชุมชน เช่น ชื่อโครงการ ผู้ออกแบบก่อสร้าง ผู้รับเหมา และระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง รวมถึงข้อความแสดง คำขออภัยที่อาจไม่ได้รับความสะดวกเนื่องจากการก่อสร้าง -จัดให้มีผู้ประสานงานประจำพื้นที่ก่อสร้างอย่างน้อย 1 คน เพื่อรับเรื่องร้องเรียนต่าง ๆ -ควรมีการจัดการและออกแบบที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ทัศนียภาพบริเวณรอบพื้นที่โครงการเกิดความไม่น่าดูหรือเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น อาคารที่ทำการ บ้านพักคนงาน และการวางกองวัสดุต่างๆ -กำหนดขั้นตอนการรับข้อร้องเรียน โดยมีช่องทางขั้นตอนดำเนินงาน ผู้รับผิดชอบ และระยะเวลาในการดำเนินงาน ในกรณีที่แก้ไขข้อร้องเรียนไม่แล้วเสร็จ ให้ดำเนินการแจ้งความก้าวหน้าผู้ที่ได้รับผลกระทบทุก 7 วัน สรุปเรื่องร้องทุกข์หรือเรื่อร้องเรียนจากการก่อสร้างโครงการพร้อมผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาไว้ทุกครั้ง			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาก่อสร้าง	เทศบาลเมืองอุทัยธานี

ตารางที่ 3 มาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ช่วงระยะดำเนินการ)

องค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อม	มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม	พารามิเตอร์	จุดตรวจวัด	สถานที่ดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	ผู้รับผิดชอบ
1. สภาพภูมิประเทศและทรัพยากรดิน	-แบ่งการดำเนินการฝังกลบขยะมูลฝอยออกเป็นช่วงๆ โดยกำหนดให้สามารถดำเนินการไปทีละส่วน			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
	-ปรับความลาดชันของชั้นดินที่ปิดทับขยะมูลฝอยชั้นบนสุด และบริเวณโดยรอบกองขยะมูลฝอยให้อยู่ในสภาพมั่นคง ปลอดภัยจากการทรุดตัวพังทลาย			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
	-สร้างคันดินที่บดอัดแน่นหรือถนนภายในโดยรอบโครงการ เพื่อเป็นแนวการป้องการการชะล้างพังทลายของดินออกสู่ภายนอก			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน	-ทยอยถมปรับสภาพพื้นที่ที่ใช้ฝังกลบขยะมูลฝอยจนเต็มแล้วให้อยู่ในสภาพมั่นคงแข็งแรง			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
	-ปลูกไม้ยืนต้นโตเร็วเสริมในบริเวณที่ฝังกลบขยะมูลฝอยจนเต็มแล้วและจะไม่กลับไปใช้อีกเพื่อป้องกันดินพังทลาย และเสริมทัศนียภาพ			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
	-ภายหลังเสร็จสิ้นโครงการฯ ควรปรับสภาพภูมิทัศน์ในบริเวณโครงการฯ ให้เป็นสวนสาธารณะ			ภายในพื้นที่โครงการ	ตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี
8. สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์	-ปลูกต้นไม้ยืนต้นโตเร็วตามแนวแนวคันดิน/จัดสวนบริเวณโครงการเพื่อเสริมทัศนียภาพ			ภายในพื้นที่โครงการ	ตามความจำเป็นและเหมาะสมตลอดระยะเวลาดำเนินการ	เทศบาลเมืองอุทัยธานี

สรุป

จากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะแบบศูนย์รวมกำจัดขยะระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี ในครั้งนี้ เทศบาลเมืองอุทัยธานี สามารถนำผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 4 ด้าน คือ 1. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ 2. ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ 3. คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ 4. คุณค่าคุณภาพชีวิต และมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และมาตรการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างและการดำเนินงานของโครงการ ตามองค์ประกอบ ด้านสิ่งแวดล้อม 8 ปัจจัย คือ 1. ลักษณะภูมิประเทศและทรัพยากรดิน 2. คุณภาพอากาศ 3. การใช้น้ำ 4. การคมนาคม 5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน 6. เศรษฐกิจและสังคม 7. สาธารณสุข อาชีวอนามัย และ ความปลอดภัย และ 8. สุนทรียภาพ และประวัติศาสตร์ ไปใช้เพื่อดำเนินการป้องกันและแก้ไขในขั้นตอนต่อไปได้ รวมทั้งเสนอแนะมาตรการแก้ไขปัญหา เช่น ผลกระทบด้านการจราจร เนื่องจากการก่อสร้าง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน กลิ่นรบกวนจากขยะมูลฝอย และผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรในท้องถิ่น เป็นต้น สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่จะรับไปเตรียมการในการแก้ไขปัญหา เมื่อมีการดำเนินโครงการนี้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2562). รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบการจัดการขยะ แบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี.

[2] มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2567). รายงานโครงการเพิ่มประสิทธิภาพระบบกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองอุทัยธานี แบบศูนย์รวมกำจัดขยะมูลฝอย ของจังหวัดอุทัยธานี ภายใต้ “โครงการทบทวน รายงานโครงการศึกษาความวิจัยและออกแบบการจัดการขยะแบบศูนย์รวมกำจัดขยะ ระยะที่ 2 ของจังหวัดอุทัยธานี และโครงการจ้างออกแบบก่อสร้างระบบกำจัดขยะ มูลฝอย ระยะที่ 2 แบบศูนย์รวมกำจัดขยะมูลฝอย ของจังหวัดอุทัยธานี”.

[3] สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดอุทัยธานี. 2565. แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอย จังหวัดอุทัยธานี (พ.ศ.2566 - 2570). https://www.mnre.go.th/attachment/iu/download.php?WP=qUIcnKtlpQEgZaqCGWOghJstqTgcWat0 pQMgZap4GQAgG2rDqYyc4Uux. สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2567.

กองประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (กปผ.)
Environmental Impact Assessment Division
สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning

แนวทางการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น

๑. สาระสำคัญ

๑.๑ บทนำ : กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของโครงการ เหตุผลความจำเป็นในการดำเนินการโครงการ วัตถุประสงค์การจัดทำรายงานฯ ขอบเขตการศึกษาและวิธีการศึกษา

๑.๒ ที่ตั้งโครงการ : โดยมีภาพและแผนที่ตั้งโครงการ รวมทั้งแผนที่แสดงองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากโครงการในมาตราส่วนที่เหมาะสม

๑.๓ ทางเลือกที่ตั้งโครงการ และวิธีดำเนินการโครงการ : พร้อมเหตุผลและข้อพิจารณาในการตัดสินใจเลือกแนวทางที่เสนอ

๑.๔ รายละเอียดโครงการ : ให้มีรายละเอียดที่สามารถแสดงภาพรวมที่ชัดเจน ได้แก่ ประเภท ขนาดที่ตั้ง ทางเลือกที่ตั้งโครงการและวิธีการดำเนินการโครงการ พร้อมเหตุผลและข้อพิจารณาในการตัดสินใจเลือกแนวทางที่เสนอ รายละเอียดกระบวนการ หรือกิจกรรมประกอบของโครงการ แผนผังการใช้ที่ดินของโครงการ โดยแสดงทิศและมาตราส่วนที่เหมาะสม

๑.๕ สภาพแวดล้อมในปัจจุบัน : ให้แสดงรายละเอียดพร้อมภาพถ่าย ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้านกายภาพ ชีวภาพ โดยจำแนกเป็นชนิดที่ฟื้นฟูได้และฟื้นฟูไม่ได้ รายละเอียดคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และคุณค่าคุณภาพชีวิต ตลอดจนสภาพปัญหาปัจจุบันบริเวณพื้นที่โครงการ พร้อมแสดงแผนที่ สภาพแวดล้อมบริเวณโครงการ การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบโครงการ ตลอดจนบริเวณที่อาจได้รับ ผลกระทบจากการดำเนินโครงการทั้งในระยะสั้น ระยะยาว

๑.๖ ผลกระทบหลักที่อาจเกิดขึ้นจากโครงการ : ให้ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โดยให้ความสำคัญในการประเมินผลกระทบที่มีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากโครงการที่เป็นผลกระทบโดยตรง และผลกระทบทางอ้อมต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและคุณค่าต่างๆตาม ๑.๕

๑.๗ มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการชดเชย : อธิบายรายละเอียดในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตาม ๑.๖ และในกรณีที่ความเสียหายไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ให้เสนอแผนการชดเชยความเสียหายดังกล่าวด้วย

๑.๘ มาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม : เสนอมาตรการและแผนการดำเนินการในการติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมทางวิชาการและการปฏิบัติ ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของการติดตามและประเมินผลภายหลังการดำเนินโครงการด้วย

๑.๙ ตารางสรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญพร้อมด้วยมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบดังกล่าว ทั้งนี้ จะต้องดำเนินการตามแนวทางการมีส่วนร่วมของประชาชนและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางสังคมในรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น

๒ . เอกสารหลักฐานที่ต้องนำเสนอ

๒.๑ รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น จำนวนไม่น้อยกว่า ๑๕ ฉบับ

๒.๒ ปกหน้าและปกในของรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ตามแบบ สผ. ๗

๒.๓ หนังสือรับรองการจัดทำรายงาน และบัญชีรายชื่อผู้จัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ตามแบบ สผ. ๘

๒.๔ บัญชีรายชื่อผู้จัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นตามแบบ สผ.๙

๒.๕ สำเนาใบอนุญาตเป็นผู้มีสิทธิจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

รูปที่ 2 แนวทางการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
ที่มา: กองประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

09R2-09

การทำปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าโดยใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่

The Composting From Old Oil Palm Trunk Using Large-Scale Composting Machines

กัลยา กลิ้งกลม[1] และ เทพทัย อุดมจรรยา[1]
Kanlaya Klingklom[1] and Thepthai Udomchanya[1]
บริษัท แอสโซซิเอชั่น ออฟ ทรี จำกัด กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์: 0 2867 3270, โทรสาร: 0 2452 6038, E-mail: sale@a3-environmental.com

บทคัดย่อ

การทำปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าโดยใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ ประกอบด้วย เครื่องสับย่อย เครื่องพลิกกลับกองปุ๋ย เครื่องร่อนปุ๋ยแบบเคลื่อนที่ได้ และเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย และใช้มูลไก่ไข่เป็นวัสดุหมักร่วม เป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักพืช คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร ลดปัญหาจากการทิ้งซากต้นปาล์มไว้ในแปลงเกษตร เป็นแนวทางนำร่องในการกำจัดซากต้นปาล์มอย่างยั่งยืน สร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ: ต้นปาล์มน้ำมันเก่า, ปุ๋ยหมัก, เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่, เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

The composting from old oil palm trunks using large-scale composting machines consisting of a single shaft shredder, windrow turner, mobile trommel screen, pellet machine, and chicken manure as a co-composting material for 90 days. It was found that the amount of primary macronutrients and chemical and physical properties all conform to organic fertilizer standards of the Department of Agriculture. Reduce problems from leaving palm trunk remains in agricultural fields. It is a pilot method for the sustainable disposal of palm trunk remains. Create a circular economy.

Keywords: Old oil palm trunks, Compost, Large-scale composting machines, Circular economy

บทนำ

ปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น 6,408,140 ไร่ [1] โดยปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากกว่า 25 ปี จะมีความสูง 13 เมตรขึ้นไป เส้นผ่านศูนย์กลาง 45-65 เซนติเมตร [2] ทำให้ยากในการเก็บเกี่ยว ได้ผลผลิตต่ำ ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จำเป็นต้องโค่นทิ้งเพื่อปลูกใหม่ทดแทน และมีซากต้นปาล์มเกิดขึ้น จำนวนมาก ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่เกษตรกร และเป็นปัญหาในการจัดการแปลง การโค่นต้นปาล์มน้ำมันจะใช้รถขุดตีนตะขาบติดใบมีดล้มแล้วสับต้น กองให้ย่อยสลายผุพังเองตามธรรมชาติ ต้องใช้ระยะเวลานาน เป็นแหล่งเกิดเชื้อโรคพืชและที่วางไข่ของด้วงแรดที่เป็นแมลงศัตรูพืช

แนวทางหนึ่งในใช้ประโยชน์จากต้นปาล์มน้ำมันเก่าโค่นทิ้งไปทำปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มมูลค่า แต่ต้นปาล์มน้ำมันมีขนาดใหญ่ และประกอบด้วย เซลลูโลส 31.7 % เฮมิเซลลูโลส 36.3 % ลิกนิน 20.0 % และสารแทรก 5.0 % [3] ทำให้ย่อยสลายได้ยาก จึงต้องใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ โดยนำต้นปาล์มมาสับย่อยให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องสับย่อย จากนั้นผสมคลุกเคล้าและตั้งกองหมักปุ๋ยแบบแคบตามยาว พลิกกลับกองระบายอากาศด้วยเครื่องพลิกกลับกองปุ๋ย พร้อมปรับความชื้น เมื่อกระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์ นำไปร่อนแยกด้วยเครื่องร่อนปุ๋ยอีกครั้ง เพื่อคัดแยกปุ๋ยหมักผงละเอียดนำไปอัดเม็ดต่อไป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากต้นปาล์มน้ำมันเก่าโค่นทิ้ง นำไปทำปุ๋ยหมักโดยใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ ลดปัญหาการจัดการแปลง โรคพืชและแมลงศัตรูพืชจากการทิ้งซากต้นปาล์มไว้ในแปลง และเป็นแนวทางนำร่องแก่เกษตรกรในการกำจัดซากต้นปาล์มอย่างยั่งยืน สร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย

1.1 วัสดุหมักหลักใช้ต้นปาล์มน้ำมันเก่าโค่นจากสวนปาล์มน้ำมันในเขตอำเภอบ่อทอง

1.2 วัสดุหมักร่วมใช้มูลไก่ไข่จาก บริษัท ฟาร์มไก่พันธุ์ 111 จำกัด

ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของต้นปาล์มน้ำมันเก่าและมูลไก่ไข่

ลำดับ	รายการวิเคราะห์	ต้นปาล์มน้ำมันเก่า	มูลไก่ไข่
1	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	78.78	64.27
2	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (%)	49.95	37.28
3	ความชื้นโดยน้ำหนัก (%)	71.00	57.00
4	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.39	4.46
5	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	128.08	8.36

2. เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่

เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ ประกอบด้วย

2.1 เครื่องสับย่อย (Single Shaft Shredder) ขนาด 320 kW

2.2 เครื่องพลิกกลับกองปุ๋ย (Windrow Turner) ขนาด 92 kW

2.3 เครื่องร่อนปุ๋ยแบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile Trommel Screen) ขนาด 67 kW

2.4 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ย (Pellet Machine) ขนาด 1.5+0.55+55 kW

3.ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก

3.1 นำต้นปาล์มก่ามาสับย่อยด้วยเครื่องสับย่อย ให้มีขนาดใหญ่ขนาดเล็กกว่า 100 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ทำให้ย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น

3.2 นำต้นปาล์มสับมาผสมคลุกเคล้ากับมูลไก่ไข่ ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้มูลไก่ไข่ยกระดับปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้น หรือทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกองปุ๋ยลดต่ำลง กระบวนการย่อยสลายเกิดได้รวดเร็วขึ้น [4] โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักร่วมเริ่มต้นประมาณ 37

3.3 นำวัสดุหมักร่วม (Co-Composting) ตั้งกองปุ๋ยแบบแคบกองตามยาว (Windrow) ขนาดฐานกองปุ๋ยกว้าง 3.0 เมตร สูง 1.5 เมตร ความยาว 50 เมตร ปริมาตร 112.5 ลูกบาศก์เมตรต่อกอง หรือน้ำหนักประมาณ 33 ตันต่อกอง จำนวน 6 กอง

3.4 ทำการพลิกกลับกองด้วยเครื่องพลิกกลับกองปุ๋ยอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง เพื่อช่วยหมุนตีวัสดุ ให้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่งถึงทั้งกอง พร้อมตีย่อยวัสดุให้มีขนาดเล็กลง เพิ่มพื้นที่สัมผัส ตลอดจนผสมคลุกเคล้าวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนั้นการจัดเรียงตัวของใบตีจะช่วยนำพาวัสดุหมักจากผิวนอกเข้าไปอยู่ภายในกองปุ๋ย เกิดการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศทั่วถึงทั้งกอง พร้อมทั้งตั้งกองปุ๋ยให้มีลักษณะเดิมง่ายต่อการจัดการ

3.5 วัดและปรับความชื้นกองปุ๋ยให้อยู่ในช่วง 60-70 % และวัดอุณหภูมิในกองปุ๋ยทุกวัน

3.6 เมื่อครบอายุการหมัก 90 วัน นำปุ๋ยไปร่อนแยกด้วยเครื่องร่อนปุ๋ยแบบเคลื่อนที่ได้ ขนาดรูตะแกรง 6 มิลลิเมตร ก่อนนำปุ๋ยหมักขนาดเล็กไปใช้ประโยชน์ ส่วนกากปุ๋ยขนาดใหญ่นำไปผสมหมักซ้ำอีกครั้ง เพื่อใช้เป็นแหล่งจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายต่อไป

3.7 นำปุ๋ยหมักผงละเอียดบางส่วนไปอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับเกษตรกร

4. การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก

สุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักอย่างน้อย 1 กิโลกรัม ส่งวิเคราะห์คุณภาพโดยวิธี AOAC official methods of analysis [5] ให้เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร [6]

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาณธาตุอาหารพืช

ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าชนิดผงและชนิดอัดเม็ด พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.63-2.12 % ฟอสเฟตทั้งหมด เท่ากับ 1.84-2.11 % โพแทชทั้งหมด เท่ากับ 1.57-1.88 % และปริมาณธาตุอาหารรวมกัน เท่ากับ 5.04-6.11 % โดยค่าวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 2) โดยมูลไก่ไข่ช่วยยกระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้สูงขึ้น อาจเนื่องจากมูลสัตว์เลี้ยง

ประเภทสัตว์ปีกมีความเข้มข้นสูง ส่วนลำต้นปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูง แต่ปุ๋ยหมักชนิดอัดเม็ดมีค่าสูงกว่าชนิดผง อาจเนื่องมาจากในระหว่างอัดเม็ดมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้มีค่าความชื้นลดลง

2. คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าชนิดผงและชนิดอัดเม็ด พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.05-7.94 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 5.08-5.46 dS/m ปริมาณโซเดียม เท่ากับ 0.69-0.78 % ปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 20.76-26.39 % อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 7.38-7.12 ความชื้นโดยน้ำหนัก เท่ากับ 11.75-19.49 % การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ เท่ากับ 109.68-117.36 โดยค่าวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 2)

3. คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าชนิดผงและชนิดอัดเม็ด พบว่า ขนาดเม็ดปุ๋ยไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร ไม่พบหินและกรวดขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร และไม่พบพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ โดยค่าวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณภาพปุ๋ยหมักจากต้นปาล์มน้ำมันเก่าเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร

ลำดับ	รายการวิเคราะห์	ชนิดผง	ชนิดอัดเม็ด	เกณฑ์มาตรฐาน
8	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.63	2.12	ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก
9	ฟอสเฟตทั้งหมด (%)	1.84	2.11	ฟอสเฟตทั้งหมด (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
10	โพแทชทั้งหมด (%)	1.57	1.88	โพแทชทั้งหมด (total K_2O) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
	ปริมาณธาตุอาหารรวม	(5.04)	(6.11)	ปริมาณธาตุอาหารรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 2
11	ขนาดเม็ดปุ๋ยไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร (%)	100	100	100
12	หินและกรวด ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร (%)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่เกินร้อยละ 2
13	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ (%)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

สรุปผล

ต้นปาล์มน้ำมันเก่าโค่นทิ้งมีศักยภาพนำไปทำปุ๋ยหมัก โดยใช้เครื่องจักรทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ ทำการหมักปุ๋ย 90 วัน ช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนการทำปุ๋ยหมัก คุณภาพปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารหลักพืช คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร ลดปัญหาจากการทิ้งซากต้นปาล์มไว้ในแปลงเกษตร เป็นแนวทางนำร่องในการกำจัดซากต้นปาล์มน้ำมันเก่าอย่างยั่งยืน สร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2565. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

[2] Sulaiman, O., N. Salim, N.A. Nordin, R. Hashim, M. Ibrahim and M. Sato. 2012. The potential of oil palm trunk biomass as an alternative source for compressed wood. BioResources 7(2): 2688-2706.

[3] นันทรัตน์ พฤกษาพิทักษ์, มณฑาทิพย์ กลับส่ง และ เนตรนภา แซ่หลี. 2557. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสจากวัสดุเศษเหลือจากต้นปาล์มน้ำมัน, น. 161-167. ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.

[4] Gaur, A.C. 1980. Fundamentals of composting, pp. 7-14. *In* Compost Technology, FAO/UNDP regional project. Project field document no. 13.

[5] AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th edition. Gaithersburg, Md: AOAC International.

[6] กรมวิชาการเกษตร. 2555. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

09R3-01

การกำจัดไตรโคลคาร์บานในน้ำด้วยกระบวนการ VUV
Removal of Triclocarban in Water by Vacuum Ultraviolet Process

ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี[1*] และ พัชรธิดา ภาพพา[2]
Thunyalux Ratpukdi[1*] and Patcharatida Phappha[2]
[1*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[2]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์ : 0623740605, E-mail : Patcharatida_p@kkumail.com

บทคัดย่อ

ไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban, TCC) เป็นสารเคมีจำพวกยาและผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ (Pharmaceutical and personal care product, PPCP) ที่ใช้ในการต้านจุลชีพ [1] TCC เข้าสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางน้ำเสียจากชุมชน จากงานวิจัยในอดีตมีการตรวจพบ TCC ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และในตะกอน ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดออกจากน้ำดื่มและน้ำเสียก่อนปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการย่อยสลายของไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban, TCC) โดยใช้น้ำสังเคราะห์ที่เข้มข้น 2 mg/L ด้วยกระบวนการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด VUV (Vacuum UV, VUV) ที่กำลัง 10 วัตต์ ในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 2 L โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของระบบ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (VUV และ UV), การเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) และ พีเอช (pH) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการ VUV สามารถการกำจัด TCC ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า 80% และประสิทธิภาพของ VUV เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมอากาศร่วมด้วย โดยมีค่าคงที่ปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (k) อยู่ที่ 0.0341 สำหรับในสภาวะ pH ที่ 5 7 และ 9 ให้ผลในการกำจัด TCC ใกล้เคียงเคียงกัน ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสาร TCC ต่างกันเล็กน้อย โดยมีค่าคงที่ปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (k) เท่ากับ 0.0193, 0.0201 และ 0.0212 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบ VUV มีประสิทธิภาพในการกำจัด TCC ที่สูงกว่า UV และประสิทธิภาพของ VUV เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของ pH ก็ยังมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด TCC อีกด้วย

คำสำคัญ : ไตรโคลคาร์บาน; สารเคมีจำพวกยาและผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ; กระบวนการย่อยสลาย; รังสีอัลตราไวโอเลต; กระบวนการบำบัดน้ำเสีย; การกำจัดมลพิษ

Abstract

Triclocarban (TCC) is a chemical compound commonly found in pharmaceutical and personal care products (PPCPs) used as antimicrobial agents. TCC enters the environment through wastewater discharge from communities. Previous research has detected TCC in treated wastewater effluents and sludge, indicating the necessity of its removal from drinking water and wastewater before being released into the environment. In this study, the degradation of TCC was investigated using synthetic water with a concentration of 2 mg/L, employing Vacuum Ultraviolet (VUV) irradiation at a power of 10 watts in a 2 L batch reactor. Various factors affecting the system's performance were considered, including light sources (VUV and UV), gas supplementation (air and nitrogen), and pH. The results demonstrated that the VUV process efficiently removed TCC from water, achieving over 80% degradation, with enhanced performance when air was introduced. The first-order rate constant (k) was found to be 0.0341 min^{-1} under air supplementation conditions. Additionally, at pH values of 5, 7, and 9, similar removal efficiencies of TCC were observed, albeit

with slightly different degradation rates. The first-order rate constants (k) were measured to be 0.0193, 0.0201, and 0.0212 min^{-1} respectively. Overall, the study highlights the superior efficiency of the VUV system in TCC removal compared to UV, with further enhancement observed with air supplementation. Moreover, variations in pH were found to impact the degradation efficiency of TCC.

Keywords: Triclocarban (TCC); pharmaceutical and personal care products (PPCPs); degradation; Vacuum Ultraviolet (VUV); wastewater treatment; water quality; antimicrobial agents; environmental pollution.

บทนำ

ไตรโคลคาร์บาน (Triclocarban, TCC) เป็นสารเคมีจำพวกยาและผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ (Pharmaceutical and personal care product, PPCP) ที่ใช้ในการต้านจุลชีพ [1] TCC เข้าสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางน้ำเสียจากชุมชน จากงานวิจัยในอดีตมีการตรวจพบ TCC ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และในตะกอน จากการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย ในกรุงเทพมหานคร พบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมี TCC ความเข้มข้นเฉลี่ย 551 และ 95.6 ng/L ตามลำดับ [2] ซึ่งสาร TCC นี้อาจเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา หรือน้ำดื่มได้ เนื่องด้วยในปัจจุบัน ระบบผลิตน้ำด้วยกระบวนการดั้งเดิม ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการกำจัดสาร PPCPs ดังนั้นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced oxidation processes, AOPs) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญเพื่อกำจัดสารมลพิษในน้ำ โดยการ ฉายรังสี UV จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตน้ำรวมถึงการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แหล่งกำเนิดแสงที่ความยาวคลื่น 185 nm (Vacuum UV, VUV) ได้รับความสนใจทดแทนแหล่งกำเนิดแสง UV 254 นาโนเมตร แบบดั้งเดิม การฉายรังสี VUV สามารถสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล ($^{\bullet}OH$) ได้ดังสมการ (1)

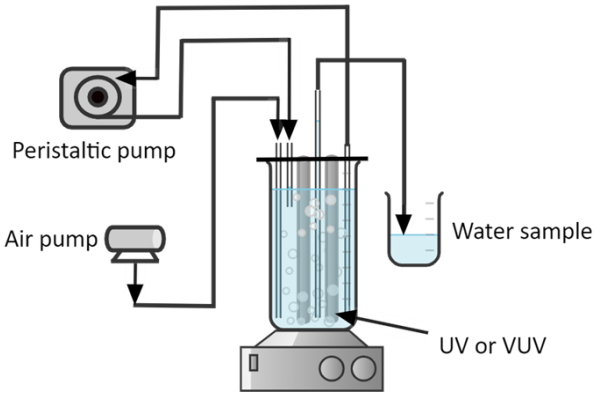
$$H_2O + hv(185\ nm) \longrightarrow e_{aq}^{-} + H^{+} + {}^{\bullet}OH \qquad (1)$$

โดย $^{\bullet}OH$ ที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการทำปฏิกิริยา โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารออกซิแดนท์หรือตัวเร่งปฏิกิริยา [3] นอกจากนั้น Yu et al. [4] ได้ประเมินการบำบัดสาร TCC ในน้ำทิ้งที่บำบัดผ่านกระบวนการ AOPs โดยการฉายรังสี UV พบว่าสามารถกำจัด TCC ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วได้ใน ระดับปานกลางแต่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับ $^{\bullet}OH$ ได้ดี ดังนั้นการใช้กระบวนการบำบัดน้ำด้วย VUV ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิเดชันที่สูงกว่า UV-AOPs จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการกำจัด TCC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสาร TCC ในน้ำ ด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่ใช้รังสีวียูวี (VUV AOP based) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของระบบ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (VUV และ UV), การเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) และ พีเอช (pH)

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยจะพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมการติดตั้งถังปฏิกรณ์ VUV/UV ปริมาตรน้ำ 2 ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 cm. สูง 50 cm. โดยใช้หลอด VUV (Model) หรือ UV (Model) 1 หลอดดังแสดงในรูปที่ 1 และใช้น้ำสังเคราะห์ TCC ความเข้มข้น 2 mg/L สำหรับปัจจัยศึกษาที่ส่งผลต่อการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการ VUV ได้แก่ พีเอช (5 7 และ 9) และการเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) ที่ 3 L/min สำหรับการวิเคราะห์ TCC ใช้เครื่องเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง High performance liquid chromatography (HPLC) (LC-20A, Shimadzu, Japan) โดยใช้คอลัมน์ C18 มี Mobile phase เป็น Acetonitrile และน้ำ DI ในอัตราส่วน 75:25 โดยปริมาตร อัตราการไหล 1 mL/min ระยะเวลาการฉีดแต่ละครั้ง (run time) เท่ากับ 15 นาที มี Detector เป็นแบบ UV ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร และ TCC จะถูกตรวจพบใน 12.0 ± 1.0 นาที



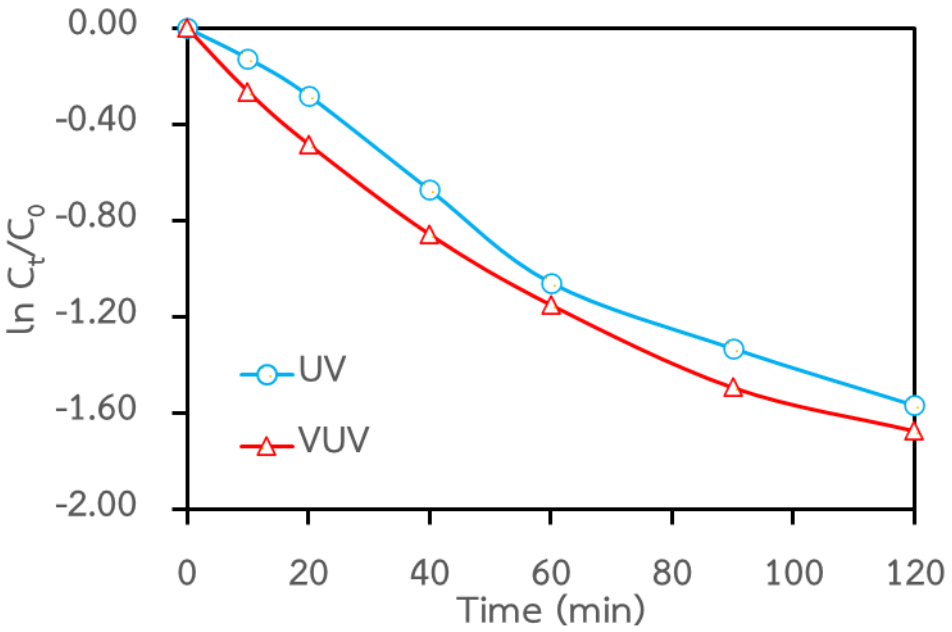
รูปที่ 1 การติดตั้งถังปฏิกรณ์

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและค่าทางจลพลศาสตร์ของการสลายสารไตรโคลคาร์บาน (TCC) โดยใช้น้ำสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 mg/L โดยกระบวนการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดสุญญากาศ (VUV) กำลัง 10 วัตต์ ในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 2 L ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

เปรียบเทียบการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการฉายรังสี VUV และ UV

ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับการย่อยสลาย TCC เข้มข้น 2 mg/L โดยการฉายรังสี VUV และ UV ที่ pH 7.0 หลังช่วงทำปฏิกิริยาผ่านไป 2 hr. พบว่า ระบบ VUV และ UV มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาร TCC ที่ได้ถึง 81.21% และ 80.12% ตามลำดับ เนื่องจากระบบ VUV ประกอบไปด้วย รังสีที่มีความยาวคลื่น VUV185 และ UV254 ต่างจากระบบ UV ที่มีเพียงความยาวคลื่นเดียว คือ UV254 ซึ่งรังสี VUV185 ส่งผลให้เกิด $^{\bullet}OH$ ผ่านโฟโตไลซิสของน้ำ ในขณะที่รังสี UV ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะไม่เกิด $^{\bullet}OH$ จากผลการศึกษาการกำจัด TCC เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งซึ่งอาจซึ่งมีค่าความเข้มข้นของ TCC สูงเกินกว่าที่พบในธรรมชาติ จึงอาจเกิดข้อสงสัยถึงการกำจัด TCC ในสภาวะจริงที่ความเข้มข้นต่ำกว่าที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Li et al. [5] ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารในกลุ่ม Trace organic contaminants (TrOCs) ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 mg/L ด้วยกระบวนการ UV/VUV พบว่าในกระบวนการย่อยสลาย TrOCs เป็นปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ดังนั้นจึงอาจคาดได้ว่า การย่อยสลาย TCC ซึ่งจัดเป็นสารในกลุ่ม TrOCs ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.1 mg/L ด้วยกระบวนการ VUV นั้นยังคงเป็นปฏิกิริยาลำดับที่ 1



รูปที่ 2 การกำจัด TCC ในน้ำด้วยกระบวนการ VUV และ UV

การศึกษาผลกระทบผลของของการเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) ต่อการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการฉายรังสี VUV

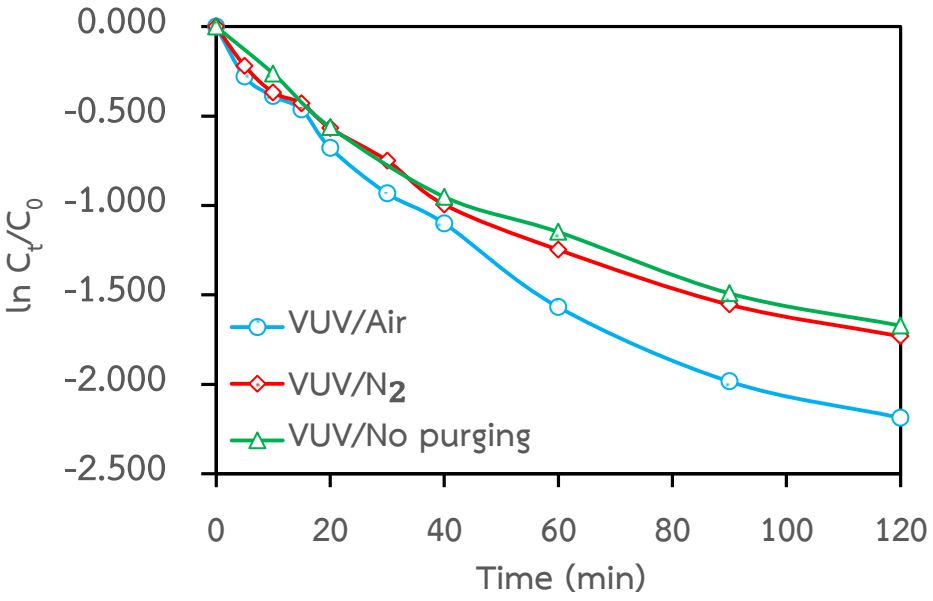
จากรูปที่ 3 ผลของการเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) ที่อัตราการไหล 3 L/min ต่อการกำจัด TCC ในน้ำด้วยกระบวนการ VUV พบว่า ในสภาวะที่มีการเติมอากาศและไนโตรเจนนั้น ส่งผลให้อัตราการย่อยสลาย TCC เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าคงที่ปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (k) อยู่ที่ 0.0341 และ 0.0255 min^{-1} ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด TCC ของกระบวนการ VUV ที่มีการเติมอากาศนั้นเพิ่มสูงขึ้นถึง 92.53% ซึ่งอาจเกิดจากการเติมอากาศนั้นส่งผลให้เกิดการสร้าง O_3 ดังสมการ (2) และ (3) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ TCC ได้โดยตรง และ O_3 อาจถูกเปลี่ยนเป็น H_2O_2 และกลายเป็น $^{\cdot}OH$ ได้อีกด้วย [3]

$$O_2 + hv(VUV) \longrightarrow 2\,{}^{\cdot}O \quad (2)$$

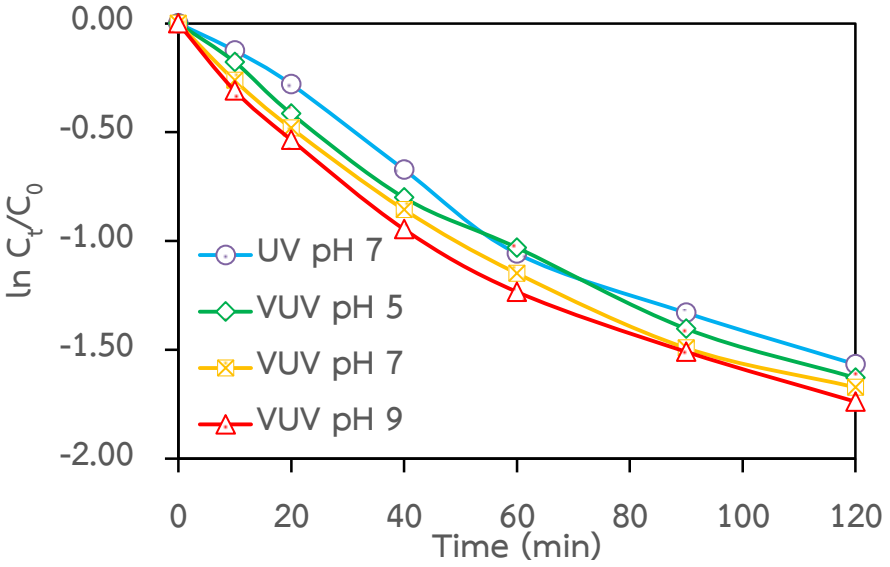
$${}^{\cdot}O + O_2 \longrightarrow O_3 \quad (3)$$

การศึกษาผลกระทบของ pH ต่อการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการฉายรังสี VUV

pH คือ ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการย่อยสลายของสารมลพิษในน้ำ โดยการกำหนดค่า pH ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสูงสุดของ โดยดำเนินการทดลองในช่วงค่า pH 5.0, 7.0 และ 9.0 ความเข้มของสาร TCC ในสารละลายมีค่าเท่ากับ 2 mg/L จะเห็นได้ว่าในภาวะที่ pH แตกต่างกัน ที่ pH 5 7 และ 9 ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสาร TCC ต่างกันเล็กน้อย โดยมีค่าคงที่ปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (k) เท่ากับ 0.0193, 0.0201 และ 0.0212 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจาก TCC มีค่า pKa = 12.77 ซึ่งถ้าหากอยู่ในสารละลายที่เป็นกรด จะส่งผลให้ ความไวต่อการกระตุ้นของกลุ่มอะมิโนใน TCC ลดลง เนื่องจาก TCC อยู่ในรูปไม่แตกตัว (protonation) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อัตราการย่อยของ TCC จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น [6] ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ผลของของการเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน)



รูปที่ 4 ผลของ pH (5, 7 และ 9) ต่อการกำจัด TCC ด้วยกระบวนการฉายรังสี VUV

สรุป

จากการศึกษา การกำจัด TCC ในน้ำด้วยกระบวนการ VUV โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของระบบ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (VUV และ UV), การเติมก๊าซ (อากาศและไนโตรเจน) และ พีเอช (pH) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการ VUV สามารถการกำจัด TCC ในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า 80% โดยประสิทธิภาพของ VUV เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมอากาศร่วมด้วย สำหรับในสภาวะ pH ที่ 5 7 และ 9 ให้ผลในการกำจัด TCC ใกล้เคียงเคียงกัน

ตารางที่ 1 สรุปผลการกำจัด TCC ในน้ำด้วยกระบวนการ VUV และ UV ในสภาวะที่ต่างกัน

สภาวะการทดลอง	% Removal @120 min	k (min^{-1})	R^2
UV (pH 7)	80.12	0.0182	0.999
VUV (pH 5)	81.26	0.0193	0.991
VUV (pH 7)	81.19	0.0201	0.983
VUV (pH 9)	82.39	0.0212	0.981
VUV (Air)	92.53	0.0341	0.996
VUV (N_2)	89.06	0.0255	0.987

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไม่ได้ ถ้าขาดความอนุเคราะห์จากบุคคลสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยจึงกราบขอบพระคุณผู้อนุเคราะห์ดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา และให้กำลังใจในระหว่างดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Yun, H., Liang, B., Kong, D., Li, X., & Wang, A. 2020. Fate, risk and removal of triclocarban: A critical review. Journal of Hazardous Materials. 387: 121944.

[2] Juksu, K., Zhao, J. L., Liu, Y. S., Yao, L., Sarin, C., Sreesai, S., Klomjek, P., Jiang, Y. X., & Ying, G. G. 2019. Occurrence, fate and risk assessment of biocides in wastewater treatment plants and aquatic environments in Thailand. Science of the Total Environment. 690: 1110–1119.

[3] Bagheri, M., & Mohseni, M. 2015. Impact of hydrodynamics on pollutant degradation and energy efficiency of VUV/UV and H2O2/UV oxidation processes. Journal of Environmental Management. 164: 114–120.

[4] Yu, H. W., Park, M., Wu, S., Lopez, I. J., Ji, W., Scheideler, J., & Snyder, S. A. 2019. Strategies for selecting indicator compounds to assess attenuation of emerging contaminants during UV advanced oxidation processes. Water Research, 166. 115030.

[5] Li, M., Hao, M., Yang, L., Yao, H., Bolton, J. R., Blatchley III, E. R., & Qiang, Z. 2018. Trace organic pollutant removal by VUV/UV/chlorine process: Feasibility investigation for drinking water treatment on a mini-fluidic VUV/UV photoreaction system and a pilot photo reactor. Environ. Sci. Technol, 52, 7426–7433

[6] Ding, S. L., Wang, X. K., Jiang, W. Q., Meng, X., Zhao, R. S., Wang, C., & Wang, X. 2013. Photodegradation of the antimicrobial triclocarban in aqueous systems under ultraviolet radiation. Environmental Science and Pollution Research, 20(5), 3195–3201.

09R3-03

การสร้างและคะตะไลติกแอกทิวิตี้ของเหล็กออกไซด์แบบนิวเคลียสเอกพันธ์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Formation and Catalytic Activity of Homogeneous-Nucleation Iron Oxide in the Presence of Hydrogen Peroxide

ศิวพล แก้วนาเคียน[1] จินต์ อโณทัย[2] และ นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ[3*]
Siwapol Kaewnakien[1] Jin Anotai[2] and Nonglak Boonrattanakij[3*]
[1]นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา; [2]รองศาสตราจารย์; [3*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140 ประเทศไทย
*โทรศัพท์: +66 61-995-2466, โทรสาร: +66 2-470-9165, Email: nonglak.boo@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดกรดฟอร์มิกและเหล็กทั้งหมดโดยกระบวนการฟลูอิดไดซ์-เบดเฟนตอนที่สร้างเหล็กออกไซด์ผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ที่พีเอช 6.0 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และปฏิกรณ์ขนาดโต๊ะทดลองแบบป้อนต่อเนื่องภายใต้สภาวะห้องที่ระยะเวลากักพักชลศษสตร์ 11.64 ชั่วโมง ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ สารเฟนตอนและกรดฟอร์มิก ผลการทดลองพบว่ากระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบนิวเคลียสเอกพันธ์ที่พีเอช 6.0 มีศักยภาพในการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์และเหล็กทั้งหมดได้เช่นเดียวกับแบบนิวเคลียสวิวิธพันธ์ที่มีตัวกลางของแข็งจากภายนอก ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดเหล็กทั้งหมดและกรดฟอร์มิกที่ได้ภายใต้สภาวะที่ศึกษาเท่ากับร้อยละ 89.72 และร้อยละ 100 ตามลำดับ เหล็กออกไซด์ที่ได้จากการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ที่พีเอช 6.0 มีสมบัติในการกระตุ้นให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ดีตะกอนเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่ำกว่าของกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบสร้างนิวเคลียสวิวิธพันธ์มากเพราะไม่ต้องการตัวกลางของแข็งจากภายนอก

คำสำคัญ : กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง; กรดฟอร์มิก; ฟลูอิไดซ์เบดเฟนตอน; เหล็กออกไซด์; อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล

Abstract

This research aimed to investigate the formic acid and total iron removal capability of the fluidized-bed Fenton process that produced iron oxide via homogeneous nucleation mechanism at pH 6.0. Synthetic wastewater and continuous-feed bench-scale reactors were used with the hydraulic retention time of 11.64 hours. Studied variables were Fenton reagent and formic acid. Experimental results revealed that the homogeneous-nucleation fluidized-bed Fenton process had a potential to remove organic pollutant and total iron similar to heterogeneous-nucleation fluidized-bed Fenton which has external solid media. Maximum total iron and formic acid removal efficiencies obtained under the studied conditions were 89.72% and 100%, respectively. Iron oxide obtained from the homogeneous-nucleation at pH 6.0 possessed little catalytic activity to stimulate the decomposition of hydrogen peroxide to from hydroxyl radicals. However, the amount of iron oxide formed will be much less than those of the heterogeneous-nucleation fluidized-bed Fenton since no external solid media addition is needed.

Keywords: Advanced oxidation processes; Formic acid; Fluidized bed Fenton; Iron oxide; Hydroxyl radicals

บทนำ

การบำบัดน้ำเสียเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม หากกระบวนการบำบัดทำได้ดีจะช่วยลดปัญหาการปล่อยสารมลพิษและความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้สำหรับน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษอินทรีย์คือ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น อย่างไรก็ดีหากสารมลพิษอินทรีย์มีความคงตัวสูง จุลินทรีย์ในระบบชีวภาพอาจไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่งผลให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีลักษณะสมบัติบางประการ เช่น ซีโอดี และสี ไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด จึงจำเป็นต้องมีการใช้กระบวนการอื่น ๆ เพิ่มเติมในลักษณะของการบำบัดขั้นสาม (Tertiary Treatment) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

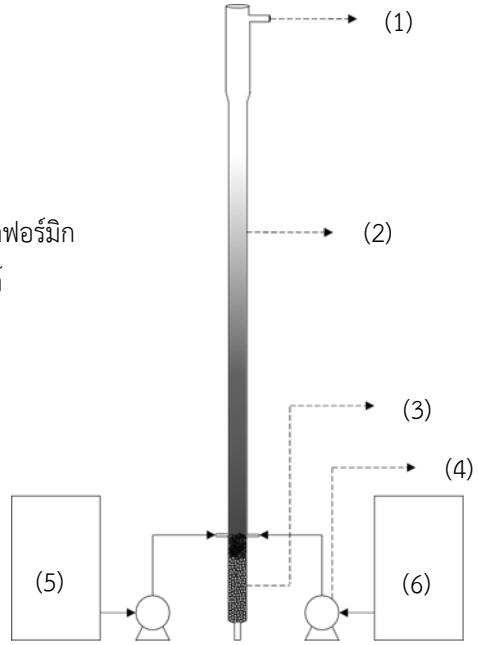
กระบวนการเฟนตอนซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลเหล็กเฟอร์รัสและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก กระบวนการนี้สามารถดำเนินการได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ โดยใช้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radicals; OH•) ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้สภาวะที่มีอนุมูลเฟอร์รัสเป็นสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีความสามารถในการออกซิเดชันสูงไปเปลี่ยนรูปของสารมลพิษให้มีความเป็นพิษลดน้อยลง อย่างไรก็ดีอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลไม่มีความเสถียรจึงสลายตัวอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องมีการใช้งานทันทีเมื่อถูกสร้างขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการเฟนตอนมีประสิทธิภาพสูงในสภาวะที่เป็นกรด (พีเอช 2 ถึง 4) ดังนั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องปรับค่าพีเอชให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด (5.5 ถึง 9.0) แต่เมื่อปรับพีเอชให้เป็นกลาง จะทำให้เกิดการตกตะกอนผลึกในรูปเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ขึ้น แม้ว่าฟล็อค (Flocs) ของตะกอนเหล็กดังกล่าวจะผ่านการตกตะกอน การทำข้นตะกอน (Sludge Thickening) และการรีดน้ำ (Sludge Dewatering) แล้วก็ยังคงความชื้นถึงประมาณร้อยละ 70 ถึง 80 การจัดการและการกำจัดกากตะกอนเหล็กที่มีความชื้นสูงมากนี้ก่อให้เกิดความท้าทายอย่างมากทั้งในแง่ของปริมาณและค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบนิวเคลียสวิวิธพันธ์ (Heterogeneous-Nucleation Fluidized-Bed Fenton) จึงถูกพัฒนาขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณกากตะกอนและปริมาณความชื้นที่สูง กระบวนการนี้เป็นการประยุกต์ใช้พื้นผิวของตัวกลางที่เป็นของแข็งสำหรับการตกตะกอนผลึกของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบวิวิธพันธ์ [1] ที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Pellets) ทำให้ได้ตะกอนของของแข็งที่มีความชื้นต่ำ อย่างไรก็ดีตะกอนที่เกิดขึ้นนี้ยังคงมีปริมาณสูงอยู่ เนื่องจากมีทั้งปริมาณตัวกลางของแข็งที่เติมลงไปและตะกอนเหล็กที่จากการตกตะกอนผลึกร่วมกันอยู่

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษากระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบเอกพันธ์ (Homogeneous-Nucleation Fluidized-Bed) โดยให้ตะกอนเหล็กที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเฟนตอนรวมตัวกันเองผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางของแข็งจากภายนอก นอกจากนี้ยังศึกษาคะตะไลติกแอคทิวิตี้ของตะกอนเหล็กที่ได้ในการกระตุ้นให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่พีเอช 6 ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานน้ำทิ้งที่ทางราชการกำหนด ทำให้ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้กรดหรือด่างในการปรับพีเอช เป็นการลดต้นทุนและประหยัดทรัพยากร ทั้งยังหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์และทำการทดลองด้วยปฏิกรณ์ขนาดโต๊ะทดลองแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะห้อง สารเคมีที่ใช้ได้แก่ เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเป็นสารเฟนตอน กรดฟอร์มิก (HCOOH) ใช้เป็นสารมลพิษเป้าหมาย กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ใช้ในการควบคุมพีเอชที่ 6.0 ตลอดการทดลอง สารเคมีทั้งหมดเป็นคุณภาพระดับวิเคราะห์ (Analytical Grade; AR Grade) และใช้โดยไม่มีการปรับสภาพใด ๆ เพิ่มเติม งานวิจัยนี้ใช้ปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-bed Reactor; FBR) ที่ทำจากแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) มีปริมาตรและเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.3 ลิตร และ 3.1 เซนติเมตร ตามลำดับ ใช้เครื่องสูบเพอริสตัลติก 2 ชุดต่อเข้ากับด้านล่างของปฏิกรณ์เพื่อใช้สำหรับการป้อนสารละลายจากถังเก็บสารเข้าสู่ปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง (Continuous Feed) โดยมีการใช้ลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 6 มิลลิเมตรรองด้านล่างของปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนเหล็กที่เกิดขึ้นไหลลงไปในสายยางที่อยู่ด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 1 น้ำที่ผ่านจากบำบัดแล้วจะไหลออกจากปฏิกรณ์ที่ด้านบนลงสู่ถังน้ำออก ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ถูกควบคุมให้คงที่ที่ 11.64 ชั่วโมง (อัตราการป้อนต่ำสุดที่เครื่องสูบเพอริสตัลติกสามารถทำได้) ทำการวิเคราะห์เหล็กละลายน้ำและเหล็กทั้งหมด [2], ความเข้มข้นของ H_2O_2 [3] และกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์ HPLC

(1) น้ำออก
(2) ปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด
(3) ลูกแก้ว
(4) เครื่องสูบเพอริสตัลติก
(5) สารละลายอนุมูลเฟอร์รัส และกรดฟอร์มิก
(6) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

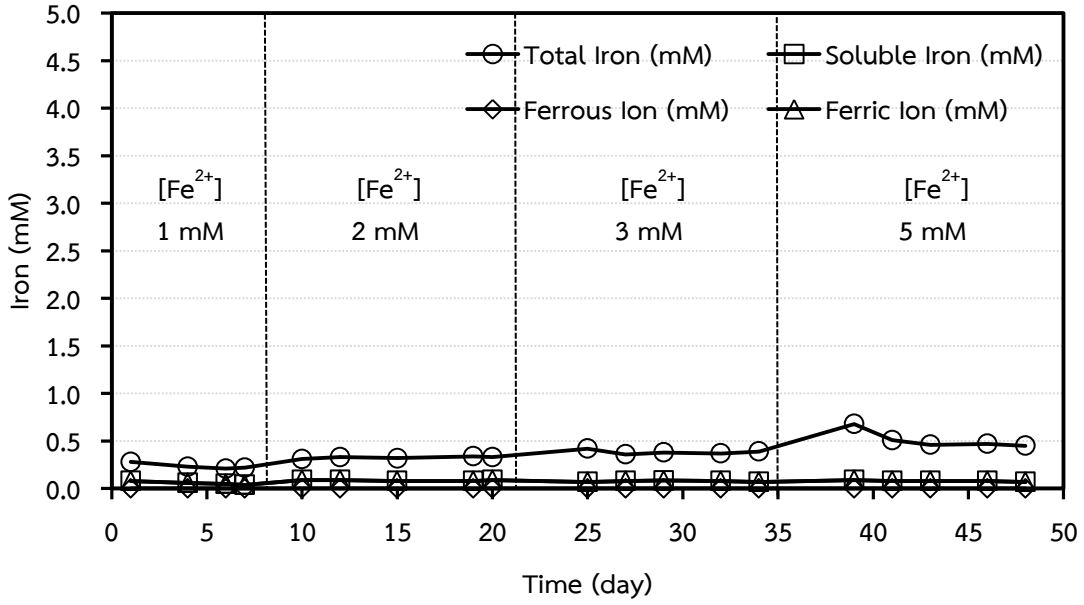


รูปที่ 1 ปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด (ไม่ได้วาดตามสเกล)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของอนุมูลเฟอร์รัส

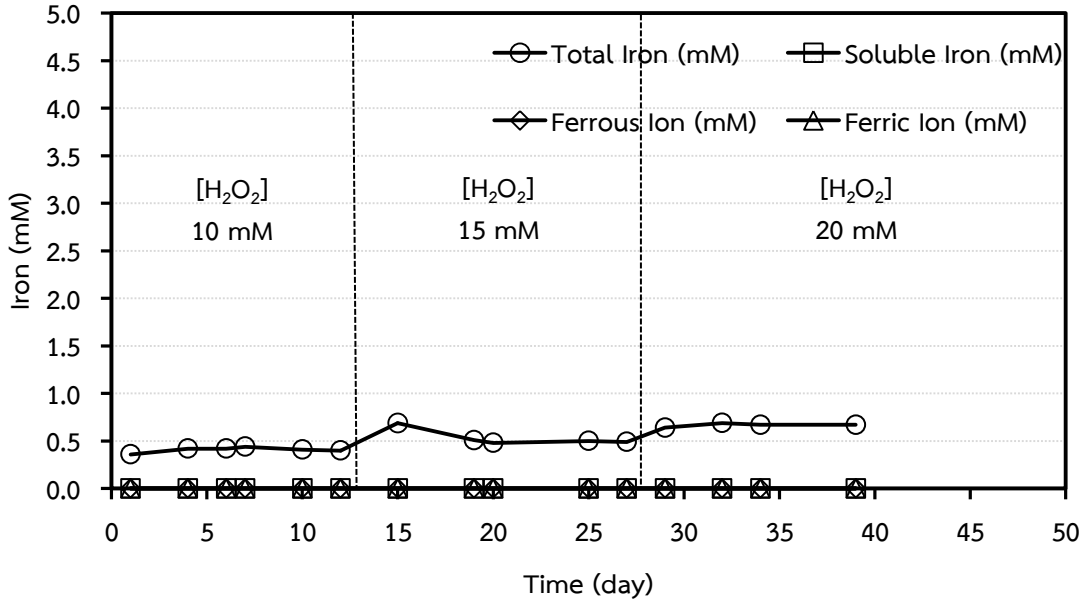
หัวใจสำคัญของกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนคือการตกตะกอนผลึกเหล็กออกไซด์ในรูปที่เป็นเม็ดซึ่งสามารถแยกจากน้ำได้อย่างรวดเร็วและมีความชื้นต่ำ การทดลองในส่วนนี้ต้องการศึกษาถึงกลไกการตกตะกอนผลึกของอนุภาคเหล็กออกไซด์ผ่านการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ อนุมูลเฟอร์รัสถูกแปรผันตั้งแต่ 1, 2, 3 และ 5 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่ควบคุมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไว้ที่ 10 มิลลิโมลาร์ ผลการทดลองพบว่าอนุมูลเฟอร์รัสที่ทุกความเข้มข้นสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กลายเป็นอนุมูลเฟอร์ริกและเกิดการตกตะกอนผลึกเหล็ก ($Fe(OH)_3$) ผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ได้เกือบทั้งหมด โดยมีอนุมูลเฟอร์ริกที่ละลายน้ำหลงเหลืออยู่น้อยมากดังแสดงในรูปที่ 2 อนึ่งการที่อนุมูลเฟอร์ริกที่ละลายเหลืออยู่ในน้ำมีค่าใกล้เคียงกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับอนุมูลเฟอร์รัสเริ่มต้นนั้นเป็นผลมาจากความสามารถในการละลายน้ำของอนุมูลเฟอร์ริกจะมีค่าคงที่เมื่อพีเอชไม่เปลี่ยนแปลง (6.0) อย่างไรก็ดีพบว่าสัดส่วนของอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่ถูกกักเก็บไว้ในปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดสูงขึ้นตามอนุมูลเฟอร์รัสที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 89.72 ที่อนุมูลเฟอร์รัส 5 มิลลิโมล่าร์ ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากขนาดของอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่ใหญ่ขึ้นตามลำดับเมื่ออนุมูลเฟอร์รัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำซึ่งมีค่าคงที่ที่ 15 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนอนุภาคที่มีความเร็วในการตกตะกอนต่ำกว่าความเร็วไหลขึ้นของน้ำจะถูกไล่ล้าง (Washout) ออกจากปฏิกรณ์ ผลการทดลองในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าการสร้างอนุภาคเหล็กออกไซด์ด้วยกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ในปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดสามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพที่พีเอช 6.0 โดยไม่ต้องมีอนุภาคของแข็งจากภายนอก อนุภาคเหล็กออกไซด์ที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนจากฟล็อคที่ได้จากปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Complete-Mix) ทั่วไป



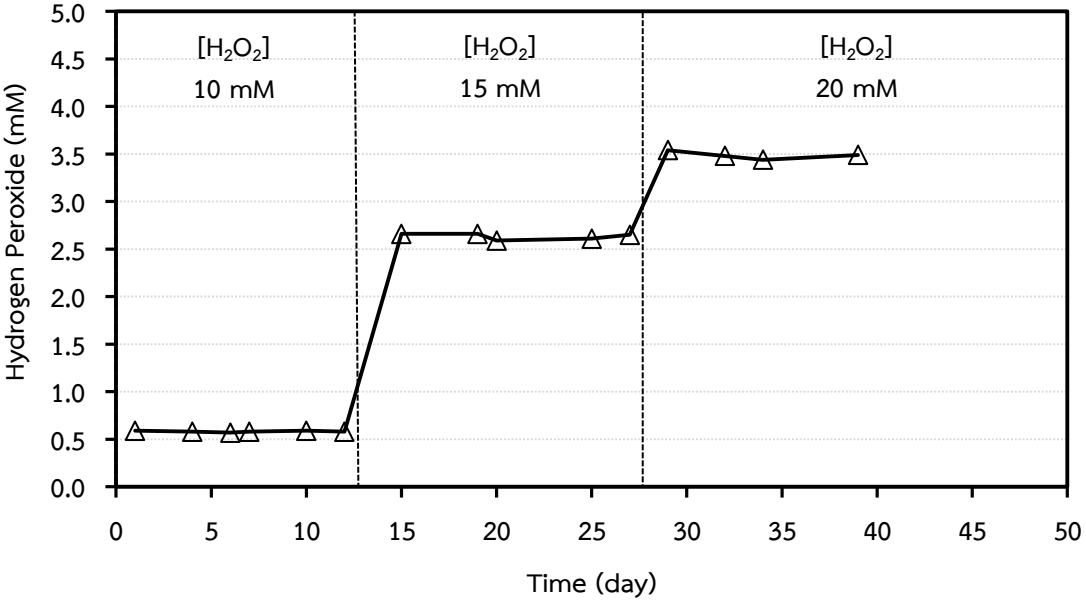
รูปที่ 2 ผลของอนุมูลเฟอร์รัสต่อความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ กรดฟอร์มิกเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 11.64 ชั่วโมง และพีเอชเท่ากับ 6.0

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปของเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำ (อนุมูลเฟอร์รัสและอนุมูลเฟอร์ริก) ซึ่งเป็นวัฏจักรที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่ยังมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลืออยู่ในน้ำผ่านปฏิกิริยาลูกโซ่เฟนตอน จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงบทบาทของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ของเหล็กออกไซด์ การทดลองในส่วนนี้ใช้อนุมูลเฟอร์รัสคงที่เท่ากับ 5 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่แปรผันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 10, 15 และ 20 มิลลิโมลาร์ ผลการศึกษาพบว่าการตกตะกอนผลึกของอนุภาคเหล็กออกไซด์ผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ยังคงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดิมดังรูปที่ 3 (ก) อย่างไรก็ดีเมื่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกักเก็บอนุภาคเหล็กออกไซด์ของปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เชื่อว่าเป็นผลมาจากการไล่ล้างจากฟองก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ในทุกสภาวะทดลองจะพบว่าน้ำออกยังคงมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่ตามที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) เพื่อให้ปฏิกิริยาเฟนตอนสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ศึกษา อย่างไรก็ดี ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่นี้ก่อนระบายทิ้ง เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยอนุมูลไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$) ภายใต้สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี



(ก) ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำ



(ข) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่

รูปที่ 3 ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่ออนุมูลเฟอร์รัสเท่ากับ 5 มิลลิโมลาร์ กรดฟอร์มิกเท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 11.64 ชั่วโมง และพีเอชเท่ากับ 6.0

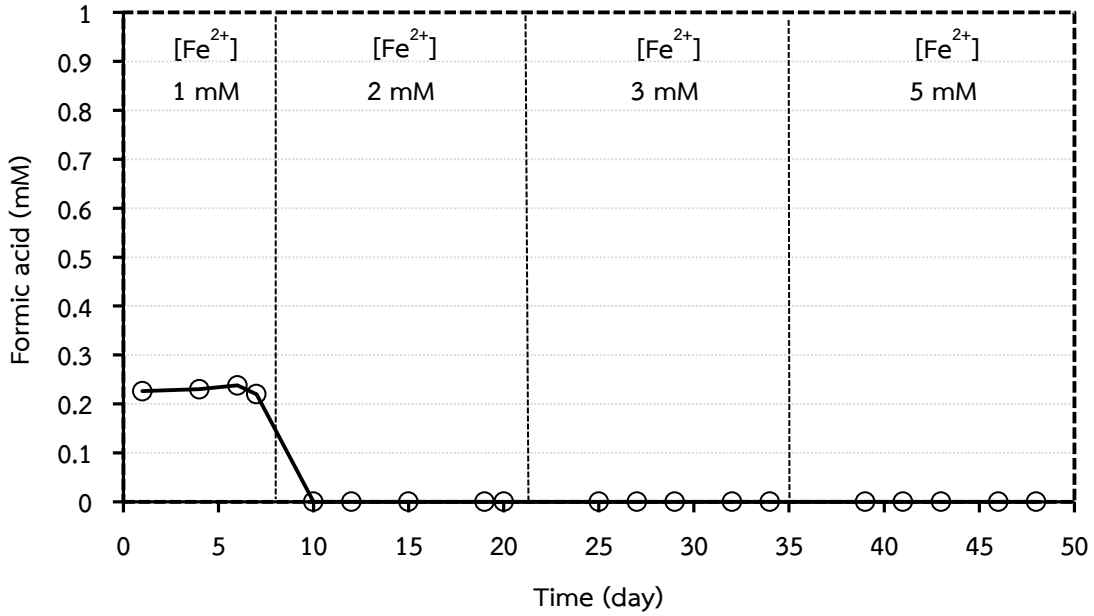
การสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลจากปฏิกิริยาเฟนตอนที่พีเอช 6

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาปฏิกิริยาเฟนตอนที่พีเอช 6.0 เพื่อควบคุมปริมาณ TDS ในน้ำทิ้งที่จะเพิ่มขึ้นจากการเติมกรดเพื่อปรับพีเอชให้เป็น 2 – 4 (ช่วงทั่วไปของกระบวนการเฟนตอน) และเติมด่างเพื่อเพิ่มพีเอชของน้ำให้กลับมาอยู่ในช่วง 5.5 – 9.0 ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมก่อนระบายทิ้ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาว่าการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้สภาวะที่มีอนุมูลเฟอร์รัสเป็นสารคะตะลิสต์สามารถเกิดขึ้นได้ในระดับที่สูงพอที่จะสามารถออกซิไดซ์สารมลพิษเป้าหมายในน้ำเสีย งานวิจัยนี้เลือกใช้กรดฟอร์มิกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาระหว่างสาร

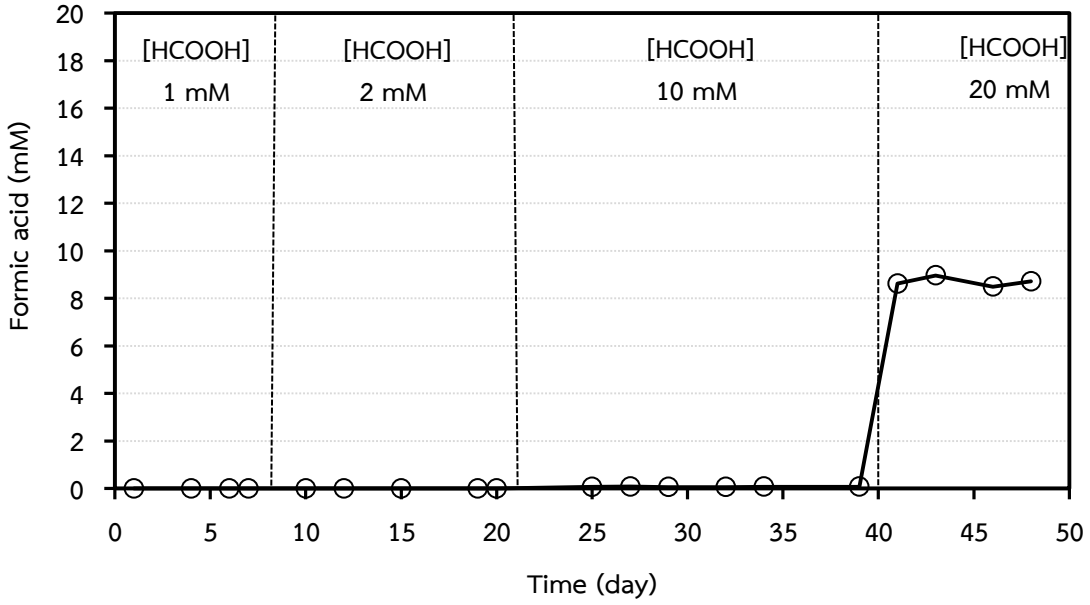
มลพิษอินทรีย์กับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลก่อนที่จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารมลพิษเป้าหมายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาแข่งขันของสารกลาง (Intermediates) กับสารมลพิษเป้าหมาย การทดลองในส่วนนี้เลือกใช้อนุมูลเฟอร์รัสที่ 1, 2, 3 และ 5 มิลลิโมลาร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิกที่ 10 และ 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ากรดฟอร์มิกถูกกำจัดได้ทั้งหมดด้วยอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่สร้างขึ้นในทุกสภาวะการทดลองยกเว้นในกรณีที่อนุมูลเฟอร์รัสไม่เพียงพอ (ที่ 1 มิลลิโมลาร์) ดังแสดงในรูปที่ 4 ชี้ให้เห็นว่ามีการสร้างอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลขึ้นในปริมาณที่มากพอที่จะส่งผลต่อการกำจัดสารมลพิษในน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าที่อนุมูลเฟอร์รัสเท่ากับ 5 มิลลิโมลาร์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ ระบบสามารถกำจัดกรดฟอร์มิกที่ 2, 10 และ 20 มิลลิโมลาร์ ได้ร้อยละ 100, 99.19 และ 57.15 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5

คะตะไลติกแอกทิวิตี้ของอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้น

อนุมูลอิสระไฮดรอกซิลนอกจากจะสามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการเฟนตอนแบบเอกพันธ์แล้ว ยังสามารถถูกสร้างขึ้นผ่านปฏิกิริยาเฟนตอนแบบวิวิธพันธ์ได้ด้วย โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกบนผิวของเหล็กออกไซด์ผ่านกลไกที่ซับซ้อน [1, 3] จึงเป็นที่น่าสนใจว่าอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองของงานวิจัยนี้จะมีคะตะไลติกแอกทิวิตี้ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้หรือไม่ การทดลองในส่วนนี้ทำการป้อนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดฟอร์มิกที่ 10 และ 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ เข้าสู่ปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดที่มีชั้นตะกอนเหล็กออกไซด์อยู่โดยไม่มีการเติมอนุมูลเฟอร์รัส ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดฟอร์มิกที่สภาวะคงตัว (Steady State) มีค่าเพียงร้อยละ 0.11 เมื่อเทียบกับร้อยละ 77 และร้อยละ 100 เมื่อเติมอนุมูลเฟอร์รัสที่ 1 และ 2 – 5 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 4 ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่ได้จากการตกตะกอนผลึกผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์มีสมบัติการเป็นสารคะตะลิสต์สำหรับการแตกตัวไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ต่างจากผลการทดลองของ Boonrattanakij และคณะ [4] ที่สร้างอนุภาคเหล็กออกไซด์ด้วยกระบวนการฟลูอิด-ไดซ์เบดเฟนตอนผ่านกลไกการสร้างนิวเคลียสแบบวิวิธพันธ์ที่ใช้ทรายก่อสร้างเป็นตัวกลางที่พีเอช 3.0 อย่างไรก็ดีตะกอนเหล็กออกไซด์ที่ได้จากการทดลองนี้จะมีปริมาตรโดยรวมต่ำกว่าเนื่องจากไม่ต้องมีการเติมตัวกลางของแข็งเข้าไปในระบบ



รูปที่ 4 กรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ กรดฟอร์มิกเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 11.64 ชั่วโมง และพีเอชเท่ากับ 6.0



รูปที่ 5 กรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่เมื่ออนุมูลเฟอร์รัสเท่ากับ 5 มิลลิโมลาร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 11.64 ชั่วโมง และพีเอชเท่ากับ 6.0

ตารางที่ 1 คะตะไลติกแอกทิวิตี้ของอนุภาคเหล็กออกไซด์ที่สภาวะคงตัว (Steady State)

$[Fe^{2+}]:[H_2O_2]:[HCOOH]$ (mM)	HRT (h)	$[Soluble\ Iron]_{ss}$ (mM)	$[Total\ Iron]_{ss}$ (mM)	Iron Precipitation (%)	Removal Efficiency (%)	
					Total Iron	Formic acid
1:10:1	11.64	0	0.34	100	82.93	77
0:10:1	11.64	0	0	0	0	0.11

สรุป

กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบนิวเคลียสเอกพันธ์ที่พีเอช 6.0 มีศักยภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และเหล็กทั้งหมดได้เช่นเดียวกับแบบนิวเคลียสวิวิธิพันธ์ที่ใช้กันทั่วไป ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดเหล็กทั้งหมดและกรดฟอร์มิกที่ได้ภายใต้สภาวะที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือร้อยละ 89.72 และร้อยละ 100 ตามลำดับ อนุภาคเฟอร์รัสที่สูงขึ้นจะช่วยให้สัดส่วนของเหล็กออกไซด์ที่ถูกกักไว้ในปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบดสูงขึ้นเนื่องจากเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจนมากเกินพอจะสลายตัวให้ฟองก๊าซออกซิเจนและชะล้างตะกอนเหล็กออกไซด์ออกจากระบบ เหล็กออกไซด์ที่ได้จากการสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์ที่พีเอช 6.0 มีสมบัติในการกระตุ้นให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ดีกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบสร้างนิวเคลียสแบบเอกพันธ์มีศักยภาพที่จะใช้เป็นระบบบำบัดขั้นสามเพราะสามารถกำจัดสารมลพิษอินทรีย์และเหล็กทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสร้างตะกอนเหล็กออกไซด์ที่ต้องนำไปกำจัดน้อยกว่ากระบวนการฟลูอิดไดซ์เบดเฟนตอนแบบสร้างนิวเคลียสแบบวิวิธพันธ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากไม่มีการเติมตัวกลางของแข็งจากภายนอก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Anotai, J., Wasukran, N., and Boonrattanakij, N., 2018, “Heterogeneous fluidized-bed Fenton process: Factors affecting iron removal and tertiary treatment application“, Chemical Engineering Journal, Vol. 352, pp. 247-254.

[2] APHA. 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed., Washington, DC: American Public Health Association. 5-14.

[3] Anotai J., Sakulkittimasak P., Boonrattanakij N., and Lu M.C., 2009, “Kinetics of nitrobenzene oxidation and iron crystallization in fluidized-bed Fenton process”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 165, pp. 874-880.

[4] Boonrattanakij, N., Lu, M.C. and Anotai, J., 2011, “Iron crystallization in a fluidized-bed Fenton process”, Water Research, Vol. 45, pp. 3255 – 3262.

09R3-04

การกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนควบคู่กับการผลิตโพลีไฮดรอกซีแอลคาโนเอตด้วยจุลินทรีย์เชื้อผสมร่วมกับการเติม *Thauera mechernichensis* TL1

Simultaneous removal of organic compounds and nitrogen and polyhydroxyalkanoate production using mixed microbial cultures bioaugmented with *Thauera mechernichensis* TL1

นวภัทร ช่อทอง[1] และ เบญจพร สุวรรณศิลป์[2,3*]
Nawapat Chothong[1] and Benjaporn Suwannasilp[2*]
[1]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
[3]หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพสำหรับวิศวกรรมน้ำเสีย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
*โทรศัพท์ : 022186337, โทรสาร :022186338, E-mail : nawamart12@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตพลาสติกชีวภาพ ชนิดโพลีไฮดรอกซีแอลคาโนเอต(พีเอชเอ) ควบคู่กับการกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน ด้วยจุลินทรีย์สายพันธุ์ผสม ร่วมกับการเติม *Thauera mechernichensis* (TL1) ในอัตราส่วน 97.5 : 2.5 % g MLVSS ภายใต้สภาวะที่มีอาหารเกินพอสลับกับขาดแคลน (feast and famine conditions) ภายในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเท (sequencing batch reactor) จำนวน 2 ถัง โดยในถังปฏิกรณ์ที่ 1 (SBR1) มีการเติมอากาศตลอดเวลาทั้งช่วงที่มีอาหารเกินพอ และช่วงที่ขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/famine) และในถังปฏิกรณ์ที่ 2 (SBR2) มีการเติมอากาศเฉพาะช่วงอาหารเกินพอ และปล่อยให้เกิดสภาวะแอน็อกซิกในช่วงขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/anoxic famine) กำหนดค่าอายุสลัดจ์ (SRT) 10 วัน และรอบการเดินระบบ (cycle time) ระยะเวลา 2 วัน โดยใช้อะซิเตท 1,000 mgCOD/L เป็นแหล่งคาร์บอน และเติมแอมโมเนีย 70 mgN/L ในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเท และใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนในการทดสอบความสามารถในการสะสมพีเอชเอสูงสุดในระบบทีละเทแบบเติมแหล่งคาร์บอนต่อเนื่อง (fed-batch reactor) ผลการศึกษาพบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (SBR1) ผลิตพีเอชเอได้สูงสุดที่ในรอบการเดินระบบที่ 28 โดยมีปริมาณ 10.04 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และกำจัดสารอินทรีย์ได้มากถึง90 % ภายใต้สภาวะที่มีอาหารเกินพอสลับกับขาดแคลน ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 2 (SBR2) ผลิตพีเอชเอได้สูงสุดที่ในรอบการเดินระบบที่ 35 โดยมีปริมาณ 8.37 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากถึง 90% เช่นเดียวกัน และในSBR2 สามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงสุดที่ 81% และจากการทดสอบความสามารถในการสะสมพีเอชเอสูงสุด โดยการเติมแหล่งคาร์บอนอย่างต่อเนื่อง(fed-batch reactor) พบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ2 ผลิตพีเอชเอได้สูงสุดที่ 28.48 % และ 23.74 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระบบการผลิตพีเอชเอ สามารถนำไปพัฒนา และประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการนำกลับคืนทรัพยากรจากน้ำเสียอย่างมีคุณค่า

คำสำคัญ : โพลีไฮดรอกซีแอลคาโนเอต; จุลินทรีย์เชื้อผสม; พลาสติกชีวภาพ; *Thauera mechernichensis*

Abstract

This research study investigates the production of biodegradable plastics, specifically polyhydroxyalkanoate (PHA), coupled with the removal of organic and nitrogenous compounds using mixed microbial cultures bioaugmented with *Thauera mechernichensis* TL1 at a ratio of 97.5 : 2.5 % ของ MLVSS under feast and famine conditions within two sequencing batch reactors (SBR). In SBR1, continuous aeration was provided during both feast and famine phases, while in SBR2 aeration was only provided during the feast phase, allowing for anoxic conditions during the famine phase. Both SBR1 and SBR2 were operated at the sludge retention time (SRT) of 10 days and the cycle time of 2 days, with the initial acetate concentrations of 1,000 mgCOD/L and ammonia concentrations at 70 mgN/L. Acetic acid was used as the carbon source in fed-batch reactors to assess the maximum PHA-accumulating capacities. The results show that SBR1 and SBR2 can had the COD removal efficiencies of 88.1±1.3% and 87.6±1.7%, respectively. In addition, SBR2 had the total nitrogen removal efficiencies of 77.98±1.95 % whereas SBR1 cannot remove total nitrogen. The maximum PHA-accumulating capacities from fed-batch reactor tests were 28.48% and 23.74% cell dry weight in SBR1 and SBR2, respectively. Overall, the study has demonstrated the potential of using an SBR under aerobic feast/anoxic famine for COD and nitrogen removal simultaneously with PHA production. Such system can be further developed for the treatment of wastewater contaminated with organic compounds and nitrogen and support for the resource recovery from wastewater, aligning with the concept of circular economy.

Keywords : polyhydroxyalkanoates; mixed microbial culture; Bioplastics; *Thauera mechernichensis*

บทนำ

โพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (พีเอชเอ) คือ พลาสติกชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมี เนื่องจากมีโครงสร้างองค์ประกอบของโมโนเมอร์ และคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับพลาสติกที่ถูกผลิตขึ้นจากปิโตรเลียมอย่างพอลิโพรไพลีน (polypropylene, PP) [1] และที่สำคัญคือมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพีเอชเอสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ในธรรมชาติ [2] ซึ่งเป็นทางออกหนึ่งในการช่วยแก้ไขปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การนำพีเอชเอไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากยังคงมีราคาที่ค่อนข้างสูง ผนวกกับปัจจัยด้านอื่น ๆ และข้อจำกัดที่สำคัญประการหนึ่งของการผลิตพีเอชเอในเชิงอุตสาหกรรม คือ ต้นทุนของแหล่งคาร์บอนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตพีเอชเอ รวมถึงการใช้พลังงานที่สูงในการรักษาสภาวะปลอดเชื้อ ในกรณีของการใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์เพื่อผลิตพีเอชเอ

เพื่อเป็นการลดต้นทุนจากแหล่งคาร์บอนและลดการใช้พลังงานในการรักษาสภาวะปลอดเชื้อ จึงได้มีการพัฒนาระบบการผลิตพีเอชเอโดยใช้จุลินทรีย์เชื้อผสมผนวกเข้ากับระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนทดแทน โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า *Thauera* spp. เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดเด่นที่สามารถสะสมพีเอชเอในระบบจุลินทรีย์เชื้อผสม [3, 4] โดย *Thauera mechernichensis* TL1 เป็นดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตพีเอชเอจากอะซิเตท โพรพิออเนท และของเหลวจากการหมักเศษอาหาร [5] งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ระบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเทร่วมกับการใช้จุลินทรีย์เชื้อผสมที่มีการเติม *T. merchernichensis* TL1 เพื่อการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจนควบคู่กับการผลิตพีเอชเอ โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่มีอาหารเกินพอสลับกับขาดแคลนซึ่งมีการเติมอากาศตลอด (aerobic feast/famine) และสภาวะมีอาหารเกินพอแบบเติมอากาศสลับกับสภาวะขาดแคลนอาหารแบบแอน็อกซิก (aerobic feast/anoxic famine) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี อะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ โดยไม่เติมสารยับยั้งไนตริฟิเคชั่น เพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นได้ในระบบซึ่งเป็นขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดต่อไป ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งสามารถกำจัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจน ซึ่งนับเป็นมลพิษที่มักพบร่วมกันโดยทั่วไปในน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ควบคู่ไปกับการผลิตพีเอชเอ ตามหลักการนำกลับคืนทรัพยากรจากน้ำเสีย

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองนี้ใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเท (sequencing batch reactor, SBR) ขนาด 0.25×0.2×0.35 m ปริมาตรใช้งาน 12 Lจำนวน 2 ถัง แต่ละถังปฏิกรณ์จะติดตั้งปั๊มพร้อมหัวทรายกระจายอากาศ 4 หัว จากนั้นทำการเตรียมตะกอนจุลินทรีย์สายพันธุ์ผสมและเชื้อ *T. mechernichensis* โดยตะกอนจุลินทรีย์สายพันธุ์ผสมนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจากโรงควบคุม

คุณภาพน้ำดินแดง ก่อนเติมตะกอนจุลินทรีย์สายพันธุ์ผสมลงถังปฏิกรณ์ จะทำการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และตกตะกอน จำนวน 3 รอบ เพื่อล้างสารอินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ตกค้างในตะกอนออกก่อน ส่วนเชื้อ *T. mechernichensis* จะล้างด้วยสารละลาย 0.85% NaCl จำนวน 2 รอบ แล้วทำการผสมตะกอนจุลินทรีย์สายผสมต่อ *T. mechernichensis* ในอัตราส่วน 97.5:2.5 % g MLVSS [4] โดยกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกอนในถังปฏิกรณ์เท่ากันที่ 2,400 mg/l

ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน โดยกำหนดค่า COD เริ่มต้นอยู่ที่ 1,000 mg/l และเติมแอมโมเนีย 70 mgN/L ดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะที่มีอาหารเกินพอสลับกับขาดแคลน (feast and famine conditions) โดยในถังปฏิกรณ์ที่ 1 (SBR1) มีการเติมอากาศตลอดเวลาทั้งช่วงที่มีอาหารเกินพอ และช่วงที่ขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/famine) และในถังปฏิกรณ์ที่ 2 (SBR2) มีการเติมอากาศเฉพาะช่วงอาหารเกินพอ และปล่อยให้เกิดสภาวะแอน็อกซิกในช่วงขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/anoxic famine) กำหนดอายุตะกอน (sludge retention time, SRT) ที่ 10 วัน และระยะเวลากักเก็บน้ำ (hydraulic retention time, HRT) ที่ 2 วัน ในแต่ละรอบของการเดินระบบจะทำการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าไปในระบบแล้วทำการเดินระบบเป็นระยะเวลา 47.15 ชั่วโมง แล้วหยุดเติมอากาศใน SBR1 เป็นระยะเวลา 45 นาที เพื่อตกตะกอนแล้วถ่ายส่วนน้ำใสออกนับเป็น 1 รอบการเดินระบบ จากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่กลับเข้าไปอีกครั้งสำหรับเดินระบบรอบถัดไป ในแต่ละถังปฏิกรณ์ เก็บตัวอย่างทุกชั่วโมงที่ 0, 24 และ 47.15 ของแต่ละรอบ นำมาวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าพีเอชและอุณหภูมิ (พีเอชมิเตอร์แบบโพรบ ยี่ห้อ Mettler Toledo) ค่าออกซิเจนละลาย (เครื่องวัดออกซิเจนแบบโพรบ ยี่ห้อ Lutron รุ่น DO-5512SD) ค่า SV30 (วิธีตกตะกอนในกรวยอิมฮอฟฟ์) ค่าCOD (วิธีรีฟลักซ์แบบปิด) ค่า MLSS และ MLVSS (วิธี gravimetric methods ของ APHA, (2003)) [6] และวัดปริมาณไนโตรเจนในรูปของ NH_3, NO_2^-, NO_3^- (วิธีของ Bower, et al (1980)) [7] นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างอย่างละเอียดในทุก 7 รอบของการเดินระบบ โดยจะเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 24, 32, และ 47.15 ของการเดินระบบ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ และวิเคราะห์ปริมาณการสะสมพีเอชเอ

ในการทดสอบความสามารถในการสะสมพีเอชเอสูงสุด ด้วยระบบทีละเทแบบเติมแหล่งคาร์บอนอย่างต่อเนื่อง (fed-batch reactor) ทำโดยการแบ่งตะกอนครึ่งหนึ่งจากการตกตะกอนในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเทที่ 1 (SBR1) และในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเทที่ 2 (SBR2) สู่ถังปฏิกรณ์แบบเติมแหล่งคาร์บอนอย่างต่อเนื่อง (fed-batch reactor) FBR1 และ FBR2 ตามลำดับ และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน เช่นเดียวกันกับถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเท (SBR) โดยไม่มีการเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในระบบ ทำการเติมอากาศอย่างเต็มที่เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และป้อนกรดอะซิติก ที่มีความเข้มข้น 300 gCOD/L เป็นแหล่งอาหารอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนให้สูงอยู่ตลอดการทดสอบ ควบคุมอัตราการป้อนกรดอะซิติกด้วยค่า pH ซึ่งค่า pH ควบคุมด้วยเครื่อง pH controller แบบอัตโนมัติ โดยจะเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 24, 32, และ 48 ของการเดินระบบ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณพีเอชเอ

การวิเคราะห์ปริมาณพีเอชเอ

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณพีเอชเอ วิเคราะห์ตามวิธีของ Woraittinun and Suwannasilp (2017) [8] โดยนำตะกอนตัวอย่าง 200 ml มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000xg เป็นระยะเวลา 10 นาที นำตะกอนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง และพักในเดซิเคเตอร์จนเย็นแล้วนำมาบดให้ละเอียด ชั่งตะกอน 20 mg (±2 mg) ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมคลอโรฟอร์ม 2 ml และสารละลาย Internal Standard ที่ความเข้มข้น 3% กรดซัลฟิวริกในเมทานอลที่มีกรดเบนโซอิก 2 g/l ปริมาตร 2 ml จากนั้นปิดฝาให้แน่นแล้วต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายคลอโรฟอร์มซึ่งอยู่ที่ชั้นล่างสุดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (Gas Chromatography with a Flame Ionization Detector, GC-FID) ยี่ห้อ Algilent Technologies โดยใช้แคปพิลลารีคอลัมน์ชนิด INNOWAX ขนาด 30 m ×0.32 ml×0.25 µm ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของ injector 250 °C (Isotermal) อุณหภูมิของ column 130 °C 6 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 150°C ด้วยอัตรา 5°C/min อุณหภูมิของ detector (FID) 250 °C (Isotermal) โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพาด้วยอัตราการไหล 2 ml/min ปริมาตรการฉีด 1 µl ต่อครั้ง ตามวิธีของ นฤมล, (2557) [9] ทำการวิเคราะห์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน โดยใช้สารมาตรฐานคือ Poly(3-hydroxybutyriate-co-3-hydroxyvalerate) ของบริษัท Sigma-Aldrich Co., Ltd

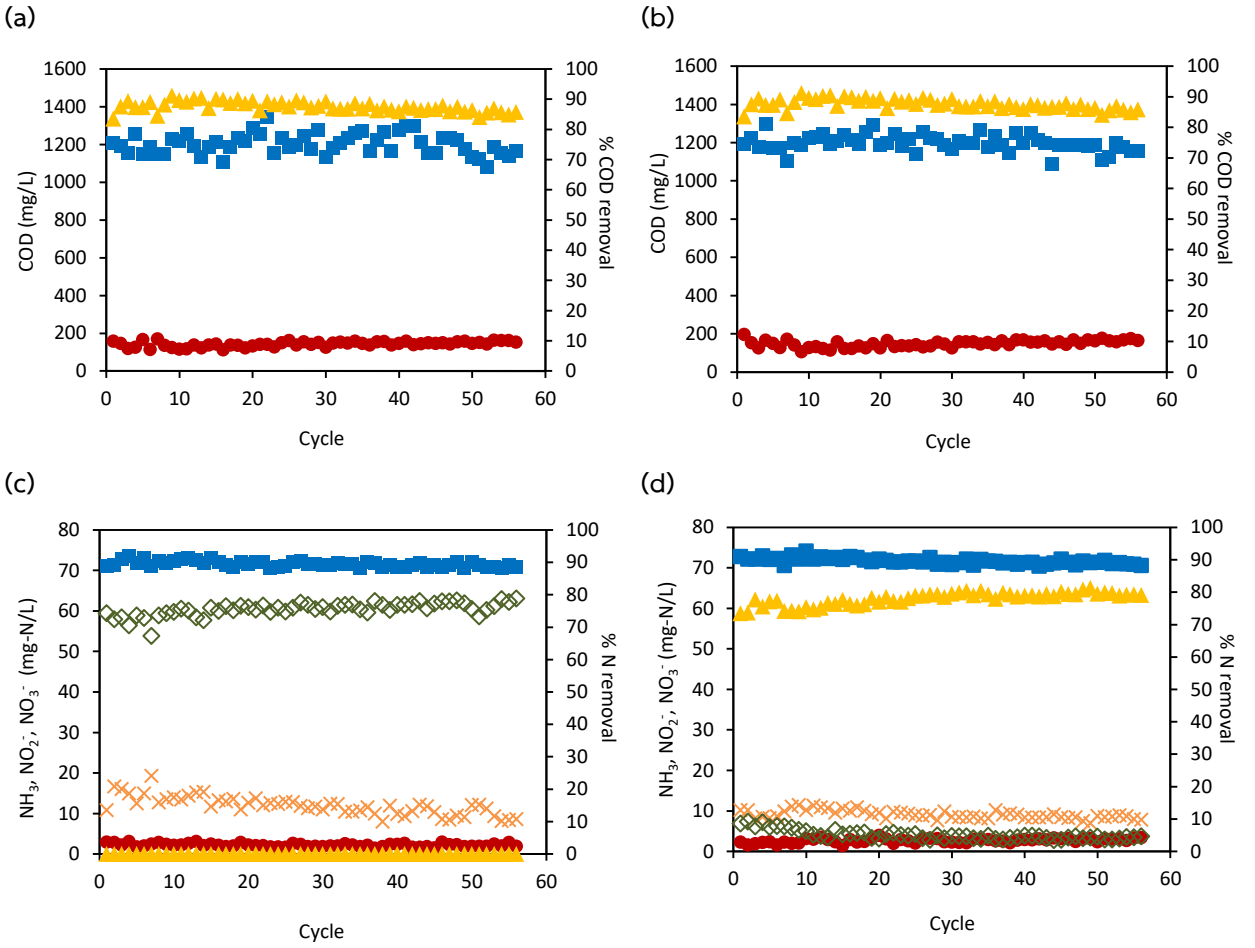
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการเดินระบบของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเท (sequencing batch reactor, SBR) ทั้ง 2 ถัง ภายใต้สภาวะการเติมอากาศตลอดเวลาทั้งช่วงที่มีอาหารเกินพอ และช่วงที่ขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/famine) และสภาวะการเติมอากาศเฉพาะช่วงอาหารเกินพอ และปล่อยให้เกิดสภาวะแอน็อกซิกในช่วงขาดแคลนอาหาร (aerobic feast/anoxic famine) พบว่าค่าพีเอชเริ่มต้นของการเดินระบบแต่ละรอบจะอยู่ที่ช่วง 7.15-7.20 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงสุดที่ท้ายรอบการเดินระบบ ซึ่งมีค่า 8.20–8.45 อุณหภูมิของระบบมีค่า 28–29°C ตลอดการทดลอง ค่า DO เริ่มต้นที่ช่วง 4.0-4.2 mg/l และมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงช่วง

8.15-8.25 mg/l ในถัง SBR1 เนื่องจากในช่วงต้นจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ สำหรับถัง SBR2 หลังชั่วโมงที่ 8 ค่า DO จะลดลง จากการหยุดเติมอากาศและเข้าสู่สภาวะแอนน็อกซิก ค่าดัชนีปริมาณตะกอน (Sludge Volume Index, SVI) ในถัง SBR 1 และSBR 2 มีค่า SVI อยู่ในช่วง 189.16±17.21 ml/g และ 209.53±15.74 ml/g ตามลำดับ

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ในรูป COD ของการเดินระบบชั่วโมงที่ 0 (เริ่มต้น) และ ชั่วโมงที่ 47.15 (สุดท้าย) ของถัง SBR1 และ SBR2 แสดงดัง Fig. 1(a) และFig. 1(b) ตามลำดับ โดยในระบบ SBR 1 และSBR 2 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์เฉลี่ยอยู่ที่ 88.1±1.3% และ 87.6±1.7% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ในระบบถัง SBR1 ซึ่งมีการเติมอากาศตลอดเวลาไม่มีการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด มีเพียงการเปลี่ยนรูปจาก NH_3-N เป็น NO_2^--N และ NO_3^--N แสดงดัง Fig. 1(c) ในขณะที่ SBR2 มีการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ที่ 77.98±1.95 %

จาก Fig. 2 ในถังปฏิกรณ์ SBR 1 (aerobic feast/famine) และ SBR 2 (aerobic feast/anoxic famine) มีการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ได้เกือบสมบูรณ์ที่ 8 ชั่วโมงแรก เช่นเดียวกัน ซึ่งถัง SBR1 สามารถสะสมพีเอชเอได้สูงสุด 10.04 %wt ในรอบการเดินระบบที่ 28 (Fig. 2(a)) และสำหรับในถังปฏิกรณ์ SBR2 (aerobic feast/anoxic famine) สามารถสะสมพีเอชเอได้สูงสุดที่ 8.37 %wt ในรอบการเดินระบบที่ 35 (Fig. 2(b)) ซึ่งมีปริมาณพีเอชเอสูงสุดใกล้เคียงกับถัง SBR1 นอกจากนี้ในทั้ง SBR 1 และ SBR 2 พบว่าค่าความเข้มข้นของ MLSS นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงชั่วโมงที่ 8 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องกับการใช้สารอินทรีย์และการสะสมพีเอชเอซึ่งมีการสะสมสูงสุดในชั่วโมงที่ 6-8



(a),(b); ■ COD (beginning), ● COD (end), ▲ %COD removal

(c),(d); ■ NH_3-N (beginning), ● NH_3-N (end), × NO_2^--N (end), ◆ NO_3^--N (end), ▲ %N removal efficiency

Figure 1 (a); COD removal under aerobic feast/famine condition, (b); COD removal under aerobic feast/anoxic famine condition, (c); N removal under aerobic feast/famine condition, (d); N removal under aerobic feast/anoxic famine condition

จากนั้นความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์จึงมีแนวโน้มลดลงในช่วงสภาวะขาดแคลนอาหาร สอดคล้องกับปริมาณพีเอชเอที่ลดลงจากการดึงออกมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sruamsiri et al. (2020) [3] และ Jantharadej et al. (2024) [4] ซึ่งใช้อะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอนและดำเนินการในสภาวะที่มีอาหารเกินพอสลับกับขาดแคลนเช่นกัน

นอกจากนี้ในช่วงสภาวะอาหารเกินพอซึ่งมีการเติมอากาศ (aerobic feast) ในทั้งสองถังนั้น ยังเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นควบคู่ไปด้วยภายในถัง โดยเปลี่ยนไนโตรเจนจาก NH_3 เป็น NO_3^- แสดงดัง Fig. 3(a) และ Fig. 3(c) สำหรับ SBR1 และ Fig. 3(b) และ Fig. 3(d) สำหรับ SBR2 ตามลำดับ ทั้งนี้หากสังเกตไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ จะพบว่ามีการเกิด NO_2^- สะสมในระบบด้วยในทั้งสองถัง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดไนตริฟิเคชั่นบางส่วน (partial nitrification) ร่วมด้วยในระบบดังกล่าว

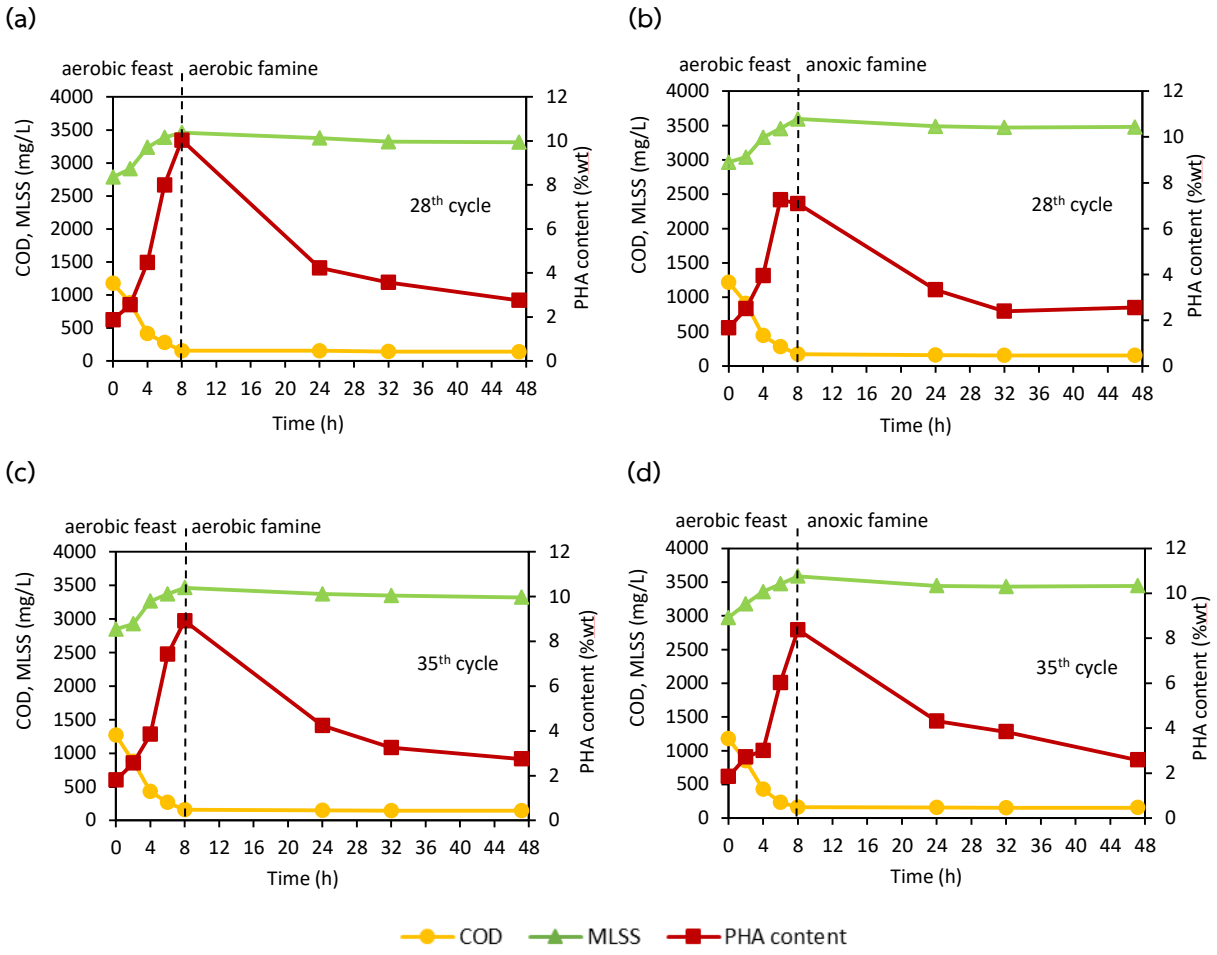


Figure 2 (a),(c); COD, MLSS, PHA content at 28th cycle and 35th cycle under aerobic feast/famine condition, (b),(d); COD, MLSS, PHA content at 28th cycle and 35th cycle under aerobic feast/anoxic famine condition

สำหรับช่วงขาดแคลนอาหารในถัง SBR1 ซึ่งยังคงมีการเติมอากาศอยู่นั้น (aerobic famine) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนเพิ่มเติม ส่งผลให้ค่า NH_3 NO_2^- และ NO_3^- มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งแตกต่างจากช่วงขาดแคลนอาหารแบบแอน็อกซิก (anoxic famine) ในถัง SBR2 ซึ่งเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นส่งผลให้ความเข้มข้น NO_3^- ลดลงอย่างเห็นได้ชัดใน Fig. 3(b) และ Fig. 3(d) ซึ่งคาดว่าเป็นการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันโดยใช้พีเอชเอที่สะสมภายในเซลล์เป็นแหล่งคาร์บอน เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ภายนอกในสภาวะขาดแคลนอาหาร (famine) นั้นมีความเข้มข้นต่ำมาก ทั้งนี้มีการตรวจพบ NO_2^- เพิ่มขึ้นในช่วยขาดแคลนอาหารแบบแอน็อกซิก ชี้ให้เห็นถึงการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นบางส่วนร่วมด้วย (partial denitrification) ต่อไปซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่คาดว่าก่อให้เกิดกระบวนการดังกล่าวในระบบ

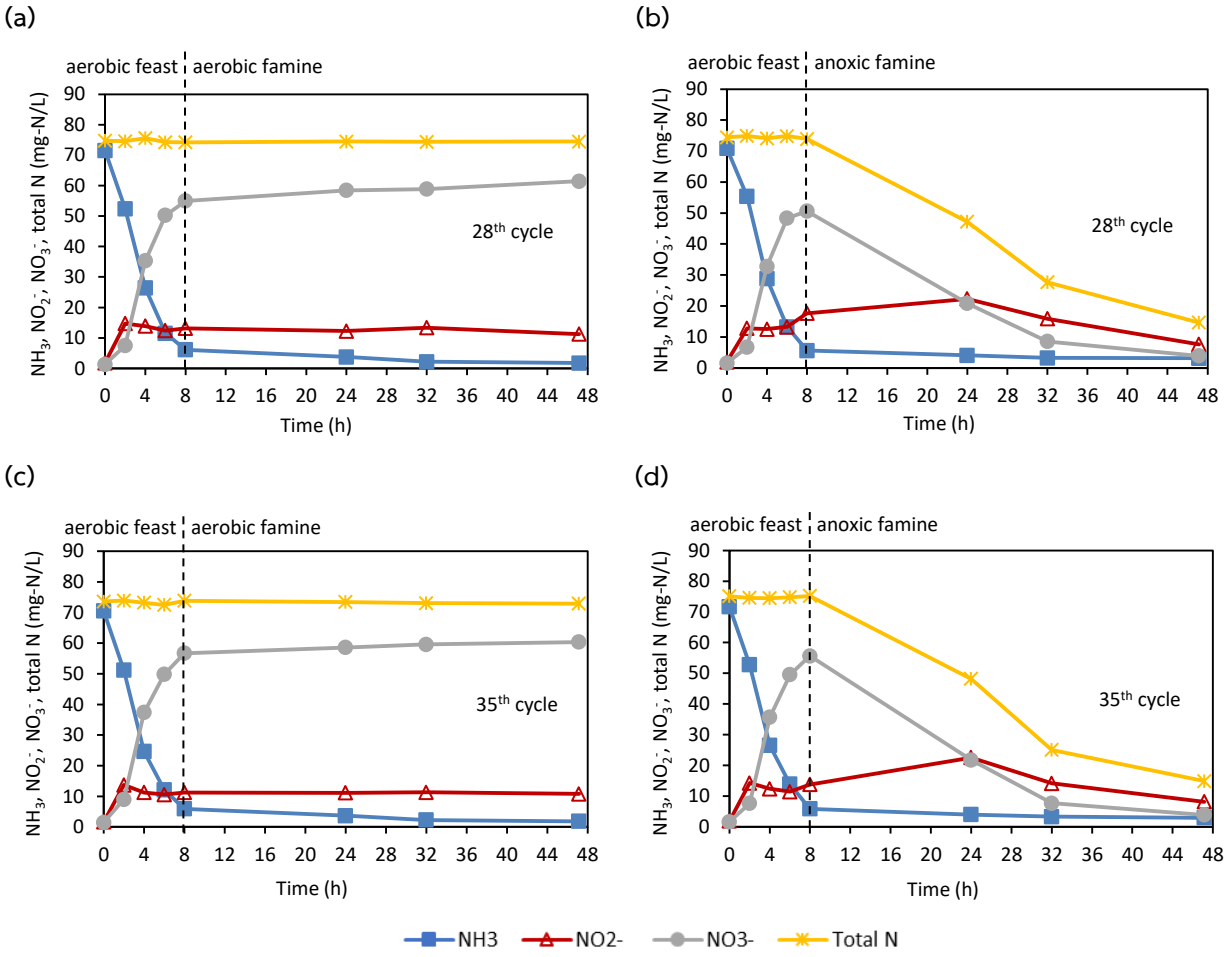


Figure 3 (a),(c); NH_3-N, NO_2^--N, NO_3^--N and total N concentrations at 28th cycle and 35th cycle under aerobic feast/famine condition, (b),(d); NH_3-N, NO_2^--N, NO_3^--N and total N concentrations at 28th cycle and 35th cycle under aerobic feast/anoxic famine condition

นอกจากนี้ ได้มีการทดลองความสามารถในการสะสมพีเอชสูงสุดของจุลินทรีย์ในระบบของถังปฏิกรณ์ SBR 1 และ SBR 2 ด้วยวิธีการทีละเทแบบเติมแหล่งคาร์บอนต่อเนื่อง (fed-batch reactor) ในรอบการเดินระบบที่ 49 พบว่าถังปฏิกรณ์ SBR1 และ SBR2 สามารถสะสมพีเอชเอได้สูงสุดที่ 28.5 %wt และ 23.7 %wt ตามลำดับ จากการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งเทภายใต้สภาวะมีอาหารเกินพอแบบเติมอากาศสลับกับสภาวะขาดแคลนอาหารแบบแอน็อกซิก (aerobic feast/anoxic famine) สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนควบคู่กับการผลิตพีเอชเอ

สรุป

จากการทดลองพบว่า ระบบการผลิตพีเอชเอแบบการใช้จุลินทรีย์เชื้อผสมร่วมกับการเติม *T. mechernichensis* TL1 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในระบบควบคู่กับการผลิตพีเอชเอได้ในคราวดียวกัน โดยปริมาณพีเอชเอที่ผลิตได้สูงสุดจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (aerobic feast and famine) และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (aerobic feast and anoxic famine) มีปริมาณใกล้เคียงกันทั้งในรอบการเดินระบบในถังแบบกึ่งเท (SBR) และรอบการเดินระบบทีละเทแบบเติมอาหารแบบต่อเนื่อง (fed-batch reactor) ซึ่งระบบสามารถสะสมพีเอชเอได้สูงสุดที่ 28.5 %wt และ 23.7 %wt ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ตามลำดับ โดยในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนร่วมด้วย ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชั่นภายใต้สภาวะมีอากาศ ต่อด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นภายใต้สภาวะแอน็อกซิก ผลจากงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาปรับปรุงระบบการผลิตพีเอชเอ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียได้จริง สำหรับการกำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ควบคู่กับไนโตรเจน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพสำหรับวิศวกรรมน้ำเสีย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้เขียนขอขอบพระคุณโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Anjum, Anbreen, Mohammad Zuber, Khalid Mahmood Zia, Aqdas Noreen, Muhammad Naveed Anjum, and Shazia Tabasum. 2016. 'Microbial production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) and its copolymers: a review of recent advancements', International journal of biological macromolecules, 89: 161-74.

[2] Dilkes-Hoffman, Leela, Peta Ashworth, Bronwyn Laycock, Steven Pratt, and Paul Lant. 2019. 'Public attitudes towards bioplastics–knowledge, perception and end-of-life management', Resources, Conservation and Recycling, 151: 104479.

[3] Sruamsiri, D., Thayanukul, P. and Suwannasilp, B. 2020. In situ identification of polyhydroxyalkanoate (PHA)-accumulating microorganisms in mixed microbial cultures under feast/famine conditions. Scientific Reports, 10, 3752.

[4] Jantharadej, Jaroensawat, Matanachai, Limpiyakorn, Tobino, Thayanukul, Suwannasilp. 2024. 'Bioaugmentation of Thauera mechernichensis TL1 for enhanced polyhydroxyalkanoate production in mixed microbial consortia for wastewater treatment', Science of the Total Environment 916 (2024) 170240.

[5] Rasita Raunhan, Krittayapong Jantharadej, Wuttichai Mhuantong, Suchada Chanprateep Napathorn, Benjaporn Boonchayaanant Suwannasilp. 2023. Valorization of food waste derived anaerobic digestate into polyhydroxyalkanoate (PHA) using Thauera mechernichensis TL1. Waste Management 171 (2023) 248–258

[6] American Public Health Association (APHA). 2003. Standard Method for the Examination of Water and Wastewaters, 21st ed. American Public Health Association. Washington DC, USA.

[7] Bower, C. E. and Holm-Hansen, T. 1980. A Salicylate–Hypochlorite Method for Determining Ammonia in Seawater. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(5), 794-798

[8] Woraittinun, N., Suwannasilp, B.B. 2017. Polyhydroxyalkanoate production from different carbon substrates using sludge from a wastewater treatment plant: Microbial communities, polymer compositions, and thermal characteristic. Environ. Prog. Sustain. Energy. 3: 1754–1764. doi.org/10.1002/ep.12645.

[9] นฤมล วรอิทธินันท์. 2557. ผลของแหล่งคาร์บอนต่อการผลิตโพลีไฮดรอกซีแอลคาโนเอตของจุลินทรีย์สายพันธุ์ผสมโดยการให้อาหารแบบเกินพอสลับกับขาดแคลน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

09R3-05

การออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน

Design and Development of Grease Traps for Household Wastewater

ณัษฐพงษ์ ธนวัฒชัยมงคล[1] อภิกฤษฎิ์ ตันสุดเจริญยิ่ง[1] อังศุธร งามประสิทธิ์[3] สุวัฒน์ชัย ประพาฬ[2] และ ศุภชัย ทิพย์ยอแล[2*]
Nattapong Thanawatchaimongkol[1] Apikit Tunsudjareonying[1] Angsuthorn Ngamprasit[3] Suwatchai Praparn[2] and Suphachai Thipyorlaeh[2*]
[1]นักเรียน ; [2*]อาจารย์ Gifted Program โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา 24000
[3]นิสิตภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10903
*โทรศัพท์ : +668-4147-7073, โทรสาร : 038-535-484, *E-mail : thipyorlaeh@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการซักล้างการปนเปื้อนคราบไขมันในครัวเรือนโดยใช้เส้นใยจากธรรมชาติเป็นวัสดุดูดซับ คือ เส้นใยผักตบชวา เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยดอกหญ้าขจรจบ จากการศึกษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ พบว่า เส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด คือ 152.32 องศา ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติทั้งสามชนิด พบว่า เส้นใยดอกหญ้าขจรจบดูดซับน้ำมันได้มากที่สุดเท่ากับ 48.0±0.50 กรัม เนื่องจากบนผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นเส้นขนเล็กๆ น้ำหนักเบา เมื่อศึกษาปริมาณการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันของหมอนที่บรรจุเส้นใยธรรมชาติในอัตราส่วน 1:1:1 ปริมาณ 3, 6, 9 และ 12 กรัม พบว่า ปริมาณอิมัลชันที่ดูดซับได้จะเพิ่มขึ้นมากสุดที่เวลา 10 นาที ขณะที่ปริมาณ 3 และ 6 กรัม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำหมอนบรรจุเส้นใยธรรมชาติปริมาณ 6 กรัม มาศึกษาความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพการดูดซับอิมัลชัน พบว่า ที่เวลา 1 นาที หมอนเส้นใยธรรมชาติที่มีความหนาแน่น 750 มก/ลบ.ซม. มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันดีที่สุดคือ 68.94% เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีการคายน้ำมันที่ดูดซับไว้ออกมาอันเนื่องจากอุณหภูมิและแรงที่เข้ามากระทำต่อเส้นใย ขณะที่หมอนเส้นใยธรรมชาติที่มีความหนาแน่น 46 มก/ลบ.ซม. มีประสิทธิภาพการดูดซับอิมัลชันเพิ่มขึ้นและที่เวลา 15 นาที ประสิทธิภาพจะสูงสุดอยู่ที่ 82.21% จากการออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันที่มีเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน พบว่าลักษณะของน้ำหลังการบำบัดจะมีความขุ่นและบริเวณผิวน้ำพบปริมาณคราบไขมันและน้ำมันในปริมาณที่น้อยลง ค่าดีโอของน้ำหลังการบำบัดจะอยู่ที่ 3.36±0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานการบำบัดน้ำเสีย ค่าบีโอดีของน้ำหลังการบำบัดจะมีค่า 0.53±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของน้ำหลังบำบัดจะอยู่ที่ 6.62±0.05 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำเสีย และมีค่าความขุ่นของน้ำลดลงอยู่ในมาตรฐานทั่วไป

คำสำคัญ : อิมัลชัน; เส้นใยธรรมชาติ; ไฮโดรโฟบิก; การดูดซับอิมัลชัน; การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This research designed and developed a grease trap for wastewater to help treat wastewater contaminated with grease stains from household dishwashing, using natural fibers as absorbent materials: water hyacinth fibers, sugarcane fibers, and mission grass fibers. From the study of the hydrophobic properties on the surface of natural fibers, it was found that mission grass fibers had the highest contact angle of 152.32 degrees. The oil absorption capacity of 5 grams of natural fibers showed that mission grass fibers absorbed the most oil at 48.0 ± 0.50 grams due to the presence of small hair-like structures on the fiber surface and their lightweight nature. When studying the adsorption capacity of oil emulsions by pads containing natural

fibers in the ratio of 1:1:1 with amounts of 3, 6, 9, and 12 grams, it was found that the emulsion adsorption capacity increased maximally at 10 minutes. While the amounts of 3 and 6 grams showed a continuous increasing trend, when studying the density effect on the emulsion adsorption efficiency of pads containing 6 grams of natural fibers, it was found that at 1 minute, the natural fiber pad with a density of 750 mg/cm^3 had the best oil emulsion removal efficiency of 68.94%. As time passed, the efficiency decreased due to the natural fibers releasing the adsorbed oil, which was influenced by temperature and forces acting on the fibers. Meanwhile, the natural fiber pad with a density of 46 mg/cm^3 showed an increasing emulsion adsorption efficiency, reaching a maximum of 82.21% at 15 minutes. From the design and development of the grease trap using natural fibers as oil absorbent materials, it was found that the treated water appeared turbid, with less grease and oil on the surface. The DO value of the treated water was 3.36±0.15 mg/L, which is close to the wastewater treatment standard. The BOD value of the treated water was 0.53±0.03 mg/L, which did not exceed the standard of 2.0 mg/L. The pH value of the treated water was 6.62±0.05, which met the wastewater standard, and the turbidity of the water was reduced to a general standard.

Keywords : Emulsion; Natural fibers; Hydrophobicity; Emulsion absorption; Wastewater treatment

บทนำ

ปัจจุบันยังพบบ้านเรือนในพื้นที่หมู่ที่ 11 ตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ตั้งอยู่ริมคลองท่าไข่ซึ่งมีการปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการประกอบอาหารและการซักล้างต่างๆ ลงสู่คลองท่าไข่ส่งผลต่อระบบนิเวศในน้ำและเกิดปัญหาน้ำเสียซึ่งมีการไหลผ่านประตูระบายน้ำท่าไข่และปล่อยน้ำลงสู่แม่น้ำบางปะกง [1] เมื่อพิจารณามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของคลองท่าไข่ 2 สถานี คือ บริเวณชุมชนประตูน้ำท่าไข่และบริเวณสะพานวรรณยิ่งตรงข้ามโรงแรมมิตรสัมพันธ์พบว่าสามารถเทียบเคียงมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทที่ 3 จัดเป็นน้ำที่ได้จากการเกษตร การอุปโภคและบริโภคซึ่งต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนการนำไปใช้ [2] ในขณะที่อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยในพื้นที่ชุนชนตำบลท่าไข่อำเภอเมืองฉะเชิงเทราอยู่ที่ 234 ลิตรต่อคนต่อวัน เกิดเป็นน้ำเสีย 187 ลิตรต่อคนต่อวัน ภาวะมลพิษทางน้ำในแหล่งกำเนิดประเภทชุมชนในตำบลท่าไข่อยู่ที่ 107.29 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำเสียในพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองฉะเชิงเทราพบว่ามีการปล่อยน้ำเสียอยู่ที่ 26,647.69 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่น้ำเสียที่ถูกรวมเข้าระบบบำบัดน้ำเสียมีเพียง 17,123.87 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แสดงให้เห็นว่ายังมีปริมาณน้ำเสียส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดและบางครัวเรือนมีการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์และอนินทรีย์ สารพิษต่างๆ ลงสู่พื้นที่ดินและพื้นที่เพาะปลูกส่งผลทำให้เกิดสารตกค้างในดินอาจจะส่งผลต่อน้ำ ดิน และพืชต่างๆ ในอนาคต [3] ในขณะที่น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ซึ่งมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำมัน เป็นต้น [4] หากปล่อยลงสู่คลองและแหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้น้ำมันเกิดการกระจายตัวในรูปอิมัลชันโดยปกติน้ำและน้ำมันจะไม่เกิดการรวมตัวกันแต่เมื่อมีสารลดแรงตึงผิว เรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ผสมรวมจะทำให้น้ำและน้ำมันเกิดการรวมตัวกันเป็นสารเนื้อเดียวกัน [5, 6] ซึ่งสามารถกระจายลงในน้ำได้และเกิดเป็นปัญหาน้ำเสียสะสมในพื้นที่เป็นระยะยาว

ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในชุมชนริมคลองท่าไข่ยังไม่ได้รับการจัดการและแก้ไขอย่างจริงจังส่งผลให้น้ำมันบางส่วนไม่ลอยขึ้นมาบนผิวน้ำและยากต่อการกำจัดอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของน้ำในคลอง ซึ่งปกติคนส่วนใหญ่จะเห็นเพียงคราบน้ำมันบนผิวน้ำในขณะที่น้ำมันที่อยู่ในน้ำที่เรียกว่า น้ำมันในรูปอิมัลชันที่ไม่สามารถมองเห็นได้ [7] ดังนั้นการนำวัสดุธรรมชาติที่สามารถพบได้ในพื้นที่ตำบลท่าไข่ จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้แก่ ผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติและสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วส่งผลเสียต่อระบบนิเวศภายในน้ำเนื่องจากบดบังแสงแดดที่ลงไปในน้ำ [8] ชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล [9] และดอกหญ้าขจรจบ [10] มาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันในลักษณะที่เป็นแผ่นกรองสำหรับใช้ในการแยกน้ำมันในน้ำเสียในครัวเรือน โดยใช้กระบวนการแยกคราบไขมันและน้ำมันในรูปอิมัลชันออกจากน้ำที่ผ่านการซักล้างภาชนะที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือชำระล้างคราบสกปรกต่างๆ สามารถใช้ถังดักไขมันเพื่อติดตั้งใต้ซิงค์ล้างจานเพื่อกรองและแยกคราบไขมันในน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือนโดยใช้เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ ผักตบชวา ชานอ้อย และดอกหญ้าขจรจบ เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันและคราบไขมันในการบำบัดน้ำเสียโดยนำวัสดุ

ดูดซับไปติดตั้งภายในระบบถังดักไขมัน เพื่อนำถังดักไขมันไปติดตั้งภายในครัวเรือนก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลดปัญหาน้ำเสียและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำให้เกิดความยั่งยืนโดยดำเนินการผ่านโครงการส่งเสริมการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันบริเวณริมคลองประตูระบายน้ำท่าไข่ ระยะที่ 2 ร่วมกับชุมชนหมู่ที่ 11 ตำบลท่าไข่ กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม องค์การบริหารส่วนตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา และสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (อีอีซี) และเป็นการพัฒนาต่อยอดจากการวิจัยของ อังศุธร งามประสิทธิ์ และคณะ (2566) รวมถึงต่อยอดโครงการส่งเสริมการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันบริเวณริมคลองประตูระบายน้ำท่าไข่ร่วมกับชุมชนหมู่ที่ 16 ตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา สู่การพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ยั่งยืนต่อไป [11] ซึ่งได้นำข้อจำกัดของกระบวนการศึกษาและการออกแบบพัฒนาถังกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันมาปรับปรุงและต่อยอดให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้นรวมถึงให้มีพร้อมของงานวิจัยสู่การต่อยอดเชิงพาณิชย์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ

นำเส้นใยธรรมชาติ คือ เส้นใยผักตบชวา เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยดอกหญ้าขจรจบ ตามลำดับ มาอัดให้เป็นแผ่นบางความหนาขนาด 0.5 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดขนาด 5x5 เซนติเมตร จากนั้นหยดน้ำและน้ำมันพืชด้วยดรอปเปอร์ลงไปบนพื้นผิวของเส้นใยที่เตรียมไว้แต่ละชนิดจำนวน 1 หยด ที่อุณหภูมิห้อง ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องมือถือสมาร์ทโฟน (รุ่น iPhone 12 Promax) โดยใช้ CU Smart Lens กำลังขยาย 20X ในการขยายภาพเพื่อวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (Contact Angle) บนพื้นผิวของแผ่นดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธี LB-ADSA ในโปรแกรม ImageJ Software

2. การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ

เตรียมเส้นใยธรรมชาติด้วยการทำให้แห้งทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการเดียวกันจากข้อ 1. จากนั้นนำแผ่นดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติไปตัดบริเวณด้านตัดขวางของตัวอย่างแผ่นดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติและใช้ Digital Microscope เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ

3. การศึกษาการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติ

เตรียมตัวอย่างเส้นใยธรรมชาติ คือ เส้นใยผักตบชวา เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยดอกหญ้าขจรจบ ตามลำดับ ด้วยการชั่งมวลในปริมาณ 5 กรัม และเตรียมน้ำและน้ำมันพืชในปริมาณ 600 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำเส้นใยที่เตรียมไว้ไปจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำและบีกเกอร์ที่มีน้ำมันพืชโดยให้สัมผัสกับพื้นผิวมากที่สุด พร้อมกับการจับเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำเส้นใยที่ผ่านการทดสอบแล้วไปวางทิ้งไว้บนตะแกรงอลูมิเนียมขนาด 20 Mesh จากนั้นชั่งหามวลของเส้นใยธรรมชาติหลังจากการดูดซับน้ำและน้ำมัน เพื่อหาปริมาณการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติ

4. การศึกษาความสามารถในการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันของเส้นใยธรรมชาติ

เตรียมอิมัลชันในอัตราส่วนของน้ำ 7 ลิตร น้ำมันพืช 5 มิลลิลิตร และน้ำยาล้างจาน 14 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงไปในโหลแก้วและผสมให้เป็นสารประกอบอิมัลชันเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับอิมัลชันของเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด คือ เส้นใยผักตบชวา เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยดอกหญ้าขจรจบ โดยใช้อัตราส่วน 1:1:1 ในปริมาณ 3, 6, 9 และ 12 กรัม ตามลำดับ โดยเตรียมเส้นใยธรรมชาติในลักษณะเป็นหมอนตาข่ายไนลอนเส้นใยธรรมชาติขนาด 17 x 36 เซนติเมตร จากนั้นทำการจำลองการไหลผ่านของน้ำโดยการเป่าฟองอากาศลงไปด้วยปั๊มลมกำลัง 2,800 ลิตรต่อชั่วโมง ผ่านหัวทรายกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับอิมัลชันของหมอนเส้นใยธรรมชาติที่เวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ [11] นำหมอนเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการดูดซับอิมัลชันแล้วไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณอิมัลชันที่ดูดซับได้ โดยการนำเส้นใยธรรมชาติมาใส่ในหมอนที่ใช้ศึกษาจากนั้นนำไปชั่งหามวลเส้นใยธรรมชาติก่อนดูดซับอิมัลชัน แล้วจึงนำไปทดสอบการดูดซับในอิมัลชันที่เตรียมไว้ จากนั้นนำเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการดูดซับอิมัลชันแล้วมาชั่งหามวลของเส้นใยธรรมชาติหลังจากการดูดซับ โดยปริมาณการดูดซับอิมัลชันที่ได้ของเส้นใยธรรมชาติ

5. การศึกษาผลของความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชัน

เตรียมอิมัลชันและเส้นใยธรรมชาติตามวิธีการข้อที่ 4 เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันโดยใช้หมอนเส้นใยธรรมชาติทั้งสามชนิดในอัตราส่วน 1:1:1 โดยใช้เส้นใยธรรมชาติปริมาณ 6 กรัม เพื่อบรรจุภายในหมอนตาข่ายปริมาตร 8 ± 0.13, 32 ± 0.26, 64 ± 0.32, 128 ± 0.43 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เพื่อหาความหนาแน่นของหมอนเส้นใยธรรมชาติในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชัน จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันของเส้นใยธรรมชาติ

6. ออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน

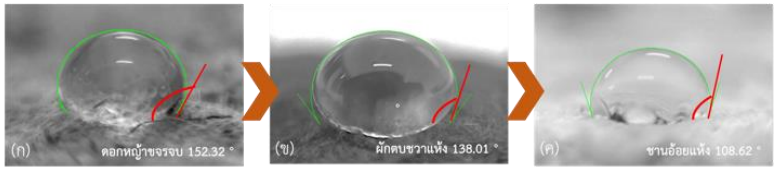
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของถังไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน

การออกแบบและพัฒนาถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือนปริมาตร 40x58.5x30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1 (a) วาล์วน้ำเสียสำหรับการนำไปติดตั้งบริเวณใต้ซิงค์ล้างจาน (b) ตะแกรงกรองเศษอาหาร จากนั้นไขมันบนผิวน้ำจะถูกดักด้วยแผ่นอะคริลิคที่อยู่เหนือน้ำ (c) ตะแกรงสำหรับใส่หมอนตาข่ายเส้นใยธรรมชาติเพื่อเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน (d) วาล์วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว (e) กล่องระบบเซนเซอร์แสดงผลและแจ้งเตือนค่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดและ (f) เซนเซอร์วัดค่าความขุ่นของน้ำทั้งก่อนและหลังการบำบัดผ่านหมอนเส้นใยธรรมชาติเพื่อวัดประสิทธิภาพต่อการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้น้ำเสียจากกลุ่มตัวอย่างในชุนชมริมคลองท่าไข่ จำนวน 3 ครัวเรือน เพื่อวัดคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดผ่านถังที่ได้พัฒนาขึ้นด้วย DO meter (รุ่น OHAUS ST400D-G), pH meter (รุ่น OHAUS ST20), เซนเซอร์วัดความขุ่น (Turbidity Sensor) และหาค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำต่อพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ

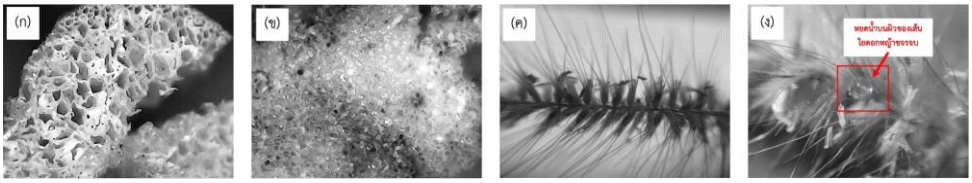
จากการศึกษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำต่อพื้นผิวของแผ่นดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติทั้งสามชนิดดังรูปที่ 2 พบว่า เส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและจากการศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของแผ่นดูดซับของเส้นใยดอกหญ้าขจรจบแสดงค่ามุมสัมผัสมากที่สุดอยู่ที่ 152.32 องศา แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิกที่ดีกว่า เนื่องจากเส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีลักษณะเส้นขนเล็กเป็นจำนวนมาก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตร [13] ในขณะที่แผ่นดูดซับจากเส้นใยผักตบชวาแห้งมีค่ามุมสัมผัสอยู่ที่ 138.01 องศา เนื่องจากมีลักษณะผิวที่ขรุขระจึงมีพื้นที่ผิวสูง รวมถึงยังมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนถึงร้อยละ 64.47 [9] และเส้นใยชานอ้อยแห้งมีค่ามุมสัมผัสอยู่ที่ 108.62 องศา ซึ่งมีโพรงหรือรูพรุนที่น้อยกว่า เนื่องจากเส้นใยดอกหญ้าขจรจบนั้นมีลักษณะผิวที่มีความขรุขระมากที่สุด รองลงมาคือ ผักตบชวาแห้งและชานอ้อย ซึ่งความขรุขระบนพื้นผิวนั้นจะส่งผลต่อความไม่ชอบน้ำซึ่งมีความสอดคล้องกับ สมการของยังค์ (Young's Equation) [23] โดยผิวของเส้นใยดอกหญ้าขจรจบนั้นมีเป็นลักษณะการสัมผัสแบบของ Cassie-Baxter ที่ของเหลวจะสัมผัสเพียงแค่จุดสูงสุดบนของความขรุขระของพื้นผิว ส่วนช่องว่างระหว่างความขรุขระที่อยู่ด้านล่างจะมีเพียงอากาศเท่านั้น ดังนั้นการสัมผัสกันในลักษณะนี้สามารถอธิบายด้วยตัวแปรของพื้นผิวที่สัมผัสกับของเหลวโดยตรงตามสมการของ Cassie-Baxter's model [24] แสดงดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของ (ก) เส้นใยดอกหญ้าขจรจบ, (ข) เส้นใยผักตบชวา, (ค) เส้นใยชานอ้อย

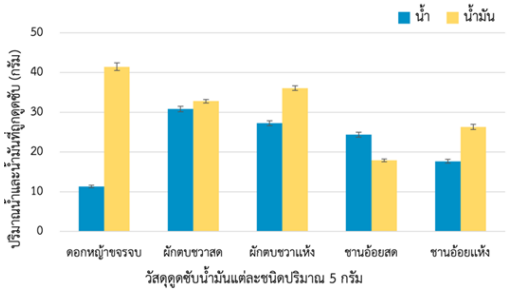
2. ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นดูดซับจากเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ด้วยการตัดบริเวณ cross-section ของเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยชานอ้อย ดังรูปที่ 3 พบว่า เส้นใยผักตบชวามีขนาดของรูพรุนหรือโพรงที่กว้างกว่าเส้นใยชานอ้อย [12] ในขณะเดียวกันนั้นเส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีเส้นใยขนาดเล็กที่แตกแขนงออกมาจากเส้นใยหลักจำนวนมาก [13]

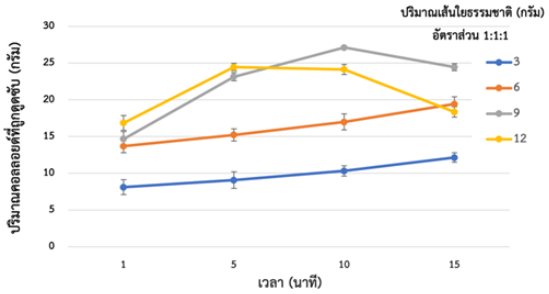


รูปที่ 3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ (ก) เส้นใยผักตบชวาแห้ง (ข) เส้นใยชานอ้อยแห้ง (ค) เส้นใยดอกหญ้าขจรจบ และ (ง) หยดน้ำบนเส้นใยดอกหญ้าขจรจบ

3. ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติ



รูปที่ 4 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของเส้นใยธรรมชาติ



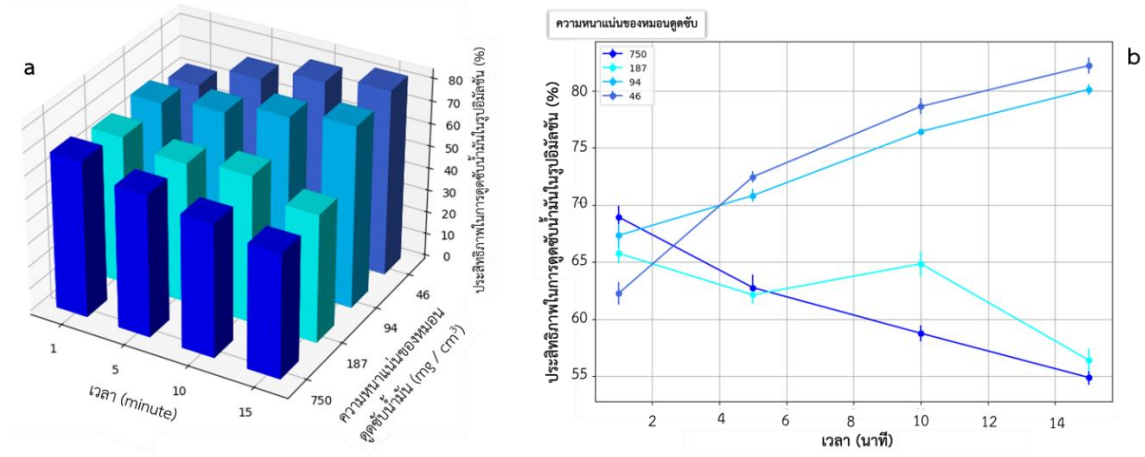
รูปที่ 5 แสดงความสามารถในการดูดซับอิมัลชันของหมอนที่บรรจุเส้นใยธรรมชาติทั้งสามชนิดในอัตราส่วน 1:1:1

การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันด้วยเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณ 5 กรัม พบว่า เส้นใยดอกหญ้าขจรจบสามารถดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด คือ 41.46 $\pm$ 0.96 กรัม ดังรูปที่ 4 เนื่องจากเส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีน้ำหนักที่เบามากส่งผลให้สัมผัสกับน้ำมันที่อยู่บนผิวน้ำได้ดีในขณะเดียวกันช่องว่างระหว่างเส้นขนเล็กๆ นั้นมีการดูดซับน้ำมันได้ดี [13] ในขณะที่เส้นใยผักตบชวาแห้งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดีเพราะมีรูพรุนกว้าง ดังรูปที่ 3 (ก) ส่งผลให้มีระยะสัมผัสกับน้ำมันมากจึงสามารถดูดซับน้ำมันได้ดี และเส้นใยที่แห้งทั้งผักตบชวาและชานอ้อยดูดซับน้ำมันได้ดีขึ้นเป็นเพราะภายในโพรงหรือรูพรุนนั้นไม่มีโมเลกุลของน้ำอยู่จึงทำให้มีพื้นที่ผิวมาสัมผัสกับน้ำมันได้ดีขึ้นและแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยลง [14]

4. ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชัน

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับอิมัลชันของหมอนเส้นใยธรรมชาติเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับอิมัลชัน ดังรูปที่ 5 พบว่า ที่ระยะเวลา 10 นาที หมอนที่ใส่เส้นใยธรรมชาติปริมาณ 9 กรัม ดูดซับอิมัลชันได้มากที่สุดถึง 27.11 กรัม ซึ่งมากกว่าหมอนเส้นใยธรรมชาติปริมาณ 12 กรัม ที่ดูดซับอิมัลชันเพียง 24.13 กรัม แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเส้นใยธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันได้มากขึ้น หากพิจารณาความสามารถในการดูดซับอิมัลชันจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาหลังจาก 10 นาทีขึ้นไป พบว่า หมอนเส้นใยธรรมชาติในปริมาณ 3 และ 6 กรัม ตามลำดับ จะมีแนวโน้มที่ดูดซับอิมัลชันได้มากขึ้น และหลังจากทำการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับอิมัลชันของเส้นใยธรรมชาติจะเห็นว่าปริมาณอิมัลชันที่ได้จากการดูดซับจะลดลง เนื่องจากในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและผิวสัมผัสของหมอนเส้นใยที่สัมผัสกับผิวน้ำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธิดา วิเชียรเพชร และชลธิดา นุ่มหอม (2546) [15]

5. ผลการศึกษาความหนาแน่นของเส้นใยธรรมชาติต่อประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชัน

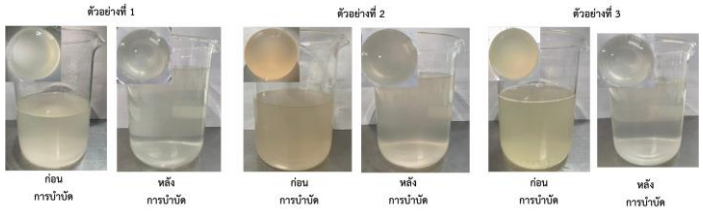


รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชัน

ผลความหนาแน่นของหมอนเส้นใยธรรมชาติต่อประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันดังรูปที่ 6 (a) พบว่า ความหนาแน่นของหมอนดูดซับที่ใส่เส้นใยธรรมชาตินั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันในน้ำเสีย โดยที่เวลา 1 นาที หมอนดูดซับที่มีความหนาแน่น 94, 187 และ750 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันที่ดีคือ 67.34, 65.76 และ 68.94% ตามลำดับ เมื่อเวลาดำเนินไปพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันจะลดลง เนื่องจากยิ่งมีความหนาแน่นมากจะส่งผลให้มีน้ำหนักเส้นใยอยู่กันเป็นก้อนมากกว่าซึ่งจะทำให้พื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำมันน้อยลง ในขณะเดียวกันหมอนดูดซับที่มีความหนาแน่น 46 และ 94 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่เวลา 15 นาที มีประสิทธิภาพมากถึง 82.21 และ 80.12% ตามลำดับ เนื่องจากความหนาแน่นที่ต่ำส่งผลทำให้ภายในของหมอนดูดซับมีช่องว่างหรือโพรงจำนวนมากจะส่งผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมันได้มากขึ้นในขณะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลา 15 นาที จะพบว่า หมอนดูดซับที่มีความหนาแน่นจากน้อยที่สุดคือ 46 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันในรูปอิมัลชันมากสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 6 (b) [14, 16]

6. คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน

เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียศึกษาลักษณะทางกายภาพของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ดังรูปที่ 7 พบว่า กลิ่นและอุณหภูมิของน้ำยังปกติทั้งก่อนและหลังการบำบัด ในขณะที่ลักษณะของน้ำหลังการบำบัดจะมีความขุ่นและบริเวณผิวน้ำพบปริมาณคราบไขมันและน้ำมันในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำก่อนการบำบัดผ่านถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน



รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางกายภาพของน้ำก่อนและหลังการบำบัดผ่านถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน

ในขณะที่ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้ง 3 ตัวอย่าง ผ่านถังดักไขมันที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 1 พบว่า ค่า DO ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.59-2.72 mg/L และหลังการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 3.17-3.59 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังการบำบัดผ่านถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือนจะทำให้คุณภาพของน้ำมีปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่า DO สูงขึ้น โดยค่า DO เฉลี่ยของน้ำหลังการบำบัดจะเพิ่มสูงขึ้นอยู่ที่ 3.36±0.15 mg/L เนื่องจากการบำบัดช่วยกรองน้ำเน่าเสียทำให้น้ำสะอาดและมีออกซิเจนมากขึ้นโดยเป็นปริมาณออกซิเจนที่มีค่าสูงกว่า 3 mg/L แสดงว่าพืชน้ำและสัตว์น้ำสามารถอยู่ได้โดยไม่เกิดอันตราย [14, 15] ค่า BOD ของตัวอย่างน้ำก่อนการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.77- 0.86 mg/L และหลังการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.50 - 0.58 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังการบำบัดค่า BOD ลดลง โดยค่า BOD เฉลี่ยของน้ำหลังการบำบัดมีค่าลดลงอยู่ที่ 0.53±0.03 mg/L ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินเทียบเคียงประเภทที่ 3 ไม่เกิน 2.0 mg/L เนื่องจากการบำบัดน้ำเน่าเสียจะทำให้จุลินทรีย์เกิดกระบวนการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นส่งผลทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำมีปริมาณลดลง [20]

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำหลังจากผ่านถังบำบัด

คุณภาพน้ำทดสอบผ่านถังบำบัด	ค่าเฉลี่ยก่อนการบำบัด	ค่าเฉลี่ยหลังการบำบัด
ค่าดีโอ (mg/L)	2.64±0.86	3.36±0.15
ค่าบีโอดี (mg/L)	0.81±0.03	0.53±0.03
ค่าพีเอช (pH)	6.78±0.07	6.62±0.05
ค่าความขุ่น (NTU)	17.33±0.12	13.88±0.24

ค่า pH ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.56-6.82 และหลังการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.50-6.62 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า pH เฉลี่ยหลังการบำบัดมีค่าที่ลดลงเล็กน้อยซึ่งไม่ได้แตกต่างจากเดิมมาก โดยระดับค่า pH ที่อยู่ในช่วง 6-9 เป็นค่าที่สิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถใช้ชีวิตอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตรายและสามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ [18, 21] ค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 5.85-19.45 และหลังการบำบัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 5.43-15.20 NTU ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นเฉลี่ยหลังการบำบัดมีค่าที่ลดลงเล็กน้อยซึ่งไม่ได้แตกต่างจากเดิมมาก โดยระดับค่าความขุ่นยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [19]

ดังนั้นค่า DO หลังการบำบัดจะมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นก่อนบำบัด เพราะมีปริมาณน้ำมันและไขมันบนผิวน้ำที่ลดลง [16,17] ค่า BOD ของน้ำหลังบำบัดมีค่าเฉลี่ยลดลงซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินเทียบเคียงประเภทที่ 3 ไม่เกิน 2.0 mg/L [19] ขณะที่ค่า pH เฉลี่ยหลังบำบัดลดลงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสีย [18, 19] บ่งบอกถึงปริมาณของจุลินทรีย์ในน้ำเสียที่อาศัยอยู่ได้ดี อีกทั้งค่าความขุ่นหลังการบำบัดจะมีค่าเฉลี่ยลดลง เพราะน้ำมันในรูปอิมัลชันรวมถึงไขมันมีปริมาณลดลง ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยความขุ่นลดลงซึ่งยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ คือควรต่ำกว่า 20 NTU [22]

สรุปผล

เส้นใยดอกหญ้าขจรจบมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากที่สุดและเส้นใยผักตบชวาแห้งนั้นมีรูพรุนกว้างกว่าเส้นใยชานอ้อยแห้งส่งผลให้ดูดซับน้ำมันได้ดีกว่า อีกทั้งเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดยังแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่เป็น Hydrophobic ซึ่งเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการแยกน้ำมันที่เกิดการกระจายตัวภายในน้ำหรือน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชัน เมื่อนำหมอนที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากมาใช้กับถังดักไขมันในน้ำเสียเพื่อใช้ในครัวเรือน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันในน้ำเสียจากการล้างภาชนะที่ปนเปื้อนคราบไขมันและสารอินทรีย์ซึ่งผลการวัดคุณภาพของน้ำจากครัวเรือนในพื้นที่ตำบลท่าไข่ จังหวัดฉะเชิงเทราผ่านถังดักไขมันที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่า DO BOD pH และความขุ่นมีค่าคุณภาพของน้ำหลังการบำบัดที่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานที่พืชน้ำและสัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้โดยไม่เกิดอันตราย ซึ่งเห็นได้ว่าการเป่าออกซิเจนลงไปในน้ำทำให้มีค่า DO เพิ่มขึ้น ค่า BOD ที่ลดลงและค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย รวมถึงน้ำที่ผ่านการบำบัดผ่านถังดักไขมันมีค่าความขุ่นที่ลดลงสามารถบ่งบอกถึงความใสของน้ำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการดำเนินโครงการจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.) หรืออีอีซี (EEC) และขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชุมชนหมู่ที่ 11 ตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา และกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม องค์การบริหารส่วนตำบลท่าไข่ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13. 2561. โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (แม่น้ำและคลองสาขา) พื้นที่ภาคตะวันออก ปี 2561, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

[2] อิสรี รอดทัศนา. 2558. การประเมินภาระมลพิษทางน้ำในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารบทคัดย่อกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 1(6): 671-683.

[3] Sarkar, D., Shikha, Rakesh, S., Ganguly, S., & Rakshit, A. 2017. Management of increasing soil pollution in the ecosystem. Air, Soil and Water Research, 10. https://doi.org/10.9734/AIR/2017/36622

[4] สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2563. น้ำเสียชุมชน. วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง. 4(1): 1-10.

[5] Reza Zolfaghari, A. Fakhru'l-Razi, Abdullah Luqman Chuah and Said Elnashaie. 2016. Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry. Separation and Purification Technology. 377-407.

[6] มนฑิรา โลลุพมาน. 2559. การศึกษาการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบด้วยสารอิมัลซิไฟเออร์ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

[7] N. Saifuddin and K.H. Chua. 2006. Treatment of Oily Waste Water Emulsions from Metallurgical Industries Using Microwave Irradiation. Asian Network for Scientific Information. Biotechnology. 5(3): 308-314.

[8] Rani, M.J., Murugan, M., Subramaniam, P., and Subramanian, E., 2014, A study on water hyacinth *Eichhornia crassipes* as oil sorbent, J. Appl. Nat. Sci. 6: 134-138.

[9] Wisetrat, O., Ngamsombat, R., Saueprasear sit, P. and Prasara, A.J., 2012, Adsorption of suspended oil using bagasse and modified bagasse, J. Sci. Tech. Mahasara

[10] นายพุฒิ พงศ์มานะวุฒิ และคณะ. มปป. การศึกษาความเหมาะสมของการนำดอกหญ้าขจรจบ (Pennisetum pedicellatum Trin.) มาใช้ในการดูดซับคราบน้ำมันในแหล่งน้ำ

[11] อังศุธร งามประสิทธิ์ และคณะ. 2566. ออกแบบและพัฒนาถังกำจัดน้ำมันในรูปอิมัลชันด้วยฟองอากาศ วารสารสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

[12] ผึ่งผาย พงษ์ธิพันธและคณะ. 2561. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับคราบน้ำมันโดยใช้วัสดุที่มีรูพรุนนาโนเทคโนโลยีธรรมชาติ. วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น ปีที่ 40 หน้า 38-49

[13] Singh, S. K., Kautkar, S., Gurjar, B., Pathak, P. K., & Swami, S. (2020). Engineering properties of spikelets and true seeds of deenanath (*Pennisetum pedicellatum* Trin.) grass. *Range Management & Agroforestry*, 41(2), 328-335. ISSN 0971-2070.

[14] Wang, D.; Liu, S.; Dong, B.; Yuan, L.; Pan, H.; Zhao, Q. Research Progress on Factors Affecting Oil-Absorption Performance of Cement-Based Materials. *Materials* **2023**, *16*, 3166. https://doi.org/10.3390/ma16083166

[15] ธิดา วิเชียรเพชร และชลธิดา นุ่มหอม. 2546. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียโดยใช้ดอกธูปฤาษี. *In Proceedings* of 41th Kasetsart University Annual Conference: Science, Natural Resources and Environmental Economics. 607 - 614.

[16] Khalid, F.E. (2021). Application of Cogon Grass (Imperata cylindrica) as Biosorbent in Diesel-Filter System for Oil Spill Removal. Agronomy, 11(11), 2273.DOI:10.3390/agronomy11112273

[17] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6. 2554. ว่าด้วยเรื่องของ "น้ำ" ในมุมสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://reo06.mnre.go.th/newweb/index.php/2011-07-27-08-44-12 (8 กรกฎาคม 2565)

[18] มงคล ตั๊ะอุ่น และสุทธิพงศ์ เปรื่องค้า. 2546. น้ำเสียและแนวทางการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. 31-36.

[19] วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์. ม.ป.ป. บีโอดี (BOD) กับคุณภาพน้ำและมาตรฐานน้ำทิ้ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/BOD_water_quality.pdf (10 กรกฎาคม 2565)

[20] สกล ขุขันธิน. 2553. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[21] กรมประมง. 2564. *ว่าด้วยเรื่องน้ำ....คุณสมบัติของน้ำกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_announce/9/8055 (11 กรกฎาคม 2565)

[22] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ 2553.ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://envi-mining.dpim.go.th/modules.php?m=env_check&op=detailenv_check&enck=4129&gr= (7 กรกฎาคม 2567

[23] Laurén, S. (n.d.). Contact angle - What is it and how do you measure it? [White paper]. Biolin Scientific. https://www.biolinscientific.com/pdf/Attension_White_paper_Contact_Angles.pdf

[24] Cassie, A.B.D. and Baxter, S. (1944) Wettability of Porous Surfaces. Faraday Society, 40, 546-551. https://doi.org/10.1039/tf9444000546

09R3-06

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่มีต่อ “คุณภาพน้ำผิวดิน”

Assessment of environmental impacts from the construction of the Chum Phae bypass. Khon Kaen Province to water quality

มยุรี พิมพ์งาม[1*] และ พีรกานต์ บรรเจิดกิจ[2*]

Mayuree Pimngam[1*] and Peerakarn Banjerdkij[2*]

[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900

[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กทม. 10900

โทรศัพท์ : 092 3953545, E-mail : mayuree.pi@ku.th, pbanjerdkij@gmail.com, fengpkba@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำผิวดินบริเวณทางเลี่ยงเมืองชุมแพพาดผ่าน ประเมินผลกระทบจากกิจกรรมการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพที่มีต่อคุณภาพน้ำผิวดินในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลของน้ำและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ และเสนอแนะแนวทางมาตรการป้องกัน แก้ไขและลดผลกระทบที่เหมาะสม การวิจัยในครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลต่างๆ จากหน่วยงานราชการ และการลงพื้นที่สำรวจแหล่งน้ำต่างๆ ที่อยู่ในแนวเส้นทางจะตัดผ่าน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการก่อสร้างถนนทางเลี่ยงเมืองชุมแพ จังหวัดขอนแก่น เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากถนนตัดผ่านลำน้ำที่สำคัญในพื้นที่หลายแห่ง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพแหล่งน้ำ ระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ และทิศทางการไหลของน้ำที่อาจเกิดจากกิจกรรมการก่อสร้างถนนทางเลี่ยงเมืองตัดผ่านลำน้ำ และคาดว่าการศึกษาในครั้งนี้จะนำสู่การหาแนวทางมาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม

คำสำคัญ : คุณภาพน้ำผิวดิน; ทางเลี่ยงเมืองชุมแพ; กิจกรรมการก่อสร้าง; ประเมินผลกระทบ

Abstract

This research was to collect data on water sources and water quality around the Chumphae Bypass. Evaluate the impact of Chum Phae bypass construction activities on surface water quality in terms of changes in water flow conditions and changes in water quality and suggest guidelines for preventive measures correct and reduce impacts appropriately. This research has gathered various information. from government agencies and visiting the area to survey various water sources It is in the direction of the path that will be crossed. The results of the research found that the construction of the Chum Phae bypass road Khon Kaen Province It is an important factor causing changes in the aquatic ecosystem. because of the construction of a road through the river. Affecting the quality of water sources aquatic ecology and the direction of water flow that may occur from construction activities of a bypass road through the river. It is expected that this study will lead to finding appropriate measures to prevent and solve problems.

Keyword : water quality, Chum Phae bypass, construction activities, Evaluate the impact

บทนำ

ระบบการคมนาคมขนส่งมีความความสำคัญต่อประเทศเป็นอย่างมาก ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมถ้าประเทศมีระบบการคมนาคมขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และมีความน่าเชื่อถือจะมีส่วนสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจของประเทศให้สูงขึ้น สามารถเชื่อมโยงฐานการผลิตภายในภูมิภาคได้โดยสะดวก ส่งผลทำให้เกิดการจ้างงาน เป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจภายในประเทศ นอกจากนี้ยังทำให้มีการเดินทางเชื่อมโยงกันระหว่างพื้นที่เกิดการพัฒนาเมืองและทางสังคมอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดรับกับการพัฒนาระบบคมนาคมและขนส่งของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติแต่ละฉบับ เพื่อให้การพัฒนาโครงการก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งประชาชนที่อยู่บริเวณพื้นที่โครงการน้อยที่สุด

สำหรับพื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่ของตำบลชุมแพ ตำบลไชยสอ อำเภอชุมแพ เป็นเส้นทางที่เชื่อมกับหลายจังหวัด เช่น จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย เป็นทางผ่านไปสู่ภาคเหนือ ซึ่งมีความสำคัญมากๆ ในด้านคมนาคมและเป็นเมืองที่มีอัตราการขยายตัวด้านเศรษฐกิจสูงมากเนื่องจากมีการค้า การลงทุน และการท่องเที่ยว ที่มีแนวโน้มมากขึ้นทุกปีส่งผลให้มีความต้องการเดินทาง ในโครงข่ายทางหลวงและถนนในเขตเมืองชุมแพสูงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การจราจรที่ผ่านตัวเมืองชุมแพติดขัดทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทาง และจากการที่มีรถยนต์วิ่งผ่านเมืองเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะรถบรรทุกขนส่งสินค้า อาจส่งผลด้านอุบัติเหตุและความปลอดภัยได้ จึงต้องเตรียมความพร้อมด้านโครงข่ายถนนเพื่อรองรับปัญหาการจราจรและขนส่งสินค้าในอนาคต โดยมีแนวคิดในการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพ เพื่อให้เกิดเป็นโครงข่ายถนนวงแหวนรอบเมืองชุมแพ เป็นทางเลือกสำหรับผู้เดินทางระยะไกลที่ไม่จำเป็นต้องผ่านเขตตัวเมืองชุมแพ ใช้เป็นทางเลี่ยงเมือง จะทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว ในการเดินทางและขนส่งสินค้า และลดปัญหาการจราจรติดขัดในเขตเมืองชุมแพ

พื้นที่ส่วนใหญ่ตำบลชุมแพ เป็นที่ราบลุ่มมีลำน้ำเชิญไหลผ่าน นอกจากนั้นยังมีหนองน้ำธรรมชาติอีกหลายแห่ง และมีการทำคลองส่งน้ำด้วยพลังงานไฟฟ้า และระบบชลประทานไปยังหมู่บ้านต่างๆ มีระยะทางในการศึกษาจากจุดเริ่มต้นโครงการที่บริเวณทางหลวงหมายเลข ทล. 12 (กม. 465+900) และจุดสิ้นสุดบริเวณ ทล.12 (กม.476+350) มีความยาวรวมของแนวเส้นทางนี้เท่ากับ 15.89 กิโลเมตร ซึ่งทางเลี่ยงเมืองชุมแพได้ตัดผ่านลำน้ำ 3 แห่ง ได้แก่ 1.อ่างเก็บน้ำบึงหนองบัว (SW1) 2. ห้วยแล้ง (SW2) และ 3. ห้วยไผ่กุดหิน (ห้วยบักชี) ทั้งนี้ คุณภาพน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบ่งชี้ถึงความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ และความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ในการดำรงชีวิตของประชาชนในพื้นที่ชุมแพ จังหวัดขอนแก่น

ดังนั้น ในการวิจัยจึงสนใจกิจกรรมการก่อสร้างที่อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน และทิศทางการไหลของน้ำหลังจากการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองแล้วเสร็จ

อุปกรณ์และวิธีการ

แหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการสามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการเก็บสำรวจข้อมูลโดยตรงจากพื้นที่โครงการ เช่น ข้อมูลลักษณะแหล่งน้ำผิวดินพื้นที่โครงการในปัจจุบัน การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่โครงการ

2.ข้อมูลทุติยภูมิ ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวแหล่งน้ำผิวดิน และคุณภาพน้ำผิวดินในพื้นที่โครงการ จากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานในพื้นที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ การประเมินผลกระทบจากกิจกรรมการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพ มีนัยสำคัญที่นำมาวิเคราะห์รวมทั้งการศึกษาแผนงานกิจกรรมการก่อสร้าง และในการพิจารณาระดับความรุนแรงหรือขนาดของผลกระทบจะพิจารณาจากระดับความรุนแรงหรือขนาดของผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยใช้เมตริกซ์ (Matix) เป็นตารางที่ใช้ระบุประเด็นศึกษาโดยพิจารณา 2 มิติพร้อมกัน คือ กิจกรรมของโครงการและประเด็นสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Leopold et al. (1971) แนวคิดของลีโอโพล์มตริกซ์ เป็นการให้คะแนนระหว่าง 1 ถึง 10 (1 คือ น้อย และ 10 คือมากที่สุด) สำหรับกรณีที่มีรายละเอียดหรือข้อมูลน้อยอาจปรับช่วงคะแนนเป็น 0 ถึง 3 ซึ่งหมายถึงระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง นอกจากนี้การกำหนดระดับคะแนนอาจกำหนดเป็นทั้งค่าบวกและลบหรือปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม ดังนี้

1.ไม่มีผลกระบบ (0) หมายถึง กิจกรรมหรือผลจากการพัฒนาโครงการไม่ก่อให้เกิดผลกระทบหรือเกิดผลกระทบน้อยมากจนไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

2.ผลกระทบระดับต่ำ (1) หมายถึง กิจกรรมจากการพัฒนโครงการเกิดกรเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำหรือน้อย โดยทรัพยากรสิ่งแวดล้อมนั้นยังคงอยู่และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานขอบเขตของผลกระทบอยู่ในวงจำกัด พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบไม่กว้างมากนักระยะเวลาที่เกิดผลกระทบเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น การก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ หรือผลของกิจกรรมทำให้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย

3.ผลกระทบระดับปานกลาง (2) หมายถึง กิจกรรมจากกรพัฒนโครงการเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของทรัพยากรสิ่งแวดล้อมบางส่วน เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันหรือเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วอาจยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่เป็นไปตามเกณฑ์เพียงเล็กน้อย ขอบเขตของผลกระทบที่เกิดขึ้นค่อนข้างกว้าง แต่ยังจำกัดอยู่ในพื้นที่โครงการซึ่งสามารถควบคุมได้

4.ผลกระทบระดับสูง (3) หมายถึง กิจกรรมจากการพัฒนโครงกรเกิดการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรสิ่งแวดล้อมไปจนไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่มีการกำหนดไว้ หรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อทรัพยากรสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง ขอบเขตของผลกระทบกระจายออกไปเป็นวงกว้างหรือกระจายออกไปจากแหล่งกำเนิดผลกระทบมาก ระยะเวลาเกิดผลกระทบต่อเนื่องยาวนานถาวรทำให้ทรัพยากรดังกล่าวกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีก

ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยใช้เมตริกซ์ (Matrix)

ความรุนแรงของผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น	ระดับความรุนแรง
ไม่มีผลกระทบ	0
ผลกระทบระดับต่ำ	1
ผลกระทบระดับปานกลาง	2
ผลกระทบระดับสูง	3

สำหรับตัวอย่างกิจกรรมและประเด็นสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาตามแนวทางของลีโอโพล์เมตริกซ์ ดังนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกิจกรรมตามแนวทางของลีโอโพล์เมตริกซ์

A. MODIFICATION OF REGIME	**E. LAND ALTERATION**
a) Exotic flora or fauna introduction	a) Erosion control and terracing
b) Biological Controls	b) Mine sealing and waste control
c) Modification of habitat	c) Strip mining rehabilitation
d) Alteration of ground cover	d) Landscaping
e) Alteration of ground-water hydrology	e) Harbour dredging
f) Alteration of drainage	f) Marsh fill and drainage
g) River control and flow codification	
h) Canalization	
i) Irrigation	**F. RESOURCE RENEWAL**
j) Weather modification	a) Reforestation
k) Burning	b) Wildlife stocking and management
l) Surface or paving	C) Ground-water recharge
m) Noise and vibration	d) Fertilization application
	e) Waste recycling
B. LAND TRANSFORMATION AND CONSTRUCTION	
a) Urbanization	**G. CHANGES IN TRAFFIC**
b) Industrial sites and buildings	a) Railway
c) Airports	b) Automobile
d) Highways and bridges	c) Trucking
e) Roads and trails	d) Shipping

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกิจกรรมตามแนวทางของลีโอโพล์เมตริกซ์

f) Railroads	e) Aircraft
g) Cables and lifts	f) River and Canal traffic
h) Transmission lines, pipelines and corridors	g) Pleasure boating
i) Barriers, including fencing	h) Trails
j) Channel dredging and straightening	i) Cables and lifts
K) Channel revetments	j) Communication
l) Canals	k) Pipeline
m) Dams and impoundments	
n) Piers, seawalls, marinas, & sea terminals	**H. WASTE EMPLACEMENT AND TREATMENT**
o) Offshore structures	a) Ocean dumping
p) Recreational structures	b) Landfill
q) Blasting and drilling	c) Emplacement of tailings, spoil and overburden
r) Cut and fill	d) Underground storage
s) Tunnels and underground structures	e) Junk disposal
	f) Oilwell flooding
C. RESOURCE EXRACTTION	g) Deep-well emplacement
a) Blasting and drilling	h) Cooling-water discharge
b) Surface excavation	i) Municipal waste discharge including spray irrigation
c) Sub-surface excavation and retorting	j) Liquid effluent discharge
d) Well drilling and fluid removal	k) Stabilization and oxidation ponds
e) Dredging	l) Septic tanks, commercial &. domestic
f) Clear cutting and other lumbering	m) Stack and exhaust emission
g) Commercial fishing and hunting	n) Spent lubricants
D. PROCESSING	**I. CHEMICAL TREATMENT**
a) Farming	a) Fertilization
b) Ranching and grazing	b) Chemical deicing of highways, etc.
c) Feed lots	c) Chemical stabilization of soil
d) Dairying	d) Weed control
e) Energy generation	e) Insect control (pesticides)
f) Mineral processing	
g) Metallurgical industry	**J. ACCIDENTS**
h) Chemical industry	a) Explosions
i) Textile industry	b) Spills and leaks
j) Automobile and aircraft	c) Operational failure
k) Oil refining	**OTHERS**
l) Food	a)
m) Lumbering	b)
n) Pulp and paper	
o) Product storage	

ที่มา : Canter (1996)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษากิจกรรมการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำผิวดินในระยะก่อสร้างมี 3 กิจกรรมหลัก ได้แก่

(1) ผลกระทบจากกิจกรรมการรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภค การกรุยทาง ขุดตอ และปรับระดับพื้นที่ เพื่อเตรียมพื้นที่ให้พร้อมสำหรับการก่อสร้าง งานถมคันทางและงานก่อสร้างวางท่อระบายน้ำ การถมคันทางและบดอัดวัสดุเพื่อทำเป็นคันทางซึ่งกิจกรรมที่จะทำให้เกิดความขุ่นที่เพิ่มขึ้นต่อแหล่งน้ำได้ถ้ามีฝนตกและตะกอนดิน/เศษวัสดุไหลระบายลงสู่แหล่งน้ำใกล้เคียงได้กิจกรรมการก่อสร้างสะพาน การปรับพื้นที่เพื่อที่จะก่อสร้างรางระบายน้ำและสะพานที่อยู่ใกล้แนวระบายน้ำตามธรรมชาติ มีการถมดินบริเวณคอสะพาน และขุดลอกร่องน้ำให้ลึกขึ้น หรืออาจมีการก่อสร้างเสาเข็มบริเวณริมตลิ่ง สำหรับงานก่อสร้างสะพานข้ามแหล่งน้ำต่างๆ จะมีกิจกรรมการก่อสร้างในลำน้ำโดยตรง ซึ่งการก่อสร้างสะพานจะทำให้มีเศษวัสดุก่อสร้าง เช่น เศษปูน เศษดินไม้แบบ และน้ำปูน ตกหล่นลงสู่แหล่งน้ำมีผลโดยตรงทำให้เกิดความขุนในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น โดยแหล่งน้ำที่ตัดแนวเส้นทางโครงการและอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำบึงหนองบัว กุดไชยสอ ห้วยเต่า ห้วยแล้ง และห้วยไผ่กุดหิน (ห้วยบักชี) ซึ่งความขุ่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในด้านกายภาพและเคมี จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ และอาจส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ โดยมีค่าความขุ่นของสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ อยู่ในช่วง 3.3 - 5.7 NTU ในฤดูแล้ง และ 6.2 - 54.2 NTU ในฤดูฝน ดังนั้นกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าวจะส่งผลให้มีโอกาสก่อให้เกิดความขุ่นของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจากการชะล้างพังทลายของดินลงสู่แหล่งน้ำเมื่อมีฝนตกหนัก รวมทั้งอาจมีขยะและของเสียปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำด้อยคุณภาพลงชั่วคราว และส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ คาดว่าผลกระทบโดยรวมต่อคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลาง (M=-2)

(2) ผลกระทบจากน้ำทิ้งบริเวณบ้านพักคนงานและสำนักงานโครงการ ผลกระทบจากมูลฝอยและน้ำเสียจากที่พักคนงานสามารถควบคุมได้โดยการจัดให้มีห้องน้ำ-ห้องส้วมที่ถูกสุขลักษณะ มีการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นก่อนระบายออกสู่ภายนอกที่พักคนงาน และกำหนดที่ตั้งของแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากบ้านพักคนงานอยู่ให้ห่างจากแหล่งน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำผิวดิน ประเมินปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ประมาณ 9.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ร้อยละ 30 ของปริมาณน้ำใช้โดยประเมินอัตราการใช้น้ำ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน, อ้างอิงจาก สผ.. 2540) น้ำเสียจะบำบัดด้วยถังบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูป และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้ง สามารถปล่อยให้ซึมลงสู่ดินได้โดยตรง ไม่มีการไหลระบายลงลำรางสาธารณะ ซึ่งไม่มีแหล่งน้ำผิวดินอยู่ใกล้เคียง (แหล่งน้ำผิวดินใกล้ที่สุดมีระยะห่างประมาณ 1.3 กิโลเมตร) จึงกำหนดให้ไม่มีผลกระทบ (M=0)

(3) ผลกระทบจากน้ำมันภายในโรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร การใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในการก่อสร้าง ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงอาจเกิดการปนเปื้อนของน้ำมันยังแหล่งน้ำสาธารณะได้ แต่เนื่องจากโครงการได้กำหนดให้หน่วยก่อสร้างและสำนักงานควบคุมงาน อยู่บริเวณบนทางหลวง ทล.12 จากแยกไชยสอไปบ้านโนนทองหลาง ประมาณ 2.10 กิโลเมตร ซึ่งไม่มีแหล่งน้ำผิวดินอยู่ใกล้เคียง ประกอบกับให้มีการจัดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วและส่งกำจัดกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่ให้ทิ้งลงในพื้นที่ซ่อมบำรุงในหน่วยก่อสร้าง จึงกำหนดให้ไม่มีผลกระทบ (M=0)

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินระดับความรุนแรงต่อคุณภาพน้ำ

กิจกรรมการก่อสร้าง	ระยะเตรียมการ/ระยะก่อสร้าง
ผลกระทบจากกิจกรรมการรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภค	-2
ผลกระทบจากน้ำทิ้งบริเวณบ้านพักคนงานและสำนักงานโครงการ	0
ผลกระทบจากน้ำมันภายในโรงซ่อมบำรุงเครื่องจักร	0

สรุป

การศึกษาในครั้งนี้พบว่า กิจกรรมในช่วงก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองชุมแพ ที่จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ ได้แก่ การรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคที่กีดขวางงานก่อสร้างรวมถึงการกรุยทาง ขุดตอ และปรับระดับพื้นที่เท่าที่จำเป็น เพื่อเตรียมพื้นที่ให้พร้อมสำหรับการก่อสร้าง การขุดตัดดินหรือถมคันดินเพื่อให้ได้ระดับการก่อสร้างตามการออกแบบ รวมทั้งงานผิวทางและชั้นทางที่ต้องมีการถมวัสดุชั้นทางและการบดอัดให้ได้มาตรฐาน การขุดเปิดหน้าดินและเคลื่อนย้ายดินออกจากบริเวณเดิม ตัดและปรับถมดิน กรณีระหว่างการก่อสร้างเป็นช่วงที่มีฝนตกหนัก อาจมีเศษดินถูกชะล้างไหลลงสู่แหล่งน้ำได้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่อาจทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินลงในแหล่งน้ำทำให้สภาพการไหลของน้ำในลำน้ำเปลี่ยนแปลงไป ในการปรับพื้นที่เพื่อที่จะก่อสร้างรางระบายน้ำและสะพานที่อยู่ใกล้แนวระบายน้ำตามธรรมชาติ มีการถมดินบริเวณคอสะพาน และขุดลอกร่องน้ำให้ลึกขึ้น ระหว่าง

การก่อสร้างอาจต้องมีการปิดกั้นลำน้ำบางช่วงเป็นการชั่วคราว เพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง รวมถึงการขุดปรับตลิ่งลำน้ำเพื่อให้ก่อสร้างได้ตามแบบ ซึ่งกิจกรรมงานก่อสร้างสะพานจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาพการไหลของน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ เนื่องจากการก่อสร้างสะพานต้องเกิดขึ้นในบริเวณจุดตัดลำน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม โครงการก่อสร้างทางเลี่ยงชุมแพ จังหวัดขอนแก่น อยู่ระหว่างการสำรวจและออกแบบเพื่อเสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในการดำเนินงานจะต้องจัดทำมาตราการป้องกัน แก้ไขผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อแหล่งน้ำผิวดินตามข้อกำหนด กฎหมายต่างๆ อย่างเคร่งครัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรกานต์ บรรเจิดกิจ ในการแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัท ออโรส จำกัด และคณะผู้บริหารที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้ประกอบการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เขมณัฏฐ์ รัตนนิกรเจริญ. 2561. **การประเมินผลระบบการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย กรณีศึกษาโครงการระบบขนส่งมวลชนขนาดรองสายสีทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[2] ดร.สุมนา สิริพัฒนากุล. **การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environment Impact Assessment)**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3] สามารถ ใจเตี้ย. พัฒนา บุญญประภา. 2562. **ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากปัญหาคุณภาพน้ำและข้อเสนอแนะกิจกรรมการเฝ้าระวัง กรณีศึกษาลุ่มน้ำลี้ จังหวัดลำพูน**. วารสารวิชาการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

[4] สำนักวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. 2561. **แนวทางการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านคมนาคม สำหรับโครงสร้างพื้นฐานทางน้ำ**. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร

[5] สำนักสำรวจและออกแบบ. 2567. **โครงการจ้างวิศวกรที่ปรึกษาสำรวจและออกแบบทางหลวง 4 ช่องจราจร ทางเลี่ยงเมืองชุมแพ (ด้านใต้).** รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม, กรมทางหลวง.

09R3-07

การประยุกต์ระบบนิวโร-ฟัซซีแบบปรับตัวได้เพื่อพัฒนาแบบจำลองความดันตกในระบบท่อประปาเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองสีเขียว

Application of ANFIS for the Development of Pressure Drop Models for Fostering Green City Development

ไพจิตร ผาวัน[1*] และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์[2]
Paijit Pawan[1*] and Warisara Lertpaitoonpan[2]
[1, 2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร 10900
[*]โทรศัพท์ : 0879885566, E-mail : paijit.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การคำนวณค่าความดันตกเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญสำหรับผู้ออกแบบระบบท่อประปา แม้ว่าจะมีสมการและกราฟสำหรับใช้ในการคำนวณ เช่น สมการความดันตกของ Hazen-Williams แต่วิธีเหล่านี้ก็เป็นการคำนวณทางทฤษฎีที่อาจยังไม่เหมาะสมกับสภาพใช้งานจริง งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ ในการพัฒนาแบบจำลองความดันตก โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำในเส้นท่อ ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันตกจำนวน 36 ตัวอย่าง จากนั้นนำ 32 ตัวอย่างไปฝึกสร้างแบบจำลอง และใช้ 4 ตัวอย่างที่เหลือทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองความดันตกที่สร้างขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เพียง 0.138% แสดงถึงความแม่นยำสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อประปาในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : แบบจำลองความดันตก; การออกแบบท่อประปา; ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้

Abstract

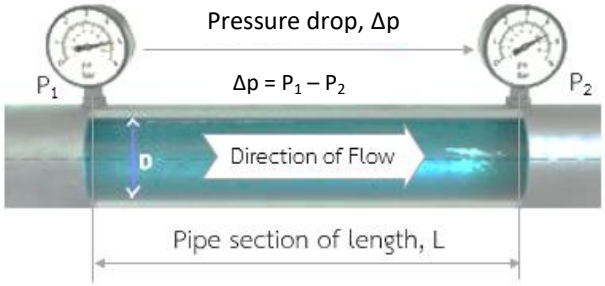
Calculating the pressure drop is an important task for designers of building plumbing systems. Existing theoretical methods, such as the Hazen-Williams equation, may not be suitable for actual operating conditions. This research introduces the application of an adaptive neuro-fuzzy system to develop a more accurate pressure drop model. The model is based on data from 36 samples that demonstrate the relationship between water velocity in pipes, pipe size, flow rate, and pressure drop. The model was trained on 32 samples and tested on the remaining 4. The test results showed a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of only 0.138%, indicating high accuracy. This model can be effectively applied to the design of water pipes in buildings, thereby supporting the development of environmentally friendly cities.

Keywords: Pressure Drop Model; Plumbing Design; Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

บทนำ

การออกแบบท่อประปาในอาคาร (Plumbing Design) จะเริ่มจากรวมจำนวนหน่วยสุขภัณฑ์ (Fixture Unit: FU) [1] เพื่อหาอัตราความต้องการน้ำสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ โดยกำหนดเกณฑ์ความเร็วของน้ำภายในท่ออยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 2.4 เมตรต่อวินาที [2, 3] และผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความดันตก (Pressure Drop) ในระบบ ซึ่งเป็นผลจากแรงเสียดทานในเส้นท่อ ความเร็วของของไหลในเส้นท่อ ความยาวท่อ ขนาดท่อ สภาพผิวท่อ (รูปที่ 1) การคำนวณความดันตกในระบบท่อประปาจึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญสำหรับผู้ออกแบบ โดยการคำนวณค่าความดันตกที่มากเกินไปจะทำให้ต้องใช้ปั๊มน้ำที่กำลังสูง ส่งผลให้

สิ้นเปลืองพลังงานและก่อมลภาวะมากขึ้น ในทางกลับกัน หากคำนวณค่าความดันตกน้อยเกินไป อาจทำให้ระบบท่อประปาไม่สามารถจ่ายน้ำได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นการคำนวณความดันตกอย่างแม่นยำจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างระบบท่อที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรสำหรับการไหลภายในท่อแบบคงตัว

โดยหลักพื้นฐานการพิจารณาความดันตก ดังรูปที่ 1 เป็นการสูญเสียพลังงานหลัก (Major loss) คือ การสูญเสียเฮดที่เกิดจากผลของแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากความหนืดของน้ำ และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ โดยการสูญเสียเฮดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ ความหยาบของวัสดุที่ใช้ทำท่อ ความหนืดของของไหล และความเร็วในการไหล ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\Delta p}{L} = fD.\frac{\rho}{2}.\frac{v^2}{D} \qquad (1)$$

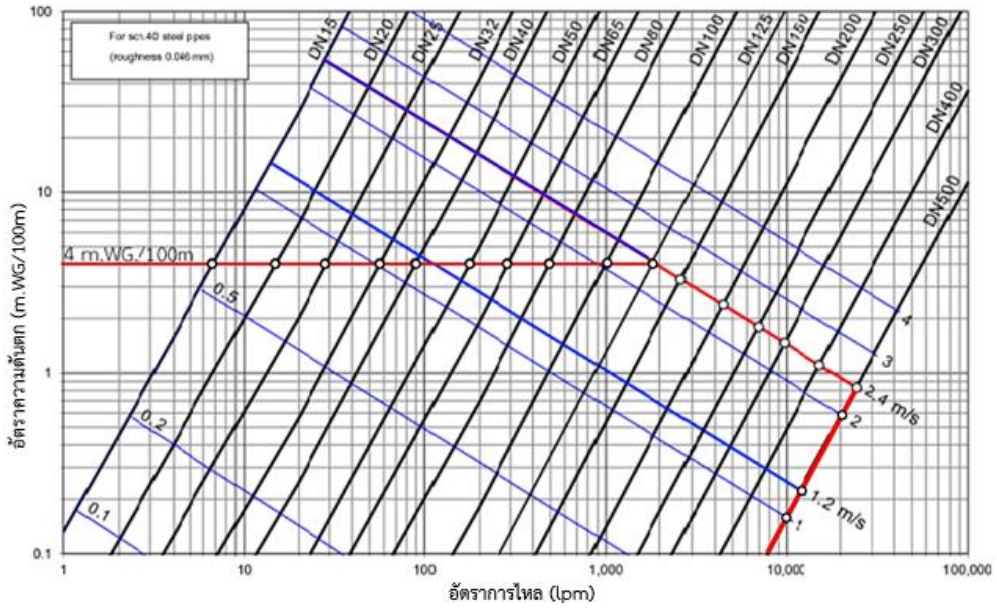
อย่างไรก็ตามการคำนวณค่าความดันตกนี้ไม่มีเกณฑ์ตายตัวแต่ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน [2] Hazen-Williams ได้พิจารณาน้ำที่ไหลไปในท่อจะเกิดความเสียดทานขึ้นจากความหนืดของน้ำ ถ้าผนังของท่อหยาบก็จะเพิ่มความเสียดทานขึ้นอีก ทำให้เพิ่มความปั่นป่วน (Turbulent Flow) ภายในท่อ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานนี้แสดงออกมาในรูปของความดันตก ดังสมการ (2)

$$h_f = \frac{4.727}{D^{4.87}} L \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \qquad (2)$$

โดยที่

h_f	คือ ความดันตก (ฟุตของน้ำ)	D	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ฟุต)
L	คือ ความยาวของท่อ (ฟุต)	Q	คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที)
C	คือ สัมประสิทธิ์ความหยาบ		

ค่า C แปรตามความหยาบของผนังท่อ เช่น ท่อผนังเรียบจะมีค่า C สูงกว่าท่อผนังหยาบ ซึ่งความหยาบนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุท่อและอายุการใช้งาน ค่า C ที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 140 ซึ่งการคำนวณนั้นยังไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ [4, 5] จึงนิยมใช้กราฟหาค่าความดันตก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดอัตราไหลสูงสุดของท่อขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ค่าอัตราความดันตกไม่เกิน 4 เมตร/100 เมตร

จากรูปที่ 2 ผู้ออกแบบสามารถอ่านค่าขนาดท่อ ความเร็วของน้ำในท่อ อัตราการไหล และความดันตก จากกราฟได้โดยตรง ซึ่งปกติแล้วการออกแบบระบบท่อจะเผื่อให้มีค่ามากกว่าค่าที่อ่านได้เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีน้ำจ่ายให้เครื่องสุขภัณฑ์อย่างเพียงพอ ความเร็วของน้ำในท่อมักถูกกำหนดให้ไม่เกิน 3 เมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันเสียงดังของน้ำและลดอัตราการสึกกร่อนของบ่าวาล์วและท่อ รวมทั้งจำกัดความดันตกไม่ให้สูงมากจนต้องใช้แรงดันน้ำสูงเกินไป ซึ่งค่าออกแบบจริงจะอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 2.4 เมตรต่อวินาที [6] นอกจากนี้ความดันตกยังเกิดจากความเสียดทานจากการไหลผ่านอุปกรณ์ เช่น ข้องอ วาล์ว ฯลฯ แม้จะมีกราฟช่วยในการออกแบบแต่ส่วนใหญ่ผู้ออกแบบจะใช้ประสบการณ์ในการประมาณค่าความดันตกในท่อ เช่น กรณีระบบท่อที่มีความยาวรวมต่ำกว่า 50 เมตร จะคำนวณความดันตกจากความยาว ขนาดท่อ และอัตราการไหลในช่วงต่างๆ ซึ่งบางครั้งอาจใช้ความเร็วน้อยกว่า 1.2 เมตรต่อวินาที ในท่อขนาดเล็กที่มีความยาวมาก เนื่องจากความดันตกในท่อขนาดเล็กจะมีค่าความดันตกสูงกว่าท่อขนาดใหญ่ที่ความเร็วในการไหลเท่ากัน และถ้าหากกรณีที่ผู้ออกแบบรู้ความยาวท่อรวมมากกว่า 50 เมตร ความดันตกจะคิดความยาวท่อเทียบเท่ายาวขึ้นอีก 25% - 50% โดยถ้าระบบท่อมีความยาวแต่เดินเป็นเส้นตรง (ไม่คดเคี้ยว) จะเผื่อประมาณ 25% แต่ถ้าคดเคี้ยวมากจะเผื่อประมาณ 50% [7] จะเห็นว่าการคำนวณหาค่าความดันตก มีความซับซ้อน และยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบเป็นหลัก ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS) เป็นระบบที่มีกระบวนการเรียนรู้ในตัวเองและโครงสร้างของระบบสามารถตีความหมายและให้เหตุผลได้ดีเยี่ยม [8, 9] โดยมีนักวิจัยจำนวนมากได้นำ ANFIS ใช้ในการทำนายค่าความดันตกภายในเส้นท่อ [9, 10] นอกจากนั้นยังได้นำ ANFIS ใช้ในการหาค่าความเหมาะสมของความดันตก [10, 11] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ANFIS เป็นระบบที่เหมาะสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองความดันตกสำหรับการออกแบบท่อประปาในอาคาร ซึ่งการประเมินความดันตกอย่างถูกต้องจะช่วยให้ระบบท่อประปามีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงาน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งเสริมการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนได้เป็นอย่างดี

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้มาพัฒนาแบบจำลองความดันตก เพื่อใช้ในการออกแบบระบบท่อประปา โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB R2018b ช่วยในการสร้างแบบจำลอง จากข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 2 คำนวณลงในตารางที่ 1 ทั้งหมด 36 ข้อมูล ใช้ในการฝึกฝน 32 ข้อมูล และใช้ในการทดสอบ 4 ข้อมูล

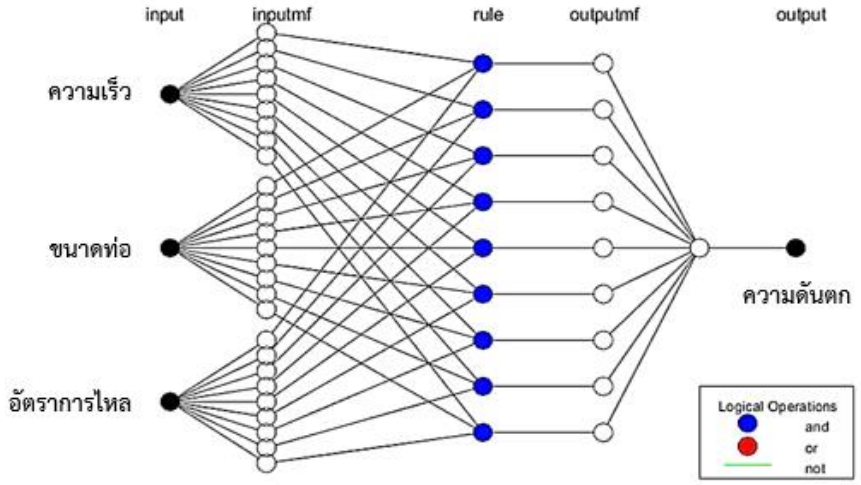
ตารางที่ 1 ตารางฝึกฝนข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ความดันตก

Item	Data Train	Velocity (m/s)	Diameter (mm)	Flow Rate (lpm)	Pressure Drop (m/100 m)
1	1	1	15	10.603	11.335
2*	2	1	20	18.850	7.813
3	3	1	25	29.452	5.868
4	4	1	32	48.255	4.285
5	5	1	40	75.398	3.231
6	6	1	50	117.810	2.441
7	7	1	65	199.098	1.759
8	8	1	80	301.593	1.359
9	9	1	100	471.239	1.032
10	1	2	15	21.206	41.402
11*	2	2	20	37.699	28.605
12	3	2	25	58.905	21.522
13	4	2	32	96.510	15.744
14	5	2	40	150.796	11.891
15	6	2	50	235.619	8.995
16	7	2	65	398.197	6.492
17	8	2	80	603.186	5.022
18	9	2	100	942.478	3.816
19	1	2.4	15	25.447	58.526
20*	2	2.4	20	45.239	40.454
21	3	2.4	25	70.686	30.446
22	4	2.4	32	115.812	22.279
23	5	2.4	40	180.956	16.831
24	6	2.4	50	282.743	12.735
25	7	2.4	65	477.836	9.193
26	8	2.4	80	723.823	7.114
27	9	2.4	100	1130.973	5.407
28	1	3	15	31.809	89.643
29*	2	3	20	56.549	61.988
30	3	3	25	88.357	46.667
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
34	7	3	65	597.295	14.107
35	8	3	80	904.779	10.918
36	9	3	100	1413.717	8.300

*ข้อมูลสำหรับทดสอบ

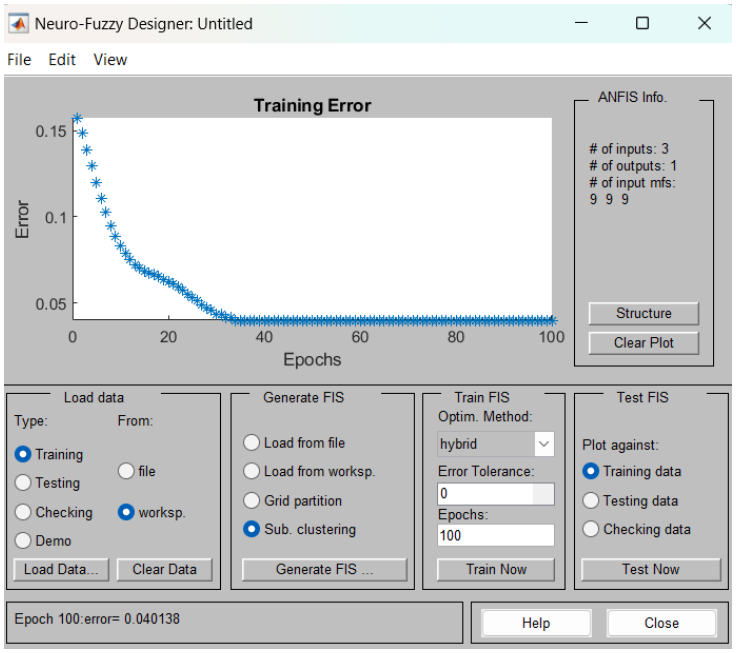
การพัฒนาแบบจำลอง

โครงสร้างการพัฒนาแบบจำลอง เริ่มจากนำข้อมูลตัวแปรนำเข้า (Input) จำนวน 3 ตัว คือ ความเร็ว ขนาดท่อ และอัตราการไหล สำหรับผลลัพธ์ (Output) จำนวน 1 ตัว คือ ความดันตก ลงในโปรแกรม MATLAB R2018b ดังรูปที่ 3



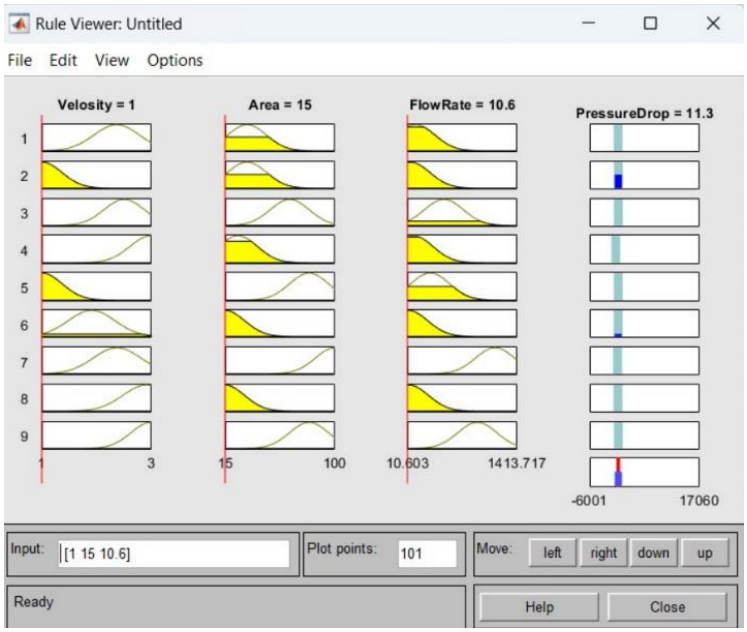
รูปที่ 3 โครงสร้างแบบจำลองความดันตก

การฝึกฝน (Training) โดยกำหนดค่าระบบการอนุมานฟัซซี่ (Generate FIS) เป็นแบบ Sub. Clustering และตั้งค่าฟังก์ชั่นสมาชิก (Membership Function) เป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) 9 ระดับ ทั้ง 3 ตัวแปรนำเข้า โดยฝึกฝนจำนวน 100 รอบ (Epochs) มีค่าคลาดเคลื่อน 0.040138 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างแบบจำลองความดันตก

การทดสอบข้อมูล (Testing data) เป็นการทดสอบระบบอนุมานแบบฟัซซี่ (Test FIS) โดยพิจารณาจากกฎ (Rule Viewer) ของระบบ ANFIS ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กฎที่ได้จากการอนุมานแบบฟัซซี่

ถึงขั้นตอนนี้จะได้ “แบบจำลองความดันตก” ซึ่งต่อไปจะนำกฎที่ได้จาก 3 ตัวแปรนำเข้า ไปใช้ในการทดสอบ เช่น ถ้าให้ความเร็ว (Velocity) = 1 m/s และ ขนาดท่อ (Area) = 15 mm. และ อัตราการไหล (Flow rate) = 10.6 lpm. แล้วจะได้ ค่าความดันตก = 11.3 m./100 m. เป็นต้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากแบบจำลองความดันตก ที่ได้จากระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ และการทดสอบแบบจำลอง จำนวน 4 ชุดข้อมูล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทดสอบความคลาดเคลื่อนชุดข้อมูล จากแบบจำลองความดันตก

Test No.	Data Train	Velocity (m/s)	Diameter (mm)	Flow Rate (lpm)	Pressure Drop (m/100 m)	Model Pressure Drop (m/100 m)	APE (%)
1	2	1	20	18.850	7.813	7.82	0.090
2	11	2	20	37.699	28.605	28.70	0.331
3	20	2.4	20	45.239	40.454	40.50	0.114
4	29	3	20	56.549	61.988	62.00	0.019
						MAPE	**0.138**

การวัดผลความแม่นยำ (Accuracy) ของแบบจำลองนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความน่าเชื่อถือและการเลือกใช้แบบจำลอง ดังนั้นในบทความนี้จะใช้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Percent Error: APE) ในการคำนวณความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบแต่ละชุด พบว่าชุดข้อมูลทั้ง 4 ชุด มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ 0.331% เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) มีค่า 0.138% แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูงมาก

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาฝึกฝนมีจำนวนจำกัด จึงส่งผลให้ชุดทดสอบมีเพียง 4 ชุด หากข้อมูลมีจำนวนมาก และแปรเปลี่ยนค่าความคลุมเครือของตัวแปรนำเข้าให้มากกว่านี้ ก็จะทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

สรุปผล

การพัฒนาแบบจำลองความดันตกด้วยระบบนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงในการทำนายค่าความดันตก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAPE) เพียง 0.138% ซึ่งถือว่ามีความน่าเชื่อถือมาก แบบจำลองดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับวิศวกรในการออกแบบระบบท่อประปาที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยลดการสูญเสียน้ำ ประหยัดพลังงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเมืองสีเขียว

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และศักยภาพในการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรม เพื่อพัฒนาระบบที่มีความซับซ้อนและแม่นยำสูง ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และการมีส่วนร่วมในการรักษาสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อเนื่อง มีดังนี้ 1) ควรมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงลึกและข้อมูลจากสภาพการใช้งานจริงในระบบท่อประปาเพิ่มเติม เพื่อนำมาใช้ในการฝึกฝนและพัฒนาแบบจำลองให้มีความแม่นยำและครอบคลุมสถานการณ์ต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น 2) ควรมีการนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบและประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงของระบบท่อประปาในอาคารต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและรับฟังข้อคิดเห็นจากผู้ใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์. 2556. การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร (พิมพ์ครั้งที่ 19). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์., กรุงเทพฯ.

[2] Babanezhad, M., Behroyan, I., Nakhjiri, A.T., Marjani, A. and Shirazian, S., 2021. Performance and application analysis of ANFIS artificial intelligence for pressure prediction of nanofluid convective flow in a heated pipe. Scientific Reports 11 (1). Doi: 10.1038/s41598-020-79628-w.

[3] Bar, N., Bandyopadhyay, T.K., Biswas, M.N. and Das, S.K., 2010. Prediction of pressure drop using artificial neural network for non-newtonian liquid flow through piping components. Journal of Petroleum Science and Engineering 71, 187–194. doi:10.1016/j.petrol.2010.02.001

[4] Chen, R., Li, T. and Li, Y., 2024. Analyzing the impact of COVID-19 on consumption behaviors through recession and recovery patterns. Scientific Reports 14 (1). Doi: 10.1038/s41598-024-51215-3.

[5] Di Mauro, A., Santonastaso, G.F., Venticinque, S. and Di Nardo, A., 2021. Impact of COVID-19 emergency on residential water end-use consumption measured with a high-resolution IoT system. Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society 70, 1248–1256. doi:10.2166/aqua.2021.088.

[6] Galowin, L.S. and Cole, D.P., 2010. Hunter fixture unit probability/uncertainty. The CIB W062 36th International Symposium Water Supply and Drainage for Buildings.

[7] Hafsa, N., Rushd, S., Alzoubi, H. and Al-Faiad, M., 2024. Accurate prediction of pressure losses using machine learning for the pipeline transportation of emulsions. Heliyon 10 (1). Doi:10.1016/j.heliyon.2023.e23591.

[8] Şamandar, A., 2011. A model of adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of friction coefficient in open channel flow. Scientific Research and Essays 6, 1020–1027. Doi: 10.5897/SRE10.558.

[9] Shirazi, A.Z., Tofighi, M. and Ganjefar, S. and Mahdavi, S.J.S., 2014. An optimized Adaptive-Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) for reliable prediction of entrance length in pipes. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering 3 (9). https://www.researchgate.net/publication/265849167.

[10] Wahaibi, A. Al, Ganat, T., Al-Rawahi, N., Abdalla, M. and Motaei, E., 2024. A novel method for accurate pressure drop prediction in horizontal and near horizontal pipes using adaptive neuro fuzzy inference system based model. Journal of Pipeline Science and Engineering. Doi:10.1016/j.jpse.2024.100182.

[11] Wei, L., Zhang, Y., Ji, L., Ye, L., Zhu, X. and Fu, J., 2022. Pressure drop prediction of crude oil pipeline based on PSO-BP neural network. Energies 15 (16). Doi: 10.3390/en15165880.

09R3-08

การหาความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดขนาดที่ดินประเภทอนุรักษ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องการวางผังเมืองรวมเมือง/ชุมชน

The Relationship between Reserved Area and Factors affecting Urban comprehensive plan

ชิษณุ อัมพรายน์[1*] และ สุรพันธ์ สันติยานนท์[2]
Chisanu Amprayn[1*] and Suraphan Santiyanont[2]
[1*,2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ : 025791111 ต่อ 2161, โทรสาร : 025791111 ต่อ 2147, E-mail : Chisanu.am@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการหาความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดขนาดที่ดินประเภทอนุรักษ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องการวางผังเมืองรวมเมือง/ชุมชน มีเป้าหมายหลักในการพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยการตัดสินใจกำหนดขนาดพื้นที่อนุรักษ์ในการจัดทำผังเมืองรวม โดยกำหนดให้พื้นที่อนุรักษ์ (Y) เป็นตัวแปรตาม และ กำหนดตัวแปรต้น จำนวน 4 ตัวแปร ประกอบด้วย พื้นที่ผังเมืองรวม (X_1) พื้นที่พัฒนาชุมชน (X_2) พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (X_3) และจำนวนประชากรคาดการณ์ (X_4) ผลการสร้างแบบจำลองด้วยการคัดเลือกผังเมืองรวมที่มีความเป็นศูนย์กลางการให้บริการจำนวน 12 ตัวอย่าง พบว่าได้แบบจำลองเป็น $Y = 0.672 (X_1) – 3.116 (X_3)$ โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ และเมื่อทดสอบแบบจำลองกับผังเมืองรวมอีก 2 ตัวอย่าง พบว่า พื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลองแตกต่างจากพื้นที่อนุรักษ์จากผังเมืองรวมเพียงร้อยละ 14 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : ผังเมืองรวม; พื้นที่อนุรักษ์; พื้นที่ผังเมืองรวม; พื้นที่พัฒนาชุมชน; พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม; จำนวนประชากรคาดการณ์

Abstract

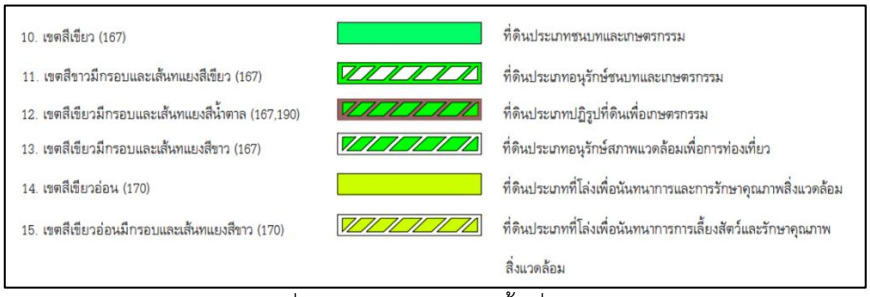
The Relationship between Reserved Area and Factors affecting Urban comprehensive plan has main purpose for develop multiple linear regression model (The decision-making supporter). Conservative area (Y) is set as dependent variable. Independent variables in this model consist of Urban comprehensive area (X_1), Urban development area (X_2), Industrial development area (X_3) and Forecasted population (X_4). Urban comprehensive plans that are service center were selected to 12 samples. The multiple linear regression model results $Y = 0.672 (X_1) – 3.116 (X_3)$ with $R^2 = 0.99$. Model testing with two additional samples show the error between predicted conservation area and conservation area from Urban comprehensive plan are around 14 percent. Finally, This model was acceptable.

Keywords : Urban comprehensive plan; Conservative area; Urban comprehensive area; Urban development area; Industrial development area; Forecasted population

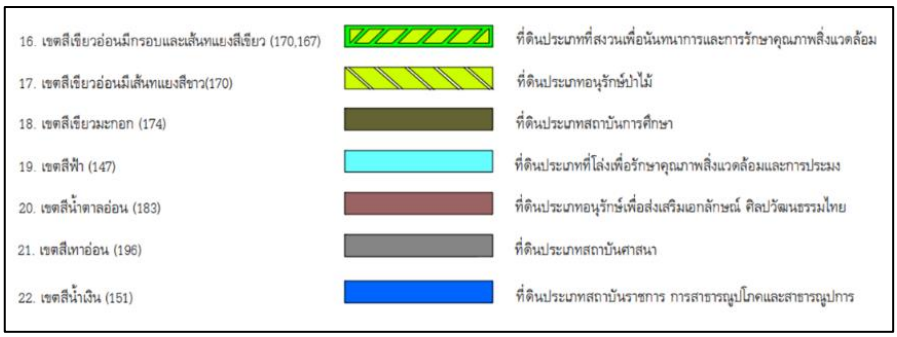
บทนำ

เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม พ.ศ.2549 [1] ได้กำหนดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับการวางและจัดทำผังเมืองรวมไว้ 22 ประเภท จำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พื้นที่สงวน พื้นที่อนุรักษ์ และ พื้นที่พัฒนา โดยพื้นที่สงวนจะเป็นพื้นที่ได้รับความคุ้มครองตามกฎหมาย พื้นที่อนุรักษ์เป็นพื้นที่พัฒนาได้แต่ต้องไม่ทำให้สภาพแวดล้อมเสียหาย และ พื้นที่พัฒนาเป็นพื้นที่มีศักยภาพสำหรับการตั้งถิ่นฐานของชุมชน พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2562 มาตรา 22 (3) ได้กำหนดให้แผนผังที่เป็นสารสำคัญไว้ 7 แผนผัง โดยมีแผนผังกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่ได้จำแนกเป็นเภท เป็นแผนผังหลัก [2] โดยการกำหนดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจะเป็นไปตามเกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม พ.ศ.2549 มีทั้งสิ้น 22 ประเภท [1] ประกอบด้วย พื้นที่พัฒนาประกอบด้วยสัญลักษณ์ประเภทที่ 1 ถึง 9 ดังแสดงในรูปที่ 1 พื้นที่อนุรักษ์ ประกอบด้วยสัญลักษณ์ประเภทที่ 10 ถึง 15 ดังแสดงในรูปที่ 2 และ พื้นที่สงวนประกอบด้วยสัญลักษณ์ประเภทที่ 16 ถึง 22 ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 1 สัญลักษณ์สำหรับพื้นที่พัฒนา



รูปที่ 2 สัญลักษณ์สำหรับพื้นที่อนุรักษ์



รูปที่ 3 สัญลักษณ์สำหรับพื้นที่สงวน

แนวทางในการปรับปรุงผังเมืองรวมโดยทั่วไป [5] จะมีการกันพื้นที่สงวนออกก่อน (สัญลักษณ์ประเภทที่ 16-22) ต่อด้วยการกันพื้นที่อนุรักษ์ที่มีความเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมโดยตรง (สัญลักษณ์ประเภทที่ 11-15) จากนั้นจะกำหนดพื้นที่ชุมชน (สัญลักษณ์ประเภทที่ 1-5) ต่อด้วยการกำหนดพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (สัญลักษณ์ประเภทที่ 6-9) ส่วนที่เหลือจากนั้นจะกำหนดให้เป็นพื้นที่อนุรักษ์ประเภทที่ดินประเภทชนบทและเกษตกรรม (สัญลักษณ์ประเภทที่ 11) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีพื้นที่มากที่สุดในผังเมืองรวม ดังนั้นการกำหนดพื้นที่อนุรักษ์อาจจะไม่มีความเหมาะสมต่อการวางและจัดทำผังเมืองรวมได้

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อหาความสัมพันธ์เป็นแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่อนุรักษ์ของผังเมืองรวมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการวางผังเมืองรวม โดยกำหนดให้ พื้นที่อนุรักษ์ (Y) เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) และกำหนดตัวแปรต้น (Independent variables) จำนวน 4 ตัวแปร ประกอบด้วย พื้นที่ผังเมืองรวม (X_1) พื้นที่พัฒนาชุมชน (X_2) พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (X_3) และ จำนวนประชากรคาดการณ์ (X_4) การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จะเป็นเครื่องมือช่วยประกอบการตัดสินใจในการกำหนดขนาดพื้นที่อนุรักษ์ (ตร.กม.) ในพื้นที่ผังเมืองรวมได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วิธีการดำเนินงาน

การกำหนดกลุ่มตัวอย่างผังเมืองรวม

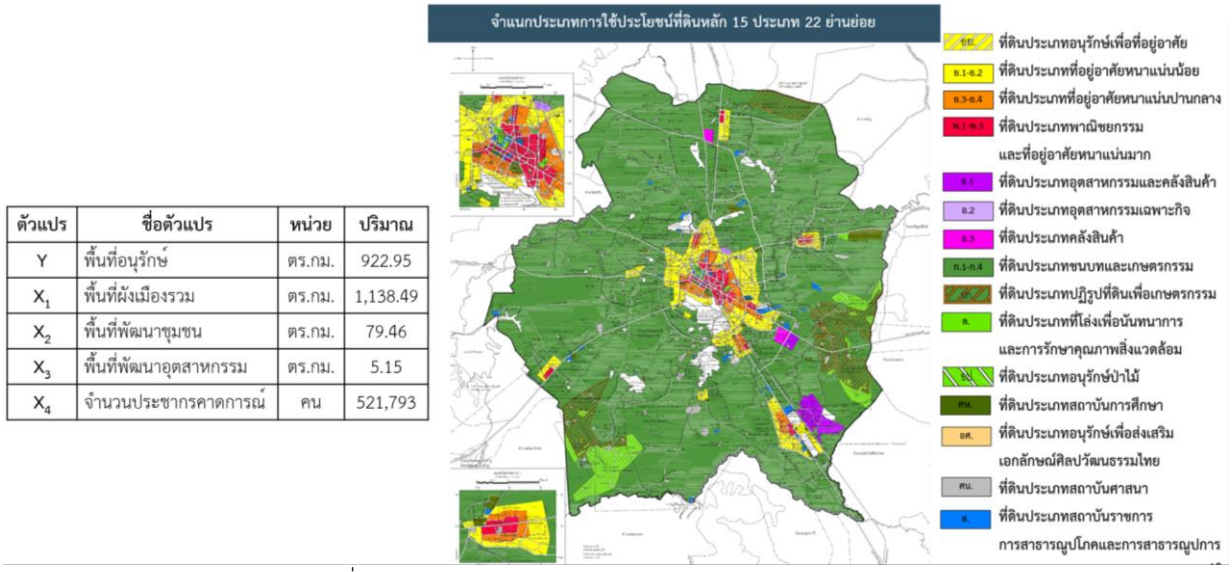
ผังเมืองรวม หมายความว่า แผนผัง นโยบาย และโครงการ รวมทั้งมาตรการควบคุมโดยทั่วไปในพื้นที่หนึ่งพื้นที่ใด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเมืองและการด ารงรักษาเมือง บริเวณที่เกี่ยวข้อง หรือชนบท ในด้านการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สิน การคมนาคมและการขนส่ง การสาธารณูปโภค สาธารณูปการ บริการสาธารณะ และสภาพแวดล้อม เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของการผังเมือง [4] โดยมีขั้นตอนการวางและจัดทำผังเมืองรวม ตามพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2562 มีทั้งสิ้น 8 ขั้นตอน [5] โดยผังเมืองรวมที่ผ่านการประชุมเพื่อพิจารณาร่างผังเมืองรวมโดยกรมโยธาธิการและผังเมืองในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นผังเมืองรวมที่มีการวิเคราะห์ทางวิชาการที่สมบูรณ์

การกำหนดจำนวนตัวอย่างผังเมืองรวมที่ผ่านการประชุมเพื่อพิจารณาร่างผังเมืองรวมโดยกรมโยธาธิการและผังเมืองในขั้นตอนที่ 2 เป็นอย่างน้อย จำนวน 36 ตัวอย่าง โดยการวิจัยจะใช้ผังเมืองรวมจำนวน 33 ตัวอย่างสำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอยสหสัมพันธ์ และ ใช้ผังเมืองรวมจำนวน 3 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแบบจำลอง ตัวอย่างผังเมืองรวมสำหรับสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมเมืองอุดรธานี ผังเมืองรวมเมืองสิงห์บุรี ผังเมืองรวมเมืองปราจีนบุรี ผังเมืองรวมเมืองตราด ผังเมืองรวมเมืองเพชรบุรี ผังเมืองรวมเมืองสกลนคร ผังเมืองรวมเมืองราชบุรี ผังเมืองรวมเมืองบ้านบึง ผังเมืองรวมชุมชนชายแดนเขมราช ผังเมืองรวมชุมชนแกลง และ ผังเมืองรวมเมืองศรีราชา ผังเมืองรวมเมืองบางละมุง ผังเมืองรวมชุมชนพุทธมณฑล พ.ศ.2566 ผังเมืองรวมเมืองนครราชสีมา ผังเมืองรวมเมืองระยอง ผังเมืองรวมบริเวณอุตสาหกรรมหลักและชุมชนจังหวัดระยอง ผังเมืองรวมเมืองสมุทรสงคราม ผังเมืองรวมเมืองนครศรีธรรมราช ผังเมืองรวมชุมชนท่าเรือน้ำลึก ผังเมืองรวมเมืองบางคล้า ผังเมืองรวมเมืองพัทยา ผังเมืองรวมชุมชนคลองแม่ลาย ผังเมืองรวมชุมชนไพศาลี ผังเมืองรวมชุมชนเวียงฝาง ผังเมืองรวมชุมชนบรรพตพิสัย ผังเมืองรวมเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษกาญจนบุรี ผังเมืองรวมชุมชนชานุมาน ผังเมืองรวมเมืองนครนายก ผังเมืองรวมเมืองสมุทรสาคร ผังเมืองรวมชุมชนดำเนินสะดวก-ศรีดอนไผ่-ประสาทสิทธิ์ ผังเมืองรวมชุมชนโพธิ์ทอง และ ผังเมืองรวมชุมชนสรรพยา ส่วนผังเมืองรวมสำหรับทดสอบแบบจำลอง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมชุมชนพนม ผังเมืองรวมเมืองบางระจัน และผังเมืองรวมชุมชนสามง่ามท่าโบสถ์

การกำหนดตัวแปรและการรวบรวมข้อมูล

การกำหนดตัวแปร การวิจัยจะกำหนดตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร จำแนกเป็นตัวแปรต้น (Independent variable) และตัวแปรตาม (Dependent variable) ประกอบด้วย พื้นที่อนุรักษ์ (Y) เป็นตัวแปรตาม พื้นที่ผังเมืองรวม (X_1) พื้นที่พัฒนาชุมชน (X_2) พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (X_3) และ จำนวนประชากรคาดการณ์ (X_4) เป็นตัวแปรต้น จำนวนประชากรคาดการณ์หมายถึง จำนวนประชากรที่คาดการณ์จากผลการศึกษาจากการจัดทำผังเมืองรวมแต่ละแห่ง เป็นจำนวนประชากรคาดการณ์ที่ผังเมืองรวมต้องรองรับได้อย่างเหมาะสมในอนาคต ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลของผังเมืองรวมเมืองอุดรธานี แสดงรูปที่ 4 และตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลผังเมืองรวม 5 ตัวอย่างจาก 36 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 1 พื้นที่อนุรักษ์เป็นประเด็นสำคัญในการบริหารจัดการพื้นที่เมือง การควบคุมการขยายตัวของชุมชนให้เหมาะสมกับการป้องกันการเสื่อมลงของพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อยู่ของสัตว์เป็นสิ่งสำคัญ ความต้องการพักอาศัยที่มีมากขึ้นในขณะเกษตรกรมีจำนวนลดลง ทำให้พื้นที่อนุรักษ์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [6] ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมสัดส่วนของพื้นที่อนุรักษ์ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ผังเมืองรวม

ตัวแปร	ชื่อตัวแปร	หน่วย	ปริมาณ
Y	พื้นที่อนุรักษ์	ตร.กม.	922.95
X_1	พื้นที่ผังเมืองรวม	ตร.กม.	1,138.49
X_2	พื้นที่พัฒนาชุมชน	ตร.กม.	79.46
X_3	พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม	ตร.กม.	5.15
X_4	จำนวนประชากรคาดการณ์	คน	521,793



รูปที่ 4 ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลของผังเมืองรวมเมืองอุดรธานี

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างผังเมืองรวมจำนวน 5 ตัวอย่าง

ลำดับที่	ชื่อผังเมืองรวม	Y (ตร.กม.)	X_1 (ตร.กม.)	X_2 (ตร.กม.)	X_3 (ตร.กม.)	X_4 (คน)
1	ผังเมืองรวมเมืองอุดรธานี	922.95	1,138.49	79.46	5.15	521,793
2	ผังเมืองรวมเมืองสิงห์บุรี	85.71	114.15	17.65	0.00	56,780
3	ผังเมืองรวมเมืองชัยภูมิ	21.91	37.55	11.18	0.24	44,300
4	ผังเมืองรวมเมืองปราจีนบุรี	357.34	449.11	13.37	0.00	139,345
5	ผังเมืองรวมเมืองตราด	601.23	938.61	23.83	0.37	116,770

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์

การวิเคราะห์แบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ จะกำหนดเงื่อนไขในการพัฒนาแบบจำลอง ประกอบด้วย ค่า $R^2 > 0.80$ ค่า $F > F_{1-\infty,k-1,n-k}$ ค่า P-Value ของแต่ละตัวแปร < 0.05 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวแปรตาม และ ตัวแปรต้น กำหนดสมมติฐาน H_o คือ ตัวแปรตามและตัวแปรต้นไม่มีความสัมพันธ์กัน และ H_1 คือ ตัวแปรตามและตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กัน ถ้าค่า P-Value < 0.05 จะเป็นการไม่ยอมรับสมมติฐาน H_o และค่า R^2 ที่มากกว่าร้อยละ 80 จะทำให้แบบจำลองสามารถอธิบายผลการวิเคราะห์ได้เหมาะสม [7]

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_4 + a_4X_4 \qquad (1)$$

โดยที่ค่า a_0 a_1 a_2 a_3 และ a_4 เป็นค่าสัมประสิทธิของแบบจำลอง

Y คือ ตัวแปรตาม (พื้นที่อนุรักษ์ หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

X_1 คือ ตัวแปรต้น (พื้นที่ผังเมืองรวม หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

X_2 คือ ตัวแปรต้น (พื้นที่พัฒนาชุมชน หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

X_3 คือ ตัวแปรต้น (พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

X_4 คือ ตัวแปรต้น (จำนวนประชากรคาดการณ์ หน่วย: คน)

การทดสอบแบบจำลอง เป็นการเปรียบเทียบค่าพื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลอง (Predicted Conservation Area: PCA) กับ พื้นที่อนุรักษ์ที่กำหนดจากผังเมืองรวม (Conservation Area: CA) จากสมการที่ 2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจริงเปรียบเทียบกับค่าคาดการณ์แบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ที่ร้อย 11 จะแปรความหมายว่าต่ำกว่าค่าวิกฤติ [8] ดังนั้นในการศึกษานี้จะกำหนดให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า 15 จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{ABS(PCAi - CAi)}{CAi} x100 \qquad (2)$$

โดยที่ PCA_i คือ พื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์แต่ละแห่ง (หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

CA_i คือ พื้นที่อนุรักษ์ที่กำหนดจากผังเมืองรวมแต่ละแห่ง (หน่วย: ตารางกิโลเมตร)

ABS คือ ค่าสัมบูรณ์ของ $PCA_i - CA_i$

ผลการทดลองและวิจารณ์

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์

ผลการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 33 ตัวอย่าง พบว่า มีค่า R^2 = 0.89 (มากกว่า 0.80) หมายถึงตัวต้นและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ค่า F = 57.67 $F_{0.95,4,28}$ = 2.7141 ($F > F_{0.95,4,28}$) หมายถึงมีตัวอย่างผังเมืองรวมอย่างน้อย 1 ตัวอย่างจะแตกต่างไปจากตัวอย่างอื่น ค่าสัมประสิทธิ และ P-Value ของแต่ละตัวแปรแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ตัวแปรที่ค่า P-Value < 0.05 คือ X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม และ X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม ผลการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ 3

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ และ P-Value ขอตัวอย่างผังเมืองรวม 33 ตัวอย่าง

	Coefficients	*P-value*
Intercept	-15.270	0.476
X Variable 1	0.693	$7.64x10^{-14}$
X Variable 2	-0.272	0.691
X Variable 3	-2.052	0.002
X Variable 4	0.000	0.423

$$Y = 0.693\ (X_1) - 2.052\ (X_3) \qquad (3)$$

เมื่อนำแบบจำลองจากสมการที่ 3 มาทดสอบกับตัวอย่างผังเมืองรวม 3 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมชุมชนพนม ผังเมืองรวมเมืองบางระจัน และ ผังเมืองรวมชุมชนสามง่ามท่าโบสถ์ โดยพื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลอง (ตร.กม.) มีค่าเท่ากับ 158.14, 83.91 และ 1.30 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่อนุรักษ์ในผังเมืองรวม (ตร.กม.) มีค่าเท่ากับ 74.11, 111.30 และ 0.79 ตามลำดับ ดังนั้นพื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากผังเมืองรวมจะแตกต่างจากพื้นที่อนุรักษ์ในผังเมืองรวมอยู่ร้อยละ 113.39, 24.61 และ 65.21 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนจาการทดสอบแบบจำลองมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีผังเมืองรวมเมืองบางระจันเท่านั้นที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดที่ร้อยละ 24.61 ในภาพรวม “ผังเมืองรวมเมือง” จะมีความเป็นชุมชนหนาแน่นมากกว่า “ผังเมือรวมชุมชน” ดังนั้นอาจแปรผลได้ว่าผังเมืองรวมเมืองจะมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายพื้นที่อนุรักษ์น้อยกว่าผังเมืองรวมชุมชน

แบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากสมการที่ 3 จะมีค่าสัมประสิทธิหน้าตัวแปร X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม เท่ากับ 0.693 หมายถึง ถ้ามีพื้นที่ผังเมืองรวม 1 ตารางกิโลเมตร ต้องมีการกำหนดพื้นที่อนุรักษ์ (Y) ขนาด 0.693 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 69.3 ของพื้นที่ผังเมืองรวม แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรมจะพบผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันโดยมีค่าสัมประสิทธิหน้าตัวแปร X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม เท่ากับ -2.052 หมายถึง ถ้าในผังเมืองรวมมีพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (X_3) ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร จะส่งผลให้พื้นที่อนุรักษ์ลดลงมากถึง 2.052 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรมจะส่งผลต่อพื้นที่อนุรักษ์เป็นอย่างมาก

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ด้วยการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผังเมืองรวม

กรณีผลการทดสอบแบบจำลองพบว่าผังเมืองรวมเมืองบางระจันซึ่งมีความเป็นชุมชนระดับศูนย์กลางการให้บริการจะมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายพื้นที่อนุรักษ์น้อยกว่าผังเมืองรวมชุมชนพนมและผังเมืองรวมชุมชนสามง่ามท่าโบสถ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดลองสร้างแบบจำลองโดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเฉพาะผังเมืองรวมที่มีความเป็นศูนย์กลางการให้บริการ และ เป็นการดำเนินการตามกรอบของพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2562 จำนวน 14 ตัวอย่าง จำแนกเป็นสำหรับสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ 12 ตัวอย่างและใช้ทดสอบแบบจำลอง 2 ตัวอย่าง ผังเมืองรวมสำหรับใช้สร้างแบบจำลอง 12 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมเมืองอุดรธานี ผังเมืองรวมเมืองสิงห์บุรี ผังเมืองรวมเมืองปราจีนบุรี ผังเมืองรวมเมืองตราด ผังเมืองรวมเมืองเพชรบุรี ผังเมืองรวมเมืองสกลนคร ผังเมืองรวมเมืองราชบุรี ผังเมืองรวมเมืองบ้านบึง ผังเมืองรวมชุมชนชายแดนเขมราช ผังเมืองรวมชุมชนแกลง และ ผังเมืองรวมเมืองศรีราชา ผังเมืองรวมที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองมี 2 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมเมืองบางละมุง และ ผังเมืองรวมชุมชนพุทธมณฑล พ.ศ.2566

ผลการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 12 ตัวอย่าง พบว่า มีค่า R^2 = 0.99 (มากกว่า 0.80) หมายถึงตัวต้นและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ค่า F = 115.52 $F_{0.95,4,7}$ = 4.1203 ($F > F_{0.95,4,7}$) หมายถึงมีตัวอย่างผังเมืองรวมอย่างน้อย 1 ตัวอย่างจะแตกต่างไปจากตัวอย่างอื่น ค่าสัมประสิทธิ และ P-Value ของแต่ละตัวแปรแสดงดังตารางที่ ซึ่งพบว่า ตัวแปรที่ค่า P-Value < 0.05 คือ X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม และ X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม ผลการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ 4

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ และ P-Value ของ 12 ตัวอย่าง

	Coefficients	*P-value*
Intercept	2.828	0.911
X Variable 1	0.672	$4.14x10^{-6}$
X Variable 2	0.260	0.880
X Variable 3	-3.116	0.011
X Variable 4	0.000	0.365

$$Y = 0.672\ (X_1) - 3.116\ (X_3) \qquad (4)$$

เมื่อนำแบบจำลองจากสมการที่ 4 มาทดสอบกับตัวอย่างผังเมืองรวม 2 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ผังเมืองรวมเมืองบางละมุง และ ผังเมืองรวมชุมชนพุทธมณฑล พ.ศ.2566 โดยพื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลอง (ตร.กม.) มีค่าเท่ากับ 330.94 และ 61.57 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่อนุรักษ์ในผังเมืองรวม (ตร.กม.) มีค่าเท่ากับ 289.19 และ 53.81 ตามลำดับ ดังนั้นพื้นที่อนุรักษ์ที่คาดการณ์จากแบบจำลองจะแตกต่างจากพื้นที่อนุรักษ์ในผังเมืองรวมอยู่ร้อยละ 14.44 และ 14.42 ตามลำดับ (จากสมการที่ 2) ซึ่งพบว่าความคลาดเคลื่อนจาการทดสอบแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 15 และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการสร้างแบบจำลองจาก 33 ตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ การจัดกลุ่มของผังเมืองให้มีลักษณะเป็นศูนย์กลางการให้บริการเหมือนกันจะทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

แบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากสมการที่ 4 มีค่าสัมประสิทธิหน้าตัวแปร X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม เท่ากับ 0.671 หมายถึง ถ้ามีพื้นที่ผังเมืองรวม 1 ตารางกิโลเมตร ต้องมีการกำหนดพื้นที่อนุรักษ์ (Y) ขนาด 0.671 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 67.1 ของพื้นที่ผังเมืองรวม ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิที่ไม่แตกต่างจากสมการที่ 2 แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรมจะพบผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิหน้าตัวแปร X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม เท่ากับ -3.116 หมายถึง ถ้าในผังเมืองรวมมีพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม (X_3) ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร จะส่งผลให้พื้นที่อนุรักษ์ลดลงมากถึง 3.116 ตารางกิโลเมตร ซึ่งค่าสัมประสิทธิจะแตกต่างจากสมการที่ 2 พอสมควร การเพิ่มพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรมในผังเมืองรวมระดับศูนย์กลางการให้บริการ จะส่งผลต่อพื้นที่อนุรักษ์ที่ลดลงมากกว่าผังเมืองที่ไม่เป็นระดับศูนย์กลาง การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์ด้วยการจัดกลุ่มผังเมืองรวมที่มีลักษณะเป็นศูนย์กลางการให้บริการจะสร้างแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือได้มากกว่า เนื่องจากผลการทดสอบแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 15

สรุป

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากกลุ่มตัวอย่างผังเมืองรวมจำนวน 33 ตัวอย่าง จะให้แบบจำลองที่ยอมรับได้ที่ค่า R^2 = 0.89 โดยมีตัวแปร X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม และ X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม เป็นตัวแปรที่ถูกคัดเลือก โดยถ้ามีพื้นที่ผังเมืองรวม 1 ตารางกิโลเมตร จะต้องมีพื้นที่อนุรักษ์ประมาณ 0.693 ตารางกิโลเมตร แต่ถ้ามีการกำหนดพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม 1 ตารางกิโลเมตร จะทำให้พื้นที่อนุรักษ์ลดลงประมาณ 2.052 ตารางกิโลเมตร ตามสมการที่ 2 แต่ผลการทดสอบแบบจำลองกับผังเมืองรวมจำนวน 3 ตัวอย่าง กลับพบความคลาดเคลื่อนอย่างมากโดยเฉพาะตัวอย่างผังเมืองรวมชุมชน ทำให้สมการที่ 2 อาจมีข้อจำกัดในการใช้เป็นเครื่องมือประเมินความเหมาะสมของพื้นที่อนุรักษ์

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นสหสัมพันธ์จากการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผังเมืองรวมจำนวน 12 ตัวอย่าง จะให้แบบจำลองที่ยอมรับได้ ที่ค่า R^2 = 0.99 โดยมีตัวแปร X_1 พื้นที่ผังเมืองรวม และ X_3 พื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม เป็นตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเช่นเดียวกัน โดยถ้ามีพื้นที่ผังเมืองรวม 1 ตารางกิโลเมตร จะต้องมีพื้นที่อนุรักษ์ประมาณ 0.672 ตารางกิโลเมตร แต่ถ้ามีการกำหนดพื้นที่พัฒนาอุตสาหกรรม 1 ตารางกิโลเมตร จะทำให้พื้นที่อนุรักษ์ลดลงประมาณ 3.116 ตารางกิโลเมตร และผลการทดสอบแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 14 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ผู้สนับสนุนด้านเวลาและโอกาสในการการวิจัย ขอขอบคุณกรมโยธาธิการและผังเมืองและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการสนับสนุนข้อมูลประกอบการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการจนแล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม 2549 สำนักพัฒนามาตรฐาน กรมโยธาธิการและผังเมือง สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2567.

[2] ชิษณุ อัมพรายน์ โยธิน มัชฌิมาดิลก และ สุรพันธ์ สันติยานนท์ (2563), การหาความสัมพันธ์ของพื้นที่ถนนกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการวางผังเมืองรวมด้วยแบบจำลองต้นไม้เพื่อการตัดสินใจ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 พัทยา จังหวัดชลบุรี 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า 1682-1687

[3] ชิษณุ อัมพรายน์ และ สุรพันธ์ สันติยานนท์ (2565), การหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ถนนสายหลักกับปัจจัยที่ใช้ในการวางผังเมืองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 จังหวัดเชียงราย 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า TRL25

[4] พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ.2562 ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 136 ตอนที่ 71 ก. วันที่ 29 พฤษภาคม 2562

[5] ผังเมืองรวมเมืองยะลา การประชุมรับฟังความคิดเห็นของประชาชนก่อนจัดทำร่างผังเมืองรวม ครั้งที่ 2 วันที่ 18-19 ธันวาคม 2566 จังหวัดยะลา

[6] Millington J. and Romero-Calcerrada R., 2007. Regression techniques for examining land use/cover change : A case study of Mediterranean landscape. Article in Ecosystems (2007) 10 : 562-578

[7] Kriswarini D I., 2022. Land value prediction model in the urban fringe region using multiple regression algorithm. Journal of Marine-Earth Science Technology, Volume 2 Issue 3 ISSN: 2774-5449

[8] Carbonara S., Faustoferry M and Stafano D., 2021. Real estate values and urban quality: A multiple linear regression model for defining an urban quality index. Sustainability 2021, 13, 13635. https://doi.org/10.3390/su132413635

09R3-09

การบริหารจัดการน้ำเสียหน่วยไตเทียมในโรงพยาบาล

Management of Wastewater from Hemodialysis Units in Hospitals

ภูดิศ พัฒนสัตยวงศ์[1*] และ พีรกานติ์ บรรเจิดกิจ[2]
Phudis Pattanasattayavong[1*] and Peerakarn Banjerdkij[2]
[1*]นิสิต ; [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900
*โทรศัพท์ : 0964019638, E-mail : phudis.p@ku.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้ เพื่อศึกษาหาแนวทางการลดผลกระทบจากของน้ำเสียของหน่วยไตเทียมต่อระบบบำบัดเสียส่วนกลางของโรงพยาบาลที่จะส่งผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งโดยรวม และเสนอแนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียหน่วยไตเทียมในโรงพยาบาล ด้วยการประเมินเทคโนโลยีจัดการน้ำเสียที่เหมาะสม ทั้งในรูปแบบของเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย หรือวิธีการบริหารจัดการน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาลในประเทศไทย

โดยใช้การรวบรวมและประเมินข้อมูลด้านปริมาณของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการบำบัดรักษาผู้ป่วยในหน่วยไตเทียมจากพื้นที่ศึกษาโรงพยาบาลตัวอย่างจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด โรงพยาบาลชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา และโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า จังหวัดนนทบุรี โดยใช้พารามิเตอร์ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาล และศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียหน่วยไตเทียมโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า จังหวัดนนทบุรี

และได้นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาเพื่อเสนอเทคโนโลยีการบำบัดแบบ Pre-treatment ที่แหล่งกำเนิด เพื่อเปรียบทางเลือกต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ทางเลือก คือ ระบบ Ultrafiltration, ระบบ Reverse osmosis และ Dilution Technique โดยสรุปว่าในการจัดการ Total Dissolved solids (TDS) ในน้ำเสียหน่วยไตเทียม โดยแนวทางการบริหารจัดการและเกณฑ์การออกแบบเพื่อกำจัด TDS สามารถส่งเสริมโดยเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่แหล่งกำเนิดที่กระบวนการสามารถลดค่า TDS ด้วยเทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อกรอง โดยประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับอัตราค่าธรรมเนียมการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานครอยู่ระหว่าง 4-8 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือใช้กระบวนการบริหารจัดการกลุ่มอาคารประกอบการ Dilution Technique.มาใช้ประกอบกัน

คำสำคัญ : โรงพยาบาล; หน่วยไตเทียม; ของแข็งละลายทั้งหมด; อัลตราฟิลเตรชัน; รีเวอร์สออสโมซิส; เทคนิคการเจือจาง

Abstract

This research is to study using wastewater treatment technology (2 alternatives) or wastewater management so as to reduce the impact of wastewater from hemodialysis units on the central wastewater treatment system in hospitals.

Data Analysis from Phanomphrai Hospital Roi Et., Chum Phuang Hospital Nakhon Ratchasima and Phra Nang Klao Hospital Nonthaburi.

Wastewater treatment technology (Pre - Treatment) compare in 2 alternatives in this study; (1) Ultrafiltration (2) Reverse osmosis and evaluate options along with wastewater management (Dilution Technique). The objective is to reduce the TDS of wastewater at the source. Estimating wastewater treatment costs not to exceed 2 baht per cubic meter.

Keywords : Hospital; Hemodialysis unit; Total Dissolved solids; Ultrafiltration; Reverse Osmosis; Dilution Technique

บทนำ

ปัญหาด้านการจัดการน้ำเสียจากโรงพยาบาลยังคงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญในประเทศไทย ซึ่งน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาลที่มีสารมลพิษปนเปื้อนอยู่ รวมทั้งเชื้อโรค สารอินทรีย์ สารรังสี สารเคมี ตลอดจนยาปฏิชีวนะต่าง ๆ หากไม่ได้รับการควบคุมดูแลและบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศและอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในการดำเนินการของหน่วยไตเทียมภายในโรงพยาบาลที่จะก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการต่าง ๆ ทั้งการเตรียมน้ำ RO น้ำทิ้งจากกระบวนการรักษา หรือการใช้สารเคมีสำหรับเตรียมอุปกรณ์ในกระบวนการรักษา โดยจะเกิดการทิ้งน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีและปนเปื้อนค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids : TDS) ที่สูงมาก [1] ซึ่งปริมาณน้ำเสียจากหน่วยไตเทียมเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากนโยบายด้านสุขภาพของภาครัฐที่บริการฟอกไตฟรีตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2565 เป็นต้นมา ดังนั้นหากน้ำเสียจากกิจกรรมฟอกไตไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของโรงพยาบาล และเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศภายนอกได้

โดยมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของสถานพยาบาลตามกฎหมายและตามแนวปฏิบัติที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังไม่มีข้อกำหนดหรือแนวทางเฉพาะ สำหรับน้ำทิ้งจากหน่วยไตเทียมภายในสถานพยาบาล งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาจากสถานพยาบาล รวมทั้งศึกษาเทคโนโลยีการบำบัดและทางเลือกในการจัดการ TDS ในน้ำเสีย เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อแนะนำพร้อมแนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียจากหน่วยไตเทียมโดยใช้กระบวนการ Pre-treatment ที่แหล่งกำเนิด [2] เพื่อลดภาระการบำบัดและลดผลกระทบต่อระบบบำบัดเสียส่วนกลางของโรงพยาบาลที่จะส่งผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งโดยรวม ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำเสียจากหน่วยไตเทียม โดยการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา รวมถึงให้ได้ซึ่งเกณฑ์การออกแบบเพื่อกำจัด TDS และตัวอย่างการใช้ Dilution Technique [3] ที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาลในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียหน่วยไตเทียมในโรงพยาบาล ด้วยการประเมินเทคโนโลยีจัดการน้ำเสียที่เหมาะสม ทั้งในรูปแบบของเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย หรือวิธีการบริหารจัดการน้ำเสีย

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้เป็นการรวบรวมและประเมินข้อมูลด้านปริมาณของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อการบำบัดรักษาผู้ป่วย 1 คน ในหน่วยไตเทียมจากพื้นที่ศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียรวมในช่วงพ.ศ.2563 -2566 ด้วยการเลือกโรงพยาบาลตัวอย่างจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด โรงพยาบาลชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา และโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า จังหวัดนนทบุรี โดยใช้พารามิเตอร์ตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาล และศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียหน่วยไตเทียมโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า จังหวัดนนทบุรี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาเพื่อเสนอเทคโนโลยีการบำบัดแบบ Pre-treatment ที่แหล่งกำเนิด เพื่อเปรียบทางเลือกต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ทางเลือก คือ ระบบ Ultrafiltration, ระบบ Reverse osmosis และ Dilution Technique ในการจัดการ TDS ในน้ำเสียหน่วยไตเทียม โดยนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการและเกณฑ์การออกแบบเพื่อกำจัด TDS ที่แหล่งกำเนิดจากน้ำเสียหน่วยไตเทียมที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาล

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการรวบรวมข้อมูลของโรงพยาบาลพนมไพร อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด ในช่วง พ.ศ. 2563-2565 พบว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่ตรวจวัดจากหน่วยไตเทียมมีค่าโดยเฉลี่ย 990-1,350 มก./ลิตร ในขณะที่ ค่า TDS ที่บ่อคลอรีนก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าโดยเฉลี่ยมากกว่า 500 มก./ลิตร ตลอดระยะเวลา 3 ปี ที่ทางโรงพยาบาลมีหน่วยไตเทียมอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ข้อมูลของโรงพยาบาลชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา ในช่วง พ.ศ. 2564-2566 พบว่า ค่า TDS โดยเฉลี่ยของน้ำทิ้งมีค่าอยู่ระหว่าง 475-868 มก./ลิตร ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นของค่า TDS เนื่องจากทางโรงพยาบาลชุมพวงมีการเพิ่มหน่วยไตเทียม เช่นเดียวกับโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า จังหวัดนนทบุรี ที่ได้ลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่า TDS จากแหล่งกำเนิด 3 อาคาร ได้แก่ อาคารจินดามณี (อาคารผู้ป่วยนอก) อาคาร 18 ชั้น (อาคารผู้ป่วยใน) และอาคารเงินถุงแดง (หน่วยไตเทียม) พบว่า ค่า TDS ในน้ำเสียจากอาคารเงินถุงแดงมีค่าเฉลี่ย 3,500 มก./ลิตร ซึ่งสูงกว่าน้ำเสียจากอาคารผู้ป่วยนอก 20 เท่า

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากโรงพยาบาลจำนวน 3 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียด้วยการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดเป็นการเบื้องต้น ด้วยการเสนอเทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อกรองได้แก่ ระบบ Ultrafiltration และระบบ Reverse osmosis ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีประเมินค่าใช้จ่ายไม่ควรเกิน 2.0 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสียจึงเหมาะสมต่อการนำเทคโนโลยีไปใช้ เมื่อเทียบกับอัตราค่าธรรมเนียมการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานครอยู่

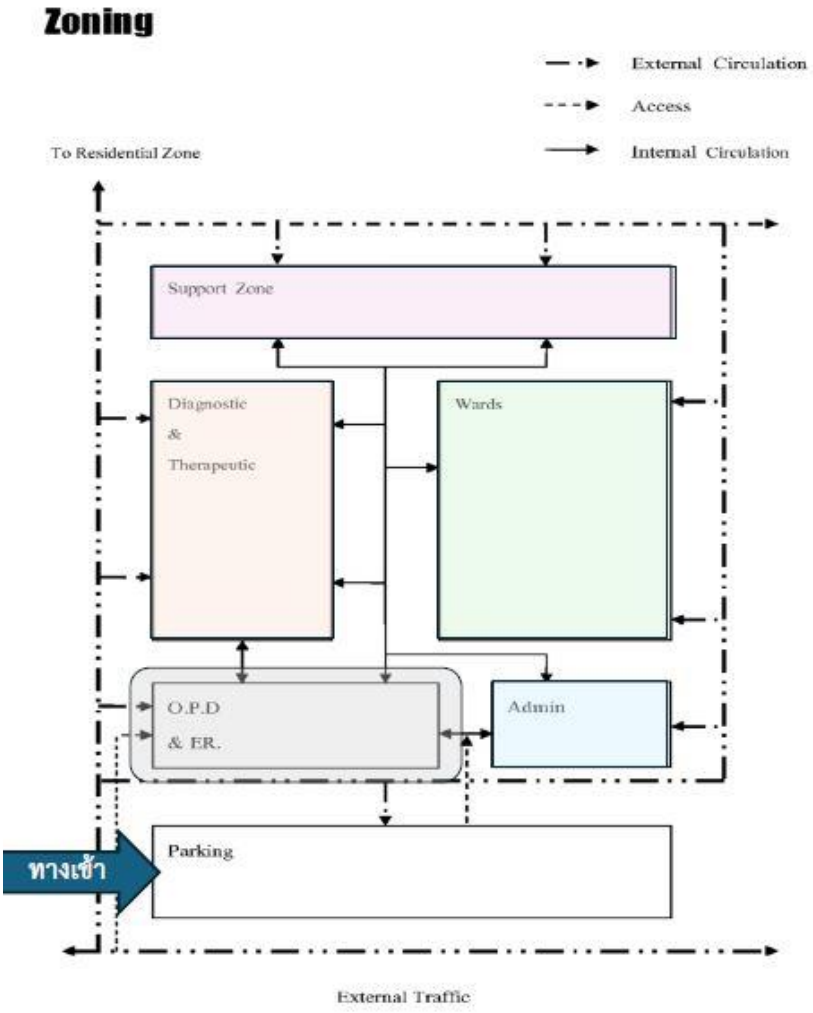
ระหว่าง 4-8 บาทต่อลูกบาศก์เมตร [4] ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางที่สามารถนำมาเสริมการจัดการความเข้มข้นของ TDS ในน้ำเสียโรงพยาบาลจากทุกกิจกรรมในโรงพยาบาลคือ Dilution Technique และอีกแนวทางหนึ่งที่เสนอคือการบริหารจัดการรูปแบบกลุ่มอาคารให้สอดคล้องกับแนวทางการจัดกลุ่มอาคาร [5] ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อความเหมาะสมต่อกิจกรรมการปนเปื้อนน้ำเสียของโรงพยาบาล โดยแยกกลุ่มน้ำเสียประเภทติดเชื้อ และไม่ติดเชื้อ เพื่อสะดวกในการฆ่าเชื้อหรือควบคุมปริมาณเชื้อปนเปื้อนตั้งแต่แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากตัวอย่างโรงพยาบาล

พารามิเตอร์	ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โรงพยาบาลพนมไพร (พ.ศ.2563-2565)	ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โรงพยาบาลชุมพวง (พ.ศ.2563-2565)	ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โรงพยาบาลพระนั่งเกล้า (พ.ศ.2566)	อาคารเงินถุงแดง (หน่วยไตเทียม) โรงพยาบาลพระนั่งเกล้า
1. pH	7.72	8.36	7.5	7.73
2. Settleable solids (ml/l)	<0.1	<0.1	<0.1	-
3. Suspended solids (mg/l)	22.23	24.3	9.22	16.42
4. Total Dissolved solids (mg/l)	610	755.7	682.3	9719
5. BOD (mg/l)	18.10	13	5.4	-
6. COD (mg/l)	114.98	100	-	-
7. TKN (mg/l)	33.60	11.77	0.84	-
8. Sulfide (mg/l)	0.23	0	3.44	-
9. Fat, Oil and Grease (mg/l)	5.085	0.65	0.0024	-
10. Total Coliform Bacteria (MPN/100ml)	4325	2706	-	-
11. Fecal Coliform Bacteria (MPN/100ml)	872.5	350.9	-	-

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

	ระบบ Ultrafiltration	ระบบ Reverse Osmosis	ค่าธรรมเนียมบำบัดน้ำเสีย [4]
ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	2.0	6.0 – 10.0	4.0 – 8.0



รูปที่ 1 แผนภาพการไหล แนวทางการจัดการน้ำเสียโดยการบริหารจัดการรูปแบบกลุ่มอาคาร เพื่อใช้ Dilution Technique

สรุป

การศึกษาในครั้งนี้พบว่า ค่า TDS ที่เกิดจากกิจกรรมของหน่วยไตเทียม สามารถส่งผลกระทบอย่างมากต่อการบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ทำให้ค่า TDS ในน้ำทิ้งก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด ผู้วิจัยจึงเสนอเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่แหล่งกำเนิดด้วยกระบวนการที่สามารถลดค่า TDS ด้วยเทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อกรองและกระบวนการดูดซับ โดยประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับอัตราค่าธรรมเนียมการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานครอยู่ระหว่าง 4-8 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือใช้กระบวนการบริหารจัดการกลุ่มอาคารประกอบการ Dilution Technique มาใช้ประกอบกัน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งโครงงานนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงได้ดี ถ้าไม่มีผู้ที่คอยให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรกานติ์ บรรเจิดกิจ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่คอยให้ความกรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดการทำงานวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกๆ ท่าน ที่คอยอบรมสั่งสอนถ่ายทอดวิชาความรู้มาให้โดยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณโรงพยาบาลพนมไพร โรงพยาบาลชุมพวง และโรงพยาบาลพระนั่งเกล้า พร้อมด้วยเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการสนับสนุนผลวิเคราะห์น้ำเสีย การประสานงาน และการต้อนรับในการเข้าพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำเสียเป็นอย่างดี

และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท และปริญญาเอก รวมถึงน้องๆ นักศึกษาปริญญาตรี ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ในการประสานงาน การจัดทำผลวิเคราะห์น้ำเสีย และเป็นกำลังใจเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Mahdavi, A. Mahvi, M. Salehi, M. Sadani, H. Biglari, A. Ebrahimi, R. Yengejeh, A. Fatehizadeh. 2020. Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and ultrafiltration processes: case study in saveh-Iran Hospital. Desalination and Water Treatment. 274-283.

[2] N. Pushpalatha, V. Sreeja, R. Karthik and G. Saravanan. 2022. Total Dissolved Solids and Their Removal Techniques. International journal of environmental Sustainability and Protection. 2: 2737-5477.

[3] Lei Guo, Yiming Xie, Wenquan Sun, Yanhua Xu and Yongjun Sun. 2023. Research Progress of High-Salinity Wastewater Treatment Technology. Water. 15: 684.

[4] ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง การจัดเก็บค่าธรรมเนียมบำบัดน้ำเสีย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562.

[5] กระทรวงสาธารณสุข กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กองแบบแผน, 2558, คู่มือการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพและสภาพแวดล้อม ฉบับทั่วไป GENERAL.

10R1-01

ผลกระทบของฝนต่อการกระจายและการอุบัติของขยะพลาสติกในคลองระบายน้ำชุมชนโดยการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

Effect of Rainfall on Distribution and Occurrence of Macroplastic Litter in Tributary Canal via Deep Learning

สมชาย อัศวสงคราม[1] ชนาธิป สมบัติทอง[2] ณัฐนนท์ ตุลยานันต์[3] ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์[4] และ เจนยุกต์ โล่ห์วัชรินทร์[5*]
Somchai Asavasongkram[1] Chanathip Sombuttong[2] Natthanon Tunyanun[3]
Thanarat Chalidabhongse[4] and Jenyuk Lohwacharin[5*]
[1,3]นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา; [2]นิสิตระดับปริญญาบัณฑิต: [4]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; [5*]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม; คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330
โทรศัพท์ : 0 2218 6337, E-mail : Jenyuk.l@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกในทะเลส่วนใหญ่มาจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์ ขยะพลาสติกบางส่วนหลุดลอดลงสู่แหล่งน้ำหรือคลองระบายน้ำ แม่น้ำและไหลลงสู่ทะเลจนกลายเป็นสารตกค้าง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล ระบบนิเวศ และสุขภาพของมนุษย์ ขยะพลาสติกขนาดใหญ่ในคลองระบายน้ำส่วนหนึ่งเกิดจากการทิ้งโดยตรงและจากจุดกองทิ้งขยะในชุมชน ปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบต่อปริมาณการกระจายและปริมาณขยะพลาสติกในแหล่งน้ำ วิธีการดั้งเดิมในการประเมินปริมาณขยะพลา สติกมีข้อจำกัดในการตรวจวัดในหลายๆประการ งานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการใหม่ในการหาปริมาณขยะพลาสติกในคลองระบายน้ำโดยใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) และระบบการบันทึกภาพวิดีโอพร้อมระบบสตรีมมิ่ง ควบคู่ไปกับการใช้ Algorithm ของ Deep Learning ทางด้านคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) โดยพิจารณาการแยกแยะระหว่างขยะพลาสติกขนาดใหญ่กับขยะที่ไม่ใช่พลาสติกที่ลอยไหลผ่านคลองระบายน้ำชุมชน (คลองหลอดวัดราชนัดดา กทม.) และมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยของกระบวนการ Object Detection อยู่ที่ 59.8% และแบบจำลองนี้ยังมีกระบวนการติดตามวัตถุ (Object Tracking) ซึ่งมีค่าความแม่นยำในการนับหรือติดตามวัตถุในภาพวีดีโออยู่ที่ประมาณ 82.4% และนำไปใช้ตรวจนับปริมาณขยะจากภาพวีดีโอแบบต่อเนื่องได้ทำให้สามารถวิเคราะห์และประเมินปริมาณขยะตามแต่ละช่วงเวลา(รายชั่วโมง) ได้อย่างละเอียดมากกว่าการตรวจนับแบบดั้งเดิม สามารถประเมินผลกระทบของเหตุการณ์วันที่เกิดฝนตกและวันที่ไม่เกิดฝนตกต่อการกระจายและการอุบัติของขยะพลาสติกขนาดใหญ่ได้ ซึ่งผลของข้อมูลจากงานวิจัยนี้น่าจะนำไปใช้เป็นแนวทางในเชิงนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบในการบริหารจัดการหรือควบคุมเช่นกรุงเทพมหานคร(สำนักการระบายน้ำ) หรือกรมควบคุมมลพิษ เช่นนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดเป้าหมายหรือพื้นที่ที่ควรจะต้องมีการควบคุม/จัดการกับขยะพลาสติกได้ต่อไป

คำสำคัญ : ขยะพลาสติกขนาดใหญ่; การเรียนรู้เชิงลึก; ฝน; การตรวจจับภาพ; การตรวจจับการเคลื่อนตัวของวัตถุ

Abstract

Most plastic litter in the ocean may be originated from human's daily activities. Some plastic litter slipped into waterways, including drainage canals and rivers, and flows into the sea until it becomes a residue. It affects marine life, ecosystems, and human health. Some of the large plastic waste in tributary canals comes from direct dumping and from garbage dumps in the community. Rainfall has a considerable impact on the distribution and occurrence of plastic litter in waterways. Traditional methods for estimating the amount of plastic litter show limitations in many respects. This study introduces a new process to quantify plastic litter in drainage canals using closed-circuit television (CCTV) cameras and video recording and streaming systems, along with the use of Deep Learning algorithms.

The model was developed for use in an object detection by differentiating macroplastic litters from non-plastic litters floating in a community drainage canal (i.e. Klong Lod Wat Ratchanadda, Bangkok). The average precision of the object detection process is 59.8%. This model offers an object tracking process, which has a precision in tracking objects in the video by 82.4%. This technique is used to count litter quantity from the video, making it possible to analyze and evaluate litter quantity at each time period (hourly) in a greater detail than a manual counting. The impact of precipitation on the distribution and occurrence of macroplastic litter can be assessed. The results from this research serve as policy guidelines for agencies responsible for litter management, such as the Bangkok Metropolitan Administration (Bureau of Drainage) or the Pollution Control Department.

Keywords : Macroplastic Litter; Deep Learning; Precipitation; Object Detection; Object Tracking

บทนำ

ขยะพลาสติกในทะเลส่วนใหญ่มาจากกิจวัตรประจำวันของมนุษย์ ขยะพลาสติกบางส่วนหลุดลอดลงสู่แหล่งน้ำหรือคลองระบายน้ำ แม่น้ำและไหลลงสู่ทะเลจนกลายเป็นสารตกค้าง ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล ระบบนิเวศ และสุขภาพของมนุษย์ ขยะพลาสติกขนาดใหญ่หรือ Macroplastic (ขนาดใหญ่กว่า 5 ซม.) [1] ที่พบเจอภายในคลองระบายน้ำส่วนหนึ่งเกิดจากการทิ้งหรือปลดปล่อยโดยการกระทำของมนุษย์โดยตรง แต่บางส่วนมีสาเหตุจากจุดกองทิ้งขยะ (Hotspot) ในชุมชนหรือพื้นที่รกร้างและมีการนำขยะมากองทิ้งไว้ ซึ่ง Hotspot เหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปโดยเฉพาะชุมชนที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง

เหตุการณ์ฝนตกอาจส่งผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณการกระจายและปริมาณขยะพลาสติกในแหล่ง น้ำฝนที่ไหลผ่านจากพื้นที่มีแหล่งของจุด Hotspot มีโอกาสที่จะนำพาขยะพลาสติกขนาดใหญ่ลงสู่ทางน้ำใกล้เคียง ส่งผลให้มลพิษจากขยะพลาสติกรุนแรงขึ้นได้ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและการเกิดพลาสติกขนาดใหญ่ในลำคลองสาขายังคงมีการสำรวจไม่เพียงพอ กระบวนการประเมินปริมาณขยะพลาสติกที่ไหลผ่านลำน้ำแบบดั้งเดิมสามารถตรวจวัดได้หลายวิธี แต่ก็มีข้อจำกัดในการตรวจวัดในหลายๆประการเช่น ความต่อเนื่องในการนับตรวจ หรือในสภาพอากาศอาจเป็นอุปสรรคต่อการตรวจนับ

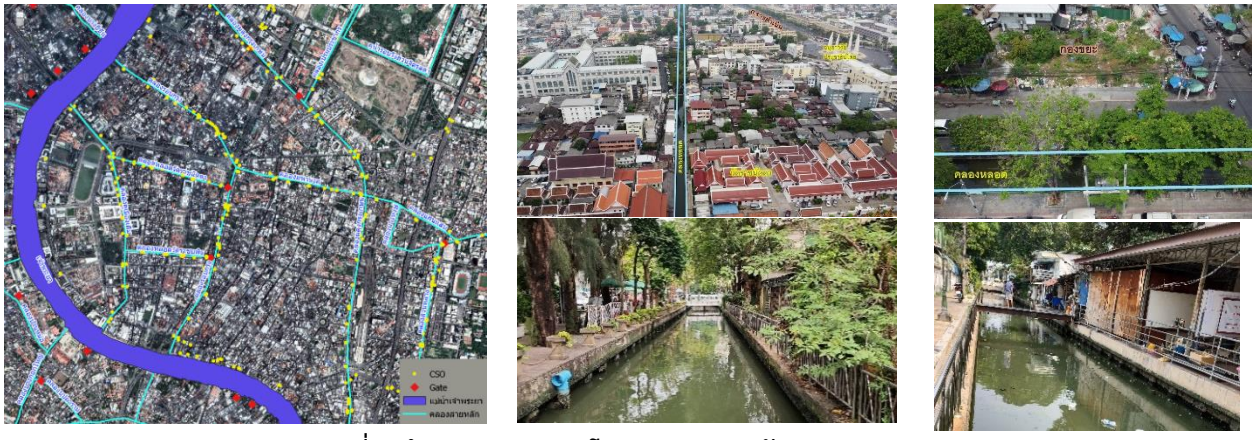
ด้วยการพัฒนาที่มากขึ้นในปัจจุบันของวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ทำให้ใช้ประโยชน์จากการพัฒนาดังกล่าว และสามารถนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์การบันทึกภาพเคลื่อนไหวที่ถูกพัฒนาให้สะดวกต่อการใช้งาน ประกอบกับการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างพื้นที่ที่ห่างไกลกันที่ทันสมัย สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินปริมาณและความเปลี่ยนแปลงของปริมาณขยะพลาสติกได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็วและละเอียดมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการใหม่ในการหาปริมาณขยะพลาสติกในคลองระบายน้ำโดยใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) และระบบการบันทึกภาพวิดีโอพร้อมระบบสตรีมมิ่ง ควบคู่ไปกับการใช้ Algorithm ของ Deep Learning ทางด้านคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเกิดฝนตกต่อการกระจายและการอุบัติของขยะพลาสติกขนาดใหญ่จาก Hotspot ลงสู่คลองระบายน้ำในชุมชน

อุปกรณ์และวิธีการ

จุดตรวจวัด

คลองระบายน้ำชุมชนใน กทม. “คลองหลอดวัดราชนัดดา” ความกว้างคลอง 5.2 เมตร บริเวณโดยรอบมีชุมชนที่พักอาศัยและท่อระบายน้ำเชื่อมต่อระบายน้ำลงสู่คลอง ประกอบกับมีพื้นที่รกร้างที่มีขยะชุมชนกองทิ้งอยู่ใกล้เคียงกับคลองด้วย **รูปที่ 1** แสดงสภาพโดยรวมของคลองหลอด

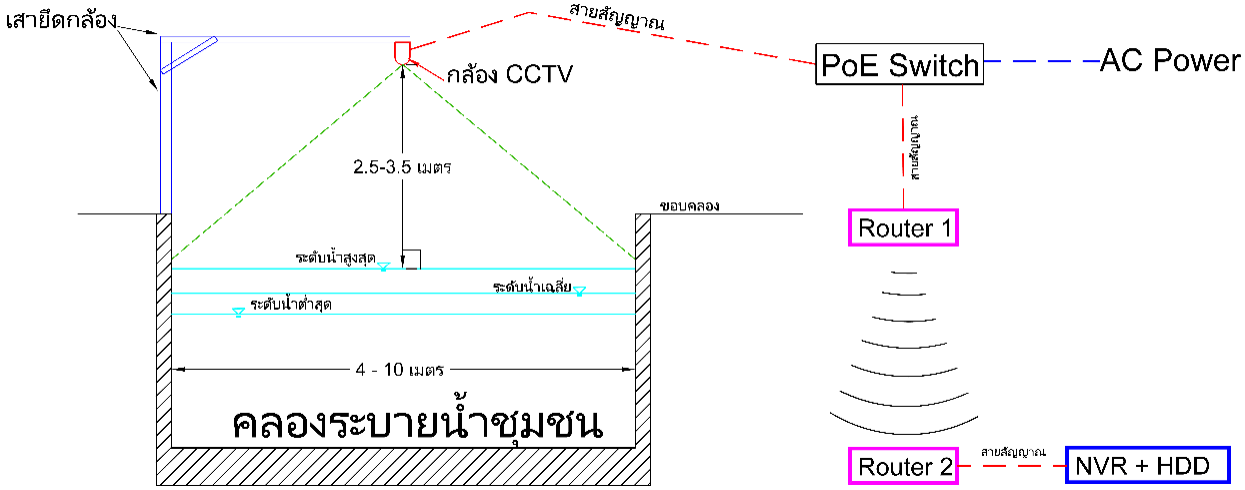


รูปที่ 1 ตำแหน่งและสภาพโดยรอบจุดตรวจวัด (คลองหลอด)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับภาพและบันทึกวีดีโอ

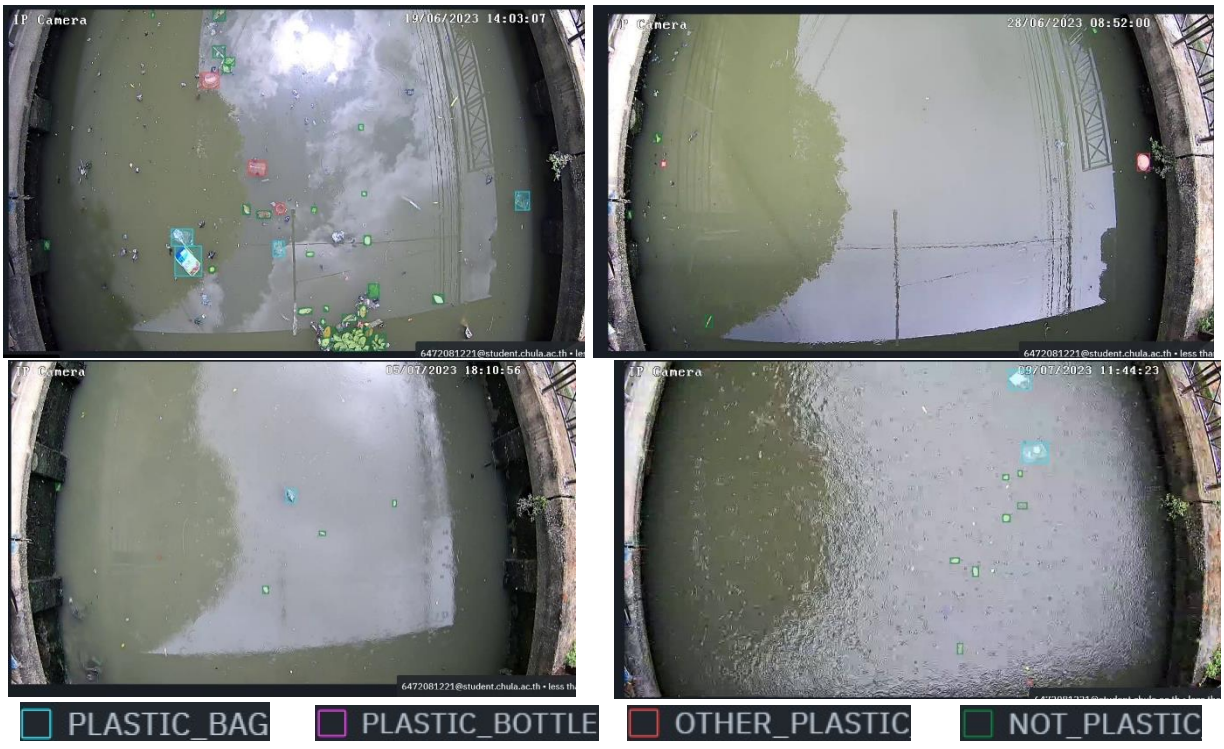
กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (กล้อง CCTV) : ความละเอียดภาพ 2 ล้านพิกเซล (1920x1080) ทางยาวโฟกัสเลนส์ 2.8 มม. ขนาดเซ็นเซอร์ (CMOS) 1 ต่อ 2.9 นิ้ว ประกอบยึดกับเสาเหล็กและตัวกล้องสูงจากผิวน้ำ 2.5 เมตรและทำมุมตั้งฉากกับผิวน้ำ โดยสามารถบันทึกภาพได้ครอบคลุมความกว้างของคลองระบายน้ำ ดังแสดงดัง**รูปที่ 2** ในส่วนการบันทึกภาพวีดีโอใช้เครื่องบันทึกภาพวีดีโอผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Network Video Record) พร้อม Hard Disk และ Router ส่งสัญญาณมายังหน่วยปฏิบัติการ และ **รูปที่ 3** แสดงแผนภาพอุปกรณ์ต่างๆ ในงานวิจัย

รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์จับภาพวีดีโอ คลองระบายน้ำในชุมชน(คลองหลอด)



รูปที่ 3 แผนภาพติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

แบบจำลองที่ใช้ในการตรวจนับ : อัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุแบบ real-time object detection YOLO เวอร์ชั่น 8 โดยกำหนดประเภทของวัตถุที่จำแนกเป็น 4 ประเภทคือ 1. ถุงพลาสติก 2.ขวดพลาสติก 3.ขยะพลาสติกอื่นๆ และ 4.ขยะที่ไม่ใช่พลาสติก และนำไปใช้ทำการจำแนกภาพนิ่ง (Object Detection) เพื่อดำเนินการในกระบวนการ Data Label (โดยมนุษย์)ของวัตถุหรือขยะลอยน้ำที่บันทึกได้ช่วงกลางวันในระหว่างเดือน มิ.ย. ถึง ส.ค. 2566 **รูปที่ 4** แสดงตัวอย่างภาพ และนำชุด Data Labeled ดังกล่าวไปสอบแบบจำลอง ซึ่งชุดข้อมูลถูกแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ Train, Validated and Test Data Set แสดงใน**ตารางที่ 1**



รูปที่ 4 ภาพตัวอย่างวัตถุลอยน้ำในคลองระบายน้ำชุมชนในกระบวนการ Data Label

ตารางที่ 1 จำนวนวัตถุแต่ละประเภทในขั้นตอนการ Trian แบบจำลอง

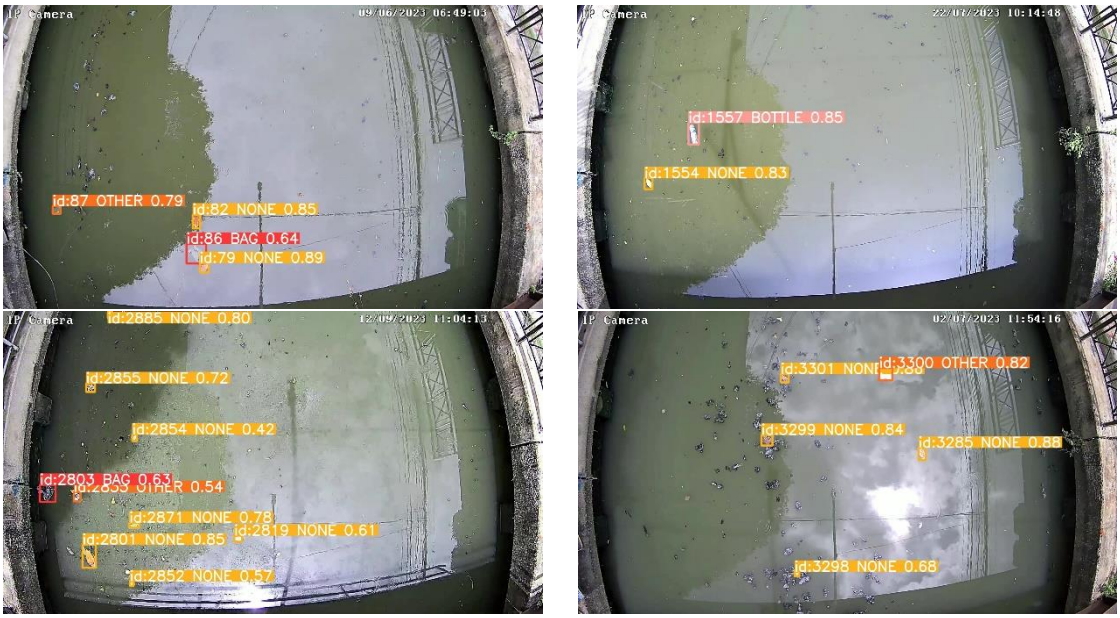
		จำนวนวัตถุ(ชิ้น) จำแนกโดยมนุษย์					สัดส่วนวัตถุ(%)				
ชุดข้อมูล	จำนวนภาพ	Bag	Bottle	Other	Non	รวม	Bag	Bottle	Other	Non	รวม
Train	1,589	1,002	354	1,368	9,548	**12,272**	8.2%	2.9%	11.1%	77.8%	100%
Validate	213	125	33	120	839	**1,117**	11.2%	3.0%	10.7%	75.1%	100%
Test	201	148	43	116	849	**1,156**	12.8%	3.7%	10.0%	73.4%	100%

หลังจากผ่านกระบวนการ Train แบบจำลองและได้ค่า mAP ที่ใกล้เคียง 60% แล้ว นำแบบจำลองมาพัฒนาและกำหนดค่าการตรวจจับการเคลื่อนตัวของวัตถุ (Object Tracking) โดยมีวัตถุประสงค์ในการค้นหาวัตถุที่ต้องการหรือวัตถุที่พิจารณาในลำดับเฟรมถัดไป โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัตถุนั้นๆในเฟรมแรก(วิถีของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง) โดยตำแหน่งของวัตถุกำหนดด้วยการตีกรอบหรือ Boundary Box ให้กับวัตถุเช่นเดียวกับการทำ Object Detection [2] โดยหลักการที่ว่าจะทำการระบุหมายเลขหรือ ID ให้กับวัตถุที่พิจารณาในภาพหรือวีดีโอนั้นๆ ซึ่ง ID ของวัตถุแต่ละรายการต่างๆ จะไม่ซ้ำ และทำการตรวจสอบค่าความแม่นยำในกระบวนการ Object Tracking ซึ่งจะพิจารณาสองกรณีคือกรณี 1 พิจารณาวัตถุเพียง 2 ประเภทเท่านั้นคือขยะพลาสติก(ขนาดใหญ่)และขยะที่ไม่ใช่พลาสติก กรณี 2 พิจารณาประเภทของวัตถุ 4 ประเภทเช่นเดียวกับในขั้นตอน Object Detection

ในขั้นตอนนี้นำวีดีโอจำนวน 9 ชุด (ช่วงเวลาไม่ซ้ำกับภาพนิ่งที่นำไป Train แบบจำลอง) ที่มีความยาว 6-21 นาทีมาทำการตรวจนับวัตถุโดยแบบจำลอง และนำไปเทียบกับผลการตรวจนับวัตถุโดยมนุษย์ โดยกำหนดให้แบบจำลองต้องมีค่าความแม่นยำ (Precision) ในขั้นตอน Object Tracking ไม่ต่ำกว่า 60% โดยค่าความแม่นยำหมายถึงสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นที่แบบจำลองคาดการณ์ถูกต้องต่อจำนวนที่แบบจำลองคาดการณ์การออกมาทั้งหมด [3] ดังแสดงในสมการที่ 1 และรูปที่ 5 แสดงภาพตัวอย่างในขั้นตอน Object Tracking ของแบบจำลองที่พัฒนา

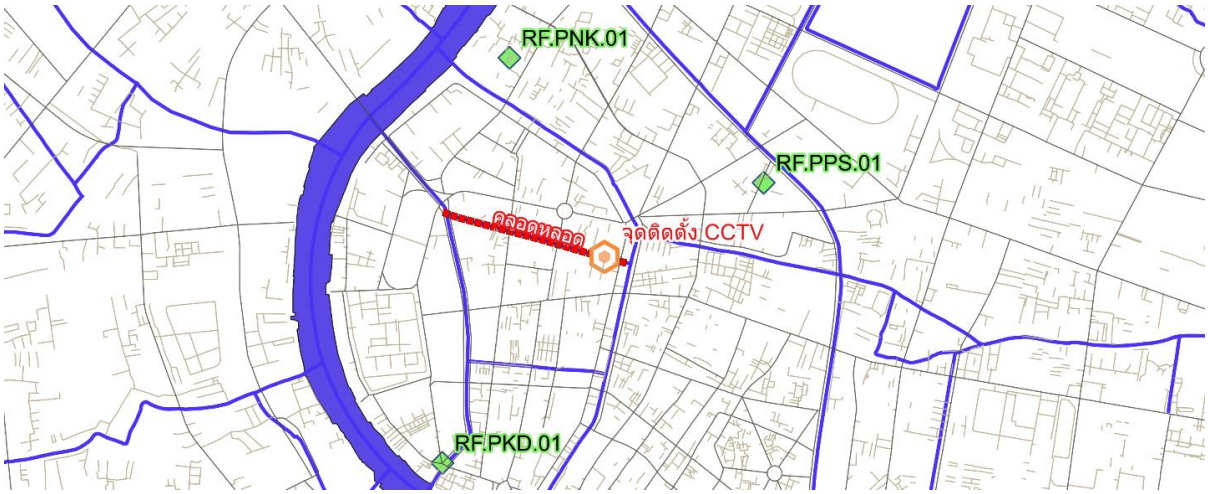
$$P\ (\text{Precision}) = \frac{TP}{(TP+FP)} \qquad (1)$$

TP = True Positive (แบบจำลองทำนายว่าจริงและคนตอบว่าจริง) FP = (แบบจำลองทำนายว่าจริงและคนตอบว่า*ไม่*จริง)

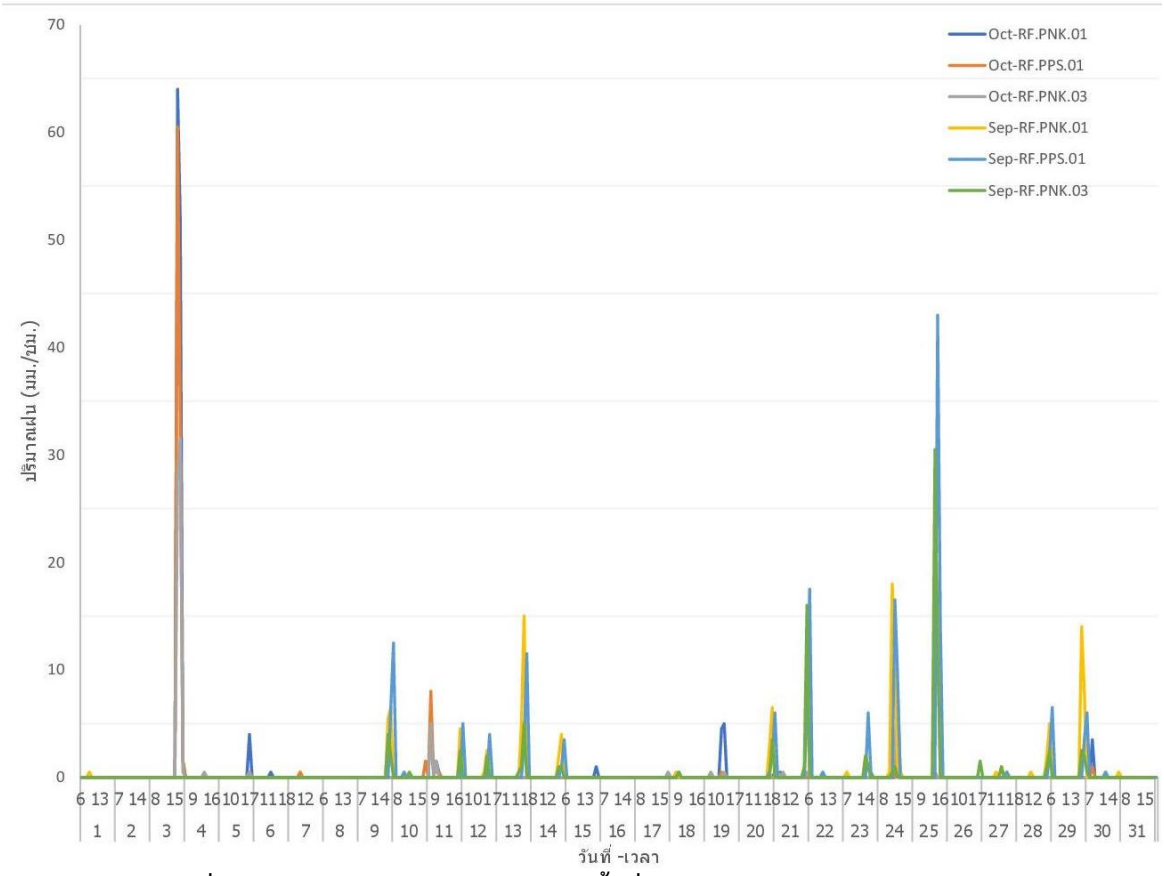


รูปที่ 5 ภาพตัวอย่างกระบวนการ Object Tracking ของแบบจำลอง

ข้อมูลฝน : ข้อมูลฝนตกราย 5 นาทีจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดตรวจวัด ถูกนำมาพิจารณาและสามารถคำนวณออกมาเป็นข้อมูลฝนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยทำการเก็บข้อมูลทุกวัน สถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 3 สถานีคือ RF.PNK.01 (สนง. เขตพระนคร) RF.PPS.01 (สนง.เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย) และ RF.PNK.03 (ปากคลองตลาด) ในส่วนของเกณฑ์พิจารณาเกี่ยวกับเหตุการณ์ฝนตก กรมอุตุนิยมวิทยาได้กำหนดเกณฑ์ความรุนแรงของฝนตกหนักปานกลางคือฝนที่มีอัตราตั้งแต่ 5-10 มม./ชั่วโมง ดังนั้นเหตุการณ์ฝนตกในพื้นที่ศึกษาจะพิจารณาที่อัตราการเกิดฝนตกตั้งแต่ 5.1 มม./ชั่วโมงขึ้นไปติดต่อกันอย่างน้อย 2 ชั่วโมงขึ้นไป ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลการเกิดฝนตกรายชั่วโมงของทั้งสามสถานีช่วงเดือนก.ย. ถึง ต.ค.2567 (ช่วงกลางวัน) แสดงในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติที่อยู่บริเวณใกล้เคียงจุดตรวจวัด



รูปที่ 7 ปริมาณและเหตุการณ์เกิดฝนตกในพื้นที่ศึกษาช่วงเดือน ก.ย. ถึง ต.ค. 2567

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง

ในขอบเขตของงานวิจัยจะพิจารณาขยะพลาสติกขนาดใหญ่กับขยะที่ไม่ใช่พลาสติก (ประเภทวัตถุ 2 ประเภท) แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการ Train แบบจำลอง (YOLOv8) ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งประเภทของขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นเป็น 3 ประเภท เนื่องจากเห็นว่าในขั้นตอนการ Train แบบจำลองถ้าข้อมูลมีความละเอียดมากขึ้นจะสามารถประยุกต์หรือพิจารณาผลที่ละเอียดได้มากขึ้นและน่าจะเป็นประโยชน์มากกว่าหากนำแบบจำลองไปพัฒนาต่อในอนาคต ดังนั้นประเภทของภาพขยะลอยน้ำทั้ง 4 ประเภทที่ผ่านการติดฉลากโดยมนุษย์จำนวนวัตถุ 12,272 วัตถุ (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1) ได้ผลของการ Train แบบจำลอง พบว่าแบบจำลองมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย (mAP) ของถุงพลาสติก ขวดพลาสติก พลาสติกอื่นๆ และขยะที่ไม่ใช่พลาสติก (เกือบทั้งหมดเป็นใบไม้ ดอกไม้และกิ่งไม้) เท่ากับ 64.4% 54% 40.5% และ 80.4% ตามลำดับ โดยมีค่า mAP รวมของทั้ง 4 ประเภทอยู่ที่ 59.8% ดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 2** จะสังเกตเห็นว่าการตรวจจับหรือแยกแยะวัตถุประเภทขยะที่ไม่ใช่พลาสติกมีค่า mAP สูงสุด อาจจะเพราะว่าจำนวนของขยะที่ไม่ใช่พลาสติกที่จุดตรวจวัดมีจำนวนมากและมีสีเฉพาะตัวที่มองเห็นได้ง่าย (เขียว น้ำตาล แดง เป็นต้น) และไม่มีลักษณะสีที่โปร่งแสงหรือสีขาว เหมือนขยะพลาสติกทั่วไป ส่วนวัตถุที่มีค่า mAP น้อยที่สุดคือพลาสติกอื่นๆ เนื่องจากพลาสติกอื่นๆ ที่พบเจอจะมีขนาดค่อนข้างเล็กเช่น หลอด แก้วน้ำพลาสติก ฝาขวดน้ำดื่ม เป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา Colin van Lieshout และคณะ [4] ได้ใช้ เทคนิค Deep Learning (แบบจำลอง R-CNN) วิธีการตรวจสอบขยะพลาสติกลอยน้ำจากภาพจากกล้องในประเทศอินโดนีเซีย โดยแยกออกเป็น 2 ประเภทคือพลาสติกและไม่ใช่พลาสติก และผลการศึกษาที่ได้มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 68.7% ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยในครั้งนี้เช่นกัน

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณค่า mAP ในกระบวนการ Object Detection

	Validate Data Set (213 images)				Test Data Set (201 images)			
Class	Instances	Box(P)	R	mAP	Instances	Box(P)	R	mAP
All	1,117	0.608	0.681	0.685	1,156	0.616	0.548	0.598
BAG	125	0.666	0.648	0.736	148	0.711	0.5	0.644
BOTTLE	33	0.719	0.62	0.739	43	0.648	0.395	0.54
OTHER	120	0.429	0.675	0.492	116	0.41	0.509	0.405
NONE	839	0.62	0.783	0.773	849	0.695	0.786	0.804

หมายเหตุ: ผลการคำนวณ mAP มาจากการคำนวณของโปรแกรม YOLOv8

สำหรับผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในขั้นตอนการ Tracking และนับจำนวนขยะลอยน้ำพบว่าค่าความแม่นยำของแบบจำลองกรณีตรวจนับวัตถุ 2 ประเภทและ 4 ประเภทเท่ากับ 82.41% และ 79.66% ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการและพัฒนากระบวนการที่สามารถตรวจจับและนับขยะพลาสติกที่มีความละเอียดมากขึ้น โดยผลของการตรวจนับขยะลอยน้ำจากภาพวีดีโอด้วยแบบจำลอง ณ ตอนนี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจซึ่งได้ค่าความแม่นยำกรณีตรวจนับขยะ 2 ประเภท(พลาสติกและไม่ใช่พลาสติก) และ 4 ประเภท (ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก พลาสติกอื่นๆและไม่ใช่พลาสติก) เท่ากับ 82.41% และ 79.66% ตามลำดับ รวมถึงผลของจำนวนที่นับก็ใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ลดข้อกำจัดของการใช้คนในการตรวจนับลงไปได้อย่างมาก ในอนาคตหากทราบผลของการตรวจวัดปริมาณขยะพลาสติกในจุดสำคัญๆ ของแหล่งน้ำได้จะทำให้สามารถประเมินหรือวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาได้อย่างมีเป้าหมายที่ชัดเจนและติดตามผลได้อย่างถูกต้องเป็นรูปธรรม สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของการเกิดฝนตกต่อการกระจายและการอุบัติของขยะพลาสติกของงานวิจัยนี้คาดว่าจะได้ผลการวิเคราะห์ออกมาช่วงปลายเดือนพฤษภาคมนี้

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่าความแม่นยำในกระบวนการ Object Tracking

VDO Name	Date	Month	Time Start	Time End	Period (min)	Precision (2 Classes)	Precision (4 Classes)
01	09	06	06:40	06:51	11	83.87%	77.42%
02	02	10	08:43	08:52	9	93.55%	87.10%
03	02	11	09:39	10:00	21	87.93%	82.76%
05	12	09	11:00	11:06	6	88.03%	84.62%
05	02	07	11:53	12:06	14	76.19%	75.24%
06	12	09	12:42	12:52	9	88.16%	82.89%
07	05	08	14:05	14:16	11	86.29%	83.87%
08	29	06	15:10	15:23	14	64.00%	63.33%
09	02	11	17:45	17:57	12	94.44%	92.59%

กิตติกรรมประกาศ

ทีมวิจัยขอขอบคุณองค์กร Ocean Clean-up ประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Plastic debris in rivers. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 7(1), e1398.

[2] Chumachenko, K., Gabbouj, M., & Iosifidis, A. (2022). Chapter 11 - Object detection and tracking. In A. Iosifidis & A. Tefas (Eds.), Deep Learning for Robot Perception and Cognition (pp. 243-278). Academic Press.

[3] Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Guillén, L. A. (2021). Accuracy assessment in convolutional neural network-based deep learning remote sensing studies—Part 1: Literature review. Remote Sensing, 13(13), 2450.

[4] van Lieshout, C., van Oeveren, K., van Emmerik, T., & Postma, E. (2020). Automated River Plastic Monitoring Using Deep Learning and Cameras. Earth and Space Science, 7(8), e2019EA000960.

10R1-02

วัสดุ SiO_2 – CaO จากกากของเสียเพื่อการดูดซับอาร์เซนิก

SiO_2 – CaO material derived from solid wastes for arsenic adsorption

ชัญญานุช เรืองโอชา[1] และ รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย[2*]
Chanyanuch Ruangocha [1] and Rattabal Khunphonoi [2*]
[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์ : 087 141 4282 E-mail : rattakh@kku.ac.th

บทคัดย่อ

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม หากมีการจัดการที่ไม่ถูกวิธี อาจทำให้เกิดการรั่วซึมและการชะของสารปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันมีการจัดการกับกากตะกอนโดยการนำมาทำเป็นปุ๋ยซึ่งเกินความต้องการ เราจึงต้องการนำกากตะกอนมาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาพัฒนาให้เป็นวัสดุดูดซับอาร์เซนิกที่เป็นสารมลพิษ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเบียร์มาพัฒนาเป็นวัสดุ SiO_2 – CaO ในการดูดซับอาร์เซนิก และศึกษาสัดส่วนระหว่างกากตะกอนและของเสียชีวมวลกากกาแฟ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพื้นที่ผิว โดยผ่านการเตรียมวัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล รวมถึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการกระตุ้นทางเคมีของวัสดุ SiO_2 – CaO ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับอาร์เซนิก จากผลการศึกษาพบว่า วัสดุ SiO_2 – CaO ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่มีสัดส่วนของกากตะกอน 100% และกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิ 800°C (HT-100%SC-800) มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดี ที่สามารถดูดซับเพนตะวาเลนซ์อาร์เซนิกได้ 0.49 mg/g เนื่องจากการมีองค์ประกอบของซิลิกาและแคลเซียมในกากตะกอน ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับอาร์เซนิก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสปีชีส์ของอาร์เซนิกที่ดูดซับบนวัสดุเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการดูดซับ

คำสำคัญ : กากตะกอน; การกำจัดอาร์เซนิก; ซิลิกา; แคลเซียม

Abstract

Industrial waste sludge can be a risk to environmental pollution, but currently its reuse for such things as fertilizer is being studied. Therefore, we want to add value to the sludge by developing it into a material to absorb arsenic, a pollutant. The objectives were to study the possibility of using sludge from the beer industry wastewater treatment system to develop SiO_2 – CaO materials for absorb arsenic and study the appropriate proportion of sludge and coffee ground (biomass waste) to increase surface area properties by preparing the material using a hydrothermal process. To study the influence of temperature on the chemical activation of SiO_2 – CaO materials that affects the arsenic adsorption efficiency. The results found HT-100%SC-800was effective in good absorbent that was able to absorb pentavalent arsenic at 0.49 mg/g due to the presence of silica and calcium in the sludge affecting the increase adsorption capacity to removal arsenic. In addition, arsenic species adsorbed on the material were studied to understand the adsorption mechanism.

Keywords : sludge; removal arsenic; silica; calcium

บทนำ

กากตะกอนเป็นผลผลิตพลอยได้ที่ถูกผลิตขึ้นระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยพบว่าในการผลิตเบียร์ 1 ลิตร จะผลิตน้ำเสียประมาณ 3-10 ลิตร [1] โดยทั่วไปกากตะกอนจะมีองค์ประกอบของน้ำที่สูงประมาณร้อยละ 75-90 [2] อาจมีการสะสมของสารปนเปื้อนหลายชนิด เช่น โลหะหนัก เชื้อโรค หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมในการจัดการกับกากตะกอนจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ การนำมาพัฒนาเป็นวัสดุ SiO_2 – CaO สำหรับเป็นวัสดุดูดซับมลสารเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำกากของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ [3]

อาร์เซนิก (Arsenic: As) เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ อาร์เซนิกพบได้ในธรรมชาติสามารถพบได้ทั้งในรูปเป็นสารประกอบอนินทรีย์และอินทรีย์ โดยสารประกอบอนินทรีย์มีความเป็นพิษมากกว่า ความเป็นพิษของอาร์เซนิกแตกต่างกันอย่างมากตามสถานะออกซิเดชัน ในน้ำผิวดินและในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ พบได้เฉพาะไตรวาเลนต์อาร์เซนิก (As (III)) และเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก (As (V)) ซึ่งไตรวาเลนต์อาร์เซนิกมีความเป็นพิษมากกว่า อาร์เซนิกเป็นประจุลบ [4] อาร์เซนิกอาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ การถลุงโลหะ การใส่ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงที่มีอาร์เซนิกปนเปื้อน ทำให้อาร์เซนิกจำนวนมากอาจไปปนเปื้อนสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน [5] พบความเข้มข้นของอาร์เซนิกสูงสุดในน้ำดื่มเป็น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และส่งผลต่อปัญหาสุขภาพที่ร้ายแรง เช่น มะเร็งผิวหนัง โรคกระเพาะปัสสาวะและไตวาย [6] จึงมีความจำเป็นในการกำจัดทั้งอาร์เซนิกอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการดูดซับ เนื่องจากการดูดซับด้วยวัสดุ SiO_2 – CaO เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากน้ำ

การมีซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์บนวัสดุ SiO_2 – CaO สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับอาร์เซนิก เนื่องจากแคลเซียมจับกับหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อาร์เซนิกจับกับพื้นผิววัสดุ SiO_2 – CaO ได้ [7] และมีการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของแคลเซียม กับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเปลี่ยนจากประจุลบเป็นบวก ทำให้สามารถดูดซับสารปนเปื้อนที่มีประจุเป็นลบ ผ่านกลไกลการแลกเปลี่ยนไอออน [8]

จากคุณลักษณะของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเบียร์ จ.ขอนแก่น พบว่ามีองค์ประกอบของเถ้า 40.84% และในเถ้ามีซิลิกาเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุด 41.68% และแคลเซียมออกไซด์อยู่ 26.29% จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำกากตะกอนมาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาพัฒนาให้เป็นวัสดุ SiO_2 – CaO สำหรับการดูดซับอาร์เซนิก รวมทั้งการศึกษาสัดส่วนระหว่างกากตะกอนและของเสียชีวมวลกากกาแฟเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพื้นที่ผิว โดยผ่านการเตรียมวัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (HT) และอุณหภูมิการกระตุ้นทางเคมีที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสปีชีส์ของอาร์เซนิกเมื่อดูดซับบนวัสดุเพื่อให้เข้าใจกลไกการดูดซับ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การทำไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal treatment)

กากตะกอนและกากกาแฟจะถูกทำให้แห้ง โดยการนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นผสมกากตะกอนกับกากกาแฟในอัตราส่วน 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ในอัตราส่วนของแข็ง:ของเหลวเท่ากับ 1:5 โดยใช้น้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ Teflon-lined autoclave ที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. การกระตุ้นไฮโดรชาร์ด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต

นำวัสดุ SiO_2 – CaO ที่ได้มากระตุ้นทางเคมี โดยใช้วัสดุ SiO_2 – CaO และโพแทสเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 1:2 นำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเผาที่อุณหภูมิ 400 °C, 600 °C และ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้แก๊สไนโตรเจน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาล้างให้ pH เป็นกลางด้วยน้ำปราศจากไอออน และอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และใส่รหัสของผลิจภัณฑ์เป็น HT-100%SC-800 หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกากตะกอน 100% ที่ผ่านการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C

3. การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ

ทำการดูดซับเพนตะวาเลนซ์อาร์เซนิกความเข้มข้น 1 mg/L pH 3 ในอัตราส่วน 1 g/L ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่องเขย่าสาร (Shaker) และตั้งค่าด้วยความเร็วที่ 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้เก็บตัวอย่างสารละลายโดยผ่านการกรองด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร วิเคราะห์และตรวจหาปริมาณอาร์เซนิก โดยเครื่อง ICP-OES (Inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy)

4. การวิเคราะห์คุณลักษณะวัสดุดูดซับ

วัสดุ SiO_2 – CaO จะถูกวิเคราะห์คุณลักษณะดังนี้ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน ด้วยวิธี BET (Brunuer-Emmett-Teller) วิเคราะห์โครงสร้างผลึก โดยใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer; XRD) และวิเคราะห์สปีชีส์ของอาร์เซนิกบนวัสดุดูดซับด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุ SiO_2 – CaO

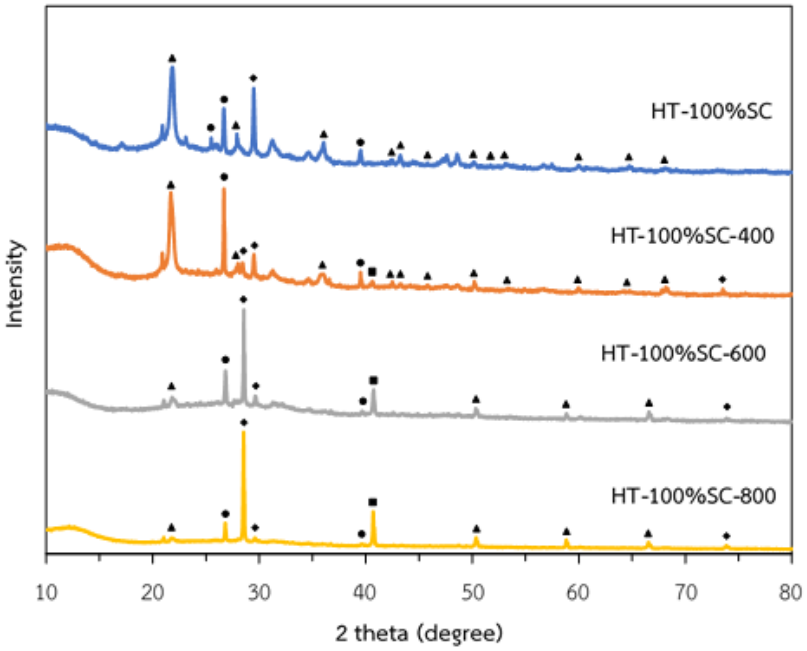
จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าวัสดุ SiO_2 – CaO ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้น โดยก่อนกระตุ้น (HT-100%SC) มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 5.80 m^2/g เมื่อกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 129.77 m^2/g และ 141.28 m^2/g ที่อุณหภูมิ 400 °C และ 600 °C และมีปริมาณพื้นที่ผิวลดลงเล็กน้อย (132.25 m^2/g) ที่การกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงสุด 800 °C การกระตุ้นทางเคมีสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุได้เนื่องจากจะไปช่วยยับยั้งน้ำมันดิน (Tar) และกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่บนโครงสร้างของวัสดุ SiO_2 – CaO ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวว่า การกระตุ้นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตจะเกิดรูพรุนที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 600 °C และเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นทางเคมีที่สูงขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นด้วย [9]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET)

Material	BET surface area (m^2/g)
HT-100%SC	5.80
HT-100%SC-400	129.77
HT-100%SC-600	141.28
HT-100%SC-800	132.25

2. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

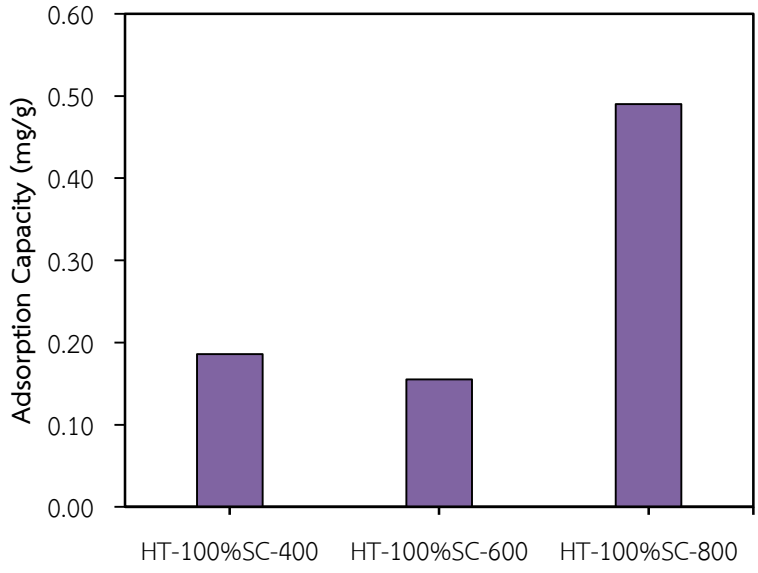
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของวัสดุ SiO_2 – CaO ในช่วงมุม 2θ ระหว่าง 10 $^{\circ}$ ถึง 80 $^{\circ}$ ดังแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการกระตุ้นไฮโดรชาร์ที่อุณหภูมิ 400 °C, 600 °C และ 800 °C ของกากตะกอน พบว่าใน HT-100%SC มีผลึกของซิลิกา (SiO_2) [10] และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และเมื่อผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเห็นได้ว่ามีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) [11] ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง CaO ที่อยู่ในตัวกากตะกอน และ K_2CO_3 ที่ถูกใช้เป็นสารการกระตุ้นไฮโดรชาร์ด้วยความร้อน ยังคงมี K_2CO_3 [12] ที่ไม่เกิดปฏิริยา โดยที่มีผลึกของ SiO_2 และ CaO อยู่ที่เป็นปัจจัยหลักต่อการดูดซับอาร์เซนิกและฟลูออไรด์ (▲SiO_2, ● CaO, ◆ $CaCO_3$, ■ K_2CO_3)



รูปที่ 1 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray diffraction analysis, XRD) ของวัสดุ SiO_2 – CaO

3. อิทธิพลของอุณหภูมิการกระตุ้นวัสดุ SiO_2 – CaO ต่อการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก

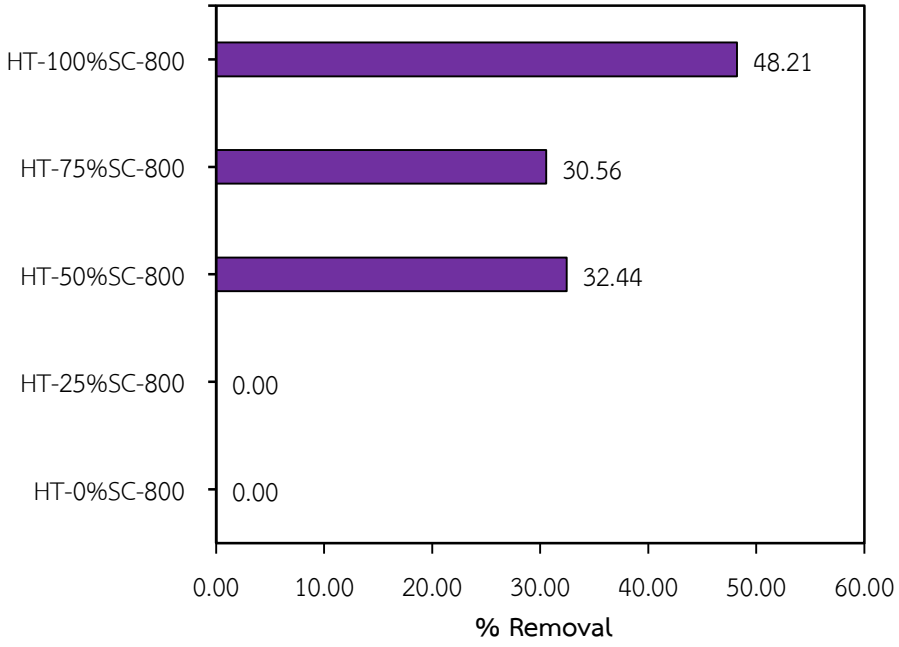
ผลของการศึกษาอุณหภูมิในการกระตุ้นวัสดุ SiO_2 – CaO HT-100%SC ที่อุณหภูมิ 400 °C, 600 °C และ 800 °C ด้วยสารโพแทสเซียมคาร์บอเนตต่อประสิทธิภาพในการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก ที่เพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกความเข้มข้น 1 mg/L pH 3 ปริมาณวัสดุดูดซับ 1 g/L จากรูปที่ 2 พบว่าวัสดุ SiO_2 – CaO ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก โดยที่ HT-100%SC-400, HT-100%SC-600 และ HT-100%SC-800 มีประสิทธิภาพถึง 0.19 mg/g, 0.16 mg/g และ 0.49 mg/g ตามลำดับ โดยพบว่า HT-100%SC-800 มีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามจากผล BET แสดงให้เห็นว่า HT-100%SC-800 ไม่ได้มีพื้นที่ผิวที่มากที่สุด จากผลการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่ามีความเป็นผลึกของสารประกอบของซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์สูงที่สุด โดยการมีซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับอาร์เซนิก



รูปที่ 2 ความสามารถในการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกบนวัสดุ SiO_2 – CaO ที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

4. อิทธิพลของสัดส่วนกากตะกอนและกากกาแฟต่อการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก

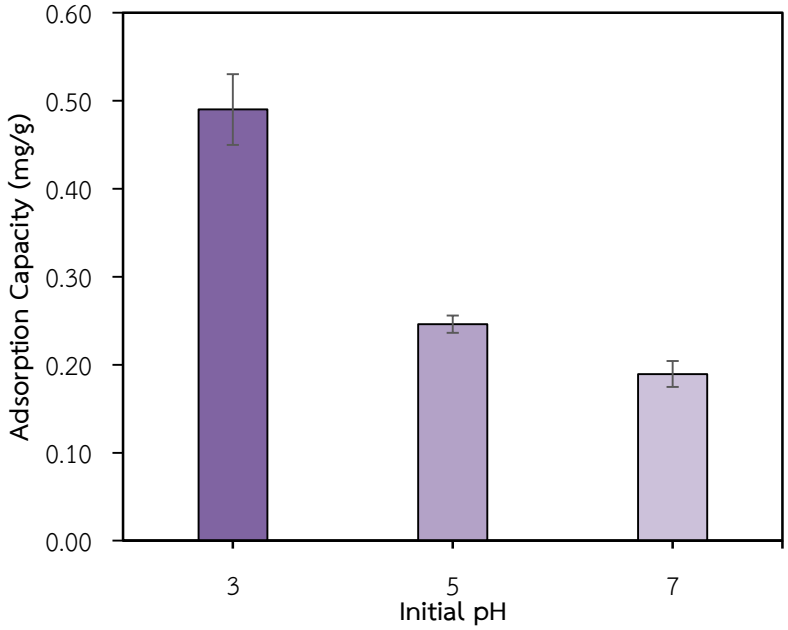
การศึกษาอัตราส่วนของกากตะกอนต่อกากกาแฟที่ 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอาร์เซนิก โดยทำการดูดซับด้วยเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก (As (V)) ที่ความเข้มข้น 1 mg/L pH 3 ในสภาวะอุณหภูมิห้อง ปริมาณสารดูดซับต่อเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกเป็น 1 g/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 3 เห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อสัดส่วนกากตะกอนมากขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกเพิ่มมากขึ้นไปด้วย บน HT-0%SC-800 และ HT-25%SC-800 พบว่าไม่มีความสามารถในการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก และเมื่อสัดส่วนกากตะกอนเพิ่มเป็น HT-50%SC-800 และ HT-75%SC-800พบว่าสามารถดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกได้ใกล้เคียงกันคือ 32.44% และ 30.56% ในขณะที่ HT-100%SC-800 ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกสูงสุด 48.21% โดยสามารถดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกได้ 0.49 mg/g ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก ด้วยที่ว่าซิลิกาสร้างพันธะเคมีที่แข็งแกร่งกับไอออนของอาร์เซนิกและยึดเกาะไว้แน่นทำให้มีโอกาสที่อาร์เซนิกจะสัมผัสกับคาร์บอนมากขึ้นและถูกดูดซับมากขึ้น [12] และแคลเซียมไปจับกับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวและทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้อาร์เซนิกถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ SiO_2 – CaO ดังงานวิจัยของ Gong, et al (2020) [7]



รูปที่ 3 อิทธิพลของอัตราส่วนตะกอนต่อการกำจัดอาร์เซนิก

5. อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก

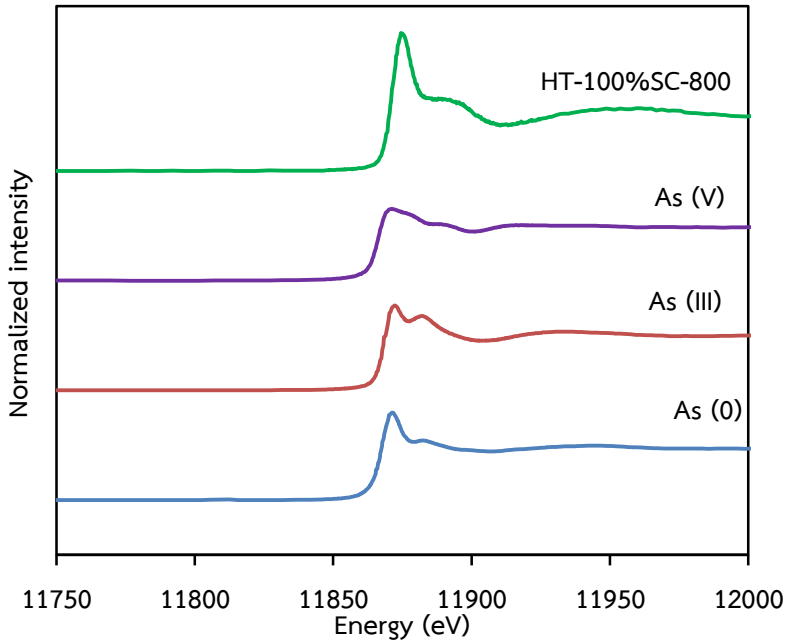
การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก ทำการทดลองโดยใช้เพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกความเข้มข้น 1 mg/L ที่ pH เริ่มต้นของสารละลาย 3, 5 และ 7 บน HT-100%SC-800 ปริมาณ 1 g/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในรูปที่ 4 ความสามารถในการดูดซับอาร์เซนิกจะลดลงจาก 0.49, 0.25 และ 0.19 mg/g ตาม pH ที่เพิ่มขึ้นจาก 3, 5 และ 7 ตามลำดับ และที่ pH 3 มีอัตราการกำจัดอาร์เซนิกที่สูงสุด จากรูปจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงสุดเป็น 48.21% ดังปรากฏที่ pH 3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดอาร์เซนิกจะลดลงเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า pH นั้นส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของอาร์เซนิกและประจุที่พื้นผิวของตัวดูดซับ [13] ซึ่งส่งผลให้ค่า pH เริ่มต้นของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการดูดซับ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่าง ๆ

6. การศึกษากลไกการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก (As (V)) บนวัสดุดูดซับ ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES)

การศึกษากลไกการดูดซับ As (V) บน HT-100%SC-800 โดยได้ศึกษาสปีชีส์ของ As(V) หลังดูดซับบนวัสดุดูดซับด้วยเทคนิค XANES ที่ K-edge โดยใช้ $AsC_{18}H_{15}$ และ $AsC_5O_2H_{11}$ เป็นมาตรฐานสำหรับ As (III) และ As (V) ตามลำดับ จากสเปกตรัม XANES เห็นได้ว่า As (0) มีค่าการดูดกลืนพลังงานที่ 11873.2 eV และ As (III) มีการดูดกลืนที่ 11874.2 eV ในขณะที่ As (V) มีค่าการดูดกลืนอยู่ 11871.5 eV ดังรูปที่ 5 และเมื่อใช้ Linear combination fit (LCF) จะเห็นว่าเมื่อ As (V) ดูดซับบนวัสดุ SiO_2 – CaO จะถูกเปลี่ยนรูปจาก As (V) เป็น As (III) อยู่ 100% เนื่องจากเกิดกลไกลการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของ As (V) กับพื้นผิววัสดุดูดซับทำให้ As (v) ถูกรีดิวซ์เป็น As (III) ที่เกาะที่ผิววัสดุ



รูปที่ 5 สเปกตรัม As K-edge XANES ของ HT-100%SC-800 หลังการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก

ตารางที่ 2 สัดส่วนชนิดของอาร์เซนิกด้วย HT-100%SC-800 หลังการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก โดยใช้ Linear combination fitting จาก XANES data processing

HT-100%SC-800	ร้อยละ
As (III)	100.00
As (V)	0.00
As (0)	0.00

จากตารางที่ 3 ที่ได้นำวัสดุดูดซับที่มีองค์ประกอบของซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิก พบว่า HT-100%SC-800 มีความสามารถในการดูดซับเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่า HT-100%SC-800 เป็นวัสดุดูดซับที่สามารถกำจัดเพนตะวาเลนต์อาร์เซนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับที่ใช้ในการดูดซับอาร์เซนิก

Material	Adsorption capacity (mg/g)	Reference
DMI-65 (SiO_2 = 97.52%)	0.24	[14]
วัสดุคอมโพสิตคาร์บอนเจือด้วยเหล็ก (กะลามะพร้าว)	0.31	[15]
HT-100%SC-800	0.49	งานวิจัยนี้

สรุป

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียมาเพิ่มมูลค่า โดยพัฒนาเป็นวัสดุ SiO_2 – CaO สำหรับการดูดซับอาร์เซนิกด้วยสัดส่วนของกากตะกอนและกากกาแฟในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล และอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น จากการศึกษาพบว่า HT-100%SC-800 เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุ SiO_2 – CaO สำหรับการดูดซับ โดยปัจจัยที่สำคัญต่อการดูดซับคือพื้นที่ผิวและองค์ประอบของซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ และพบว่า As (V) เมื่อเกาะบนผิวของวัสดุดูดซับจะเกิดการรีดิวซ์กลายเป็น As (III)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ประพันธ์ขอขอบพระคุณทุนสมทบโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุนภายนอก และทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ ดุษฎีนิพนธ์หรือการศึกษาอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการสนับสนุนเงินทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Simate, G.S., Cluett, J., Iyuke, S.E., Musapatika, E.T., Ndlovu, S., Walubita, L.F., Alvarez, A.E. 2011. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. Desalination. 273: 235-247.

[2] Krejcirikova, B., Ottosen, L.M., Kirkelund, G.M., Rode, C., Peuhkuri, R. 2019. Characterization of sewage sludge ash and its effect on moisture physics of mortar. Journal of Building Engineering. 21: 396-403.

[3] Shafeeyan, M.S., Daud, W.M.A.W., Houshmand, A., Shamiri, A. 2010. A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 89: 143–151.

[4] Ljubinka V. Rajaković. 1992. The Sorption of Arsenic onto Activated Carbon Impregnated with Metallic Silver and Copper. Separation Science and Technology. 27: 1423-1433.

[5] Andrew T. Fisher, Lizbeth López-Carrillob, Brenda Gamboa-Loirab, Mariano E. Cebriánc. 2017. Standards for arsenic in drinking water: Implications for policy in Mexico. J Public Health Policy. Author manuscript; available in PMC. 38 (4): 395-406.

[6] Md. Joinal Abedin, Malcolm S. Cresser, Andy A. Meharg, Jörg Feldmann, Janet Cotter-Howells. 2002. Arsenic Accumulation and Metabolism in Rice (Oryza sativa L.). 36: 962-968.

[7] Gong, X.J., Li, Y.S., Dong, Y.Q., Li, W.G. 2020. Arsenic adsorption by innovative iron/calciumin-situ-impregnated mesoporous activated carbons from low-temperature water and effects of the presence of humic acids. Chemosphere. 250: 1-14.

[8] Jin Su, Huai-Guo Huang, Xiao-Ying Jin, Xiao-Qiao Lu, Zu-Liang Chen. 2011. Synthesis, characterization and kinetic of a surfactant-modified bentonite used to remove As(III) and As(V) from aqueous solution. Journal of Hazardous Materials. 185: 63-70.

[9] Weijia Zhou, Xiaojun Liu, Kai Zhou, and Jin Jia. 2016. Carbon Materials for Supercapacitors. Springer International Publishing Switzerland. 271-315.

[10] Srie Muljani, Bambang Wahyudi, Ketut Sumada, Suprihatin. 2016. POTASSIUM SILICATE FOLIAR FERTILIZER GRADE FROM GEOTHERMAL SLUDGE AND PYROPHYLLITE. MATEC Web of Conferences. 58: 1-5.

[11] Bishwajit Changmaia, Putla Sudarsanamb, Lalthazuala Rokhum. 2020. Biodiesel production using a renewable mesoporous solid catalyst. Industrial Crops & Products. 145: 1-10.

[12] Sang Youp Hwang, Gi Bbum Lee, Ho Kim, Jung Eun Park. 2020. Infuence of mixed methods on the surface area and gas products of activated carbon. 30: 603-611.

[13] Somayeh Rahdar, Mahmoud Taghavi, Razieh Khaksefdi, Shahin Ahmadi. 2019. Adsorption of arsenic (V) from aqueous solution using modifed saxaul ash: isotherm and thermodynamic study. Applied Water Science. 87 (9): 1-9.

[14] Aremu, J.O., Lay, M., Glasgow, G. 2019. Kinetic and isotherm studies on adsorption of arsenic using silica based catalytic media. Journal of Water Process Engineering. 32: 1-13.

[15] Arcibar-Orozco, J. C. Rios-Hurtado, J. R. Rangel-Mendez. 2016. Interactions between reactive oxygen groups on nanoporous carbons and iron oxyhydroxide nanoparticles: effect on arsenic(V) removal. Adsorption. 22: 181-194.

10R1-03

การพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดจากกากกาแฟและใบจามจุรี
Development of Mushroom Substrate from Spent Coffee Grounds and Rain Tree Leaves

พิชญ รัชฎาวงศ์[1] และ จิตรภาณุ อัศวพิชญโชติ[2]
Pichaya Rachadawong[1] and Jipanu Asavapichayachote[2]
[1]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10800
[2]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ : 086-3988267, โทรสาร : - , E-mail : Jitpanu.asa@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาการนำกากกาแฟและใบจามจุรีที่เป็นมูลฝอย มาใช้ในการพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมทอง เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกนอกจากวัสดุดั้งเดิมที่มีการใช้เพาะเลี้ยงเห็ด อย่างขี้เลื่อยไม้ยางพารา จากการทดลอง พบว่า ที่การใช้กากกาแฟเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนร้อยละ 30 ของน้ำแห้งก้อนเห็ด สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนและน้ำหนักของผลผลิตที่ได้ แต่เวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพียงอย่างเดียว และมีปริมาณคาเฟอีน 1.70 มก./ล. การใช้ใบจามจุรีเป็นวัสดุผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งก้อนเห็ด ให้ผลผลิตในด้านของน้ำหนักและโปรตีน รวมถึงเวลาในการเพาะเลี้ยงที่เทียบเท่ากับการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพียงอย่างเดียว และพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลผลิตเห็ดนางรมทองมีปริมาณที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในแต่ละรูปแบบสัดส่วนผสม และก้อนเห็ดที่ผ่านการเก็บเกี่ยว สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ หากมีการลดความชื้นก่อนการนำไปใช้

คำสำคัญ : กากกาแฟ; ใบจามจุรี; วัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด; คาเฟอีน; สารประกอบฟีนอลิก; เชื้อเพลิงชีวมวล

Abstract

This research aimed to using Spent coffee grounds (SCG) and Rain tree leaves (RTL) as a mushroom substrate as like as rubber sawdust (SW). The result showed mixing SCG at ratio of 30% (w/w) could increase a protein content and weight of product but increasing cultivation's time compared with using SW substrate alone. The fruiting bodies from 30% (w/w) mixing substrate had a caffeine at 1.70 mg/L. Using RTL at 30% (w/w) ratio could also had equivalent product in term of protein, weight, and cultivation time to only using SW as substrate alone and the phenolic compound (TPC) was found in slightly difference in each mushroom substrate. Next, the spent mushroom substrate could be used as biomass but should be reduced the moisture.

Keywords : Spent coffee grounds; Rain tree leaves; Mushroom substrate; Caffeine; Total phenolic compound; biomass

บทนำ

กากกาแฟเป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ในปัจจุบันมีแนวโน้มของอัตราการเกิดที่เพิ่มขึ้น ภายในช่วงปี 2555 – 2565 ที่ผ่านมา ทั่วโลกมีอัตราการผลิตเครื่องดื่มกาแฟเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.7 ต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น อีกตามความต้องการในการบริโภค โดยอัตราการบริโภคมีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.3 ต่อปี [1] ทำให้มีการเกิดกากกาแฟในปริมาณที่สูงขึ้นตามความต้องการในการบริโภคเครื่องดื่มกาแฟ ทำให้จำเป็นต้องมีแนวทางในการจัดการที่ถูกวิธี เพื่อป้องกันการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาแนวทางการจัดการกากกาแฟในปัจจุบัน พบว่ามีการนำกากกาแฟมาใช้ในการทำวัสดุ

เพาะเลี้ยงเห็ด Pleurotus species [2] เนื่องจากกากกาแฟมีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเห็ด โดยมีอัตรา C/N ratio ที่เห็ดสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม โดยอยู่ในช่วงค่าประมาณ 45 - 65 [3] รวมถึงภายในกากกาแฟมีสารต่างๆ ที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ [4] โดยผ่านการดูดซับของเห็ดและสะสมภายในดอกเห็ด เช่น คาเฟอีน (Caffeine) ที่เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง และสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และยาได้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมของธาตุอาหารในการเพาะเลี้ยงเห็ด ใบจามจุรีเป็นอีกวัสดุหนึ่งที่อาจสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการเพาะเลี้ยงเห็ดเช่นเดียวกับกากกาแฟ จากการศึกษาพบว่า ค่า C/N ratio ของใบจามจุรีมีค่าใกล้เคียงกับกากกาแฟ [5] ต้นจามจุรีเป็นต้นไม้ใหญ่เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสูงในช่วง 15 - 25 เมตร มีกิ่งก้านแตกแขนงและใบขนาดเล็กจำนวนมาก สามารถมีอายุได้มากกว่า 100 ปี [6] และเป็นต้นไม้ที่นิยมปลูกตามสถานที่โล่งในพื้นที่สาธารณะทั่วไป จึงอาจกล่าวได้ว่า อาจก่อให้เกิดมูลฝอยใบจามจุรีที่ร่วงตามพื้นได้ในปริมาณมาก ถือเป็นขยะมูลฝอยอย่างหนึ่งที่ต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสม

ในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดจากกากกาแฟและใบจามจุรี พัฒนาสัดส่วนการผสมของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดที่ให้ผลผลิตที่มีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทางชีววิทยา (Biological efficiency, B.E.) ที่ดีขึ้น โดยใช้กากกาแฟที่เหลือทิ้งจากร้านสะดวกซื้อที่มีการชงเครื่องดื่มกาแฟและใบจามจุรีที่ร่วงโรยจากต้นแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการพัฒนาวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมทอง และศึกษาแนวทางการจัดการกับวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดภายหลังการเพาะปลูก โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตพลังงาน เพื่อหาแนวทางในการจัดการกับขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในการเพาะปลูกเห็ด และเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มีขอบเขตในการศึกษาตั้งแต่การเตรียมกากกาแฟ ใบจามจุรี และวัสดุผสมในการทำวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดอื่นๆ ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา รำข้าว ปูนขาว และดีเกลือ นำวัสดุข้างต้นนำมาผสมตามสัดส่วนตามตารางที่ 1 วิเคราะห์ค่า C/N ratio ของกากกาแฟ ใบจามจุรี และ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา วิเคราะห์ค่าคาร์บอนจากค่า Total Organic Carbon (TOC) ด้วยเครื่อง Solid Sample Combustion Unit for TOC-L Series SSM-5000A และค่าไนโตรเจน วิเคราะห์จากค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ด้วยวิธีการ Kjeldahl method จากนั้นนำมาผสมได้สัดส่วนของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทำก้อนเห็ด นำวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดที่เตรียมผสมไว้ใส่ในถุง polypropylene และควบคุมความชื้นของก้อนเห็ดให้อยู่ที่ 65 ± 5% ทำซ้ำรูปแบบละ 3 ชุด จากนั้นนำก้อนเห็ดที่เตรียมได้ไปนึ่งในหม้ออัดแรงดัน ที่อุณหภูมิ 121˚C เป็นเวลา 80 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 1 คืน [3] วัดค่า C/N ratio ของตัวอย่างวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดที่เตรียมไว้ แล้วนำก้อนเห็ดที่ผ่านการนึ่งมาเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมทอง โดยการหัวเชื้อเห็ดนางรมทองรูปแบบเมล็ดข้าวฟ่างลงในปากคอก้อนเห็ด นำไปเพาะเลี้ยงในตู้อะคริลิกที่ควบคุมอุณหภูมิช่วง 25 – 28˚C และความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 60 – 70% ในสภาวะไร้แสง [3] โดยเพาะเลี้ยงจนกว่าเชื้อเส้นใยเห็ดจะเจริญเต็มก้อนเห็ด หรือไม่เกิน 90 วัน บันทึกเวลาที่เชื้อเห็ดเจริญเต็มก้อนเห็ดเพื่อหาอัตราการเจริญของเชื้อเห็ดในหน่วยเซนติเมตร/วัน

ตารางที่ 1 รูปแบบร้อยละของสัดส่วนผสมของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ

รูปแบบวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด	ขี้เลื่อย (%)	กากกาแฟ (%)	ใบจามจุรี (%)	รำข้าว(%)	ปูนขาว ($CaCO_3$) (%)	ดีเกลือ ($MgSO_4$) (%)
รูปแบบ 1	89.8	-	-	9	1	0.2
รูปแบบ 2	59.8	30	-	9	1	0.2
รูปแบบ 3	29.8	60	-	9	1	0.2
รูปแบบ 4	-	89.8	-	9	1	0.2
รูปแบบ 5	59.8	-	30	9	1	0.2
รูปแบบ 6	29.8	-	60	9	1	0.2
รูปแบบ 7	-	-	89.8	9	1	0.2

เมื่อเชื้อเห็ดเจริญเต็มก้อนเห็ดแล้ว นำไปเปิดดอกเห็ดด้วยการเปิดปากก้อนเห็ด โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 28 - 30˚C และความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 70 – 80% ในสภาวะที่มีแสง [7] ทำการเก็บดอกเห็ดหลังจากเปิดดอกเห็ดไปได้ 15 วัน นำดอกเห็ดนางรมทองที่เก็บเกี่ยวได้ไปวิเคราะห์อัตราการได้ของผลผลิต (Yield) และค่า %B.E. จากค่าน้ำหนักของดอกเห็ดเทียบกับน้ำหนักของก้อนเห็ดที่ใช้เพาะเลี้ยงได้สมการดังนี้

$$\text{อัตราการได้ของผลผลิต } (\text{กรัม}/100 \text{ กรัม}) = \frac{\text{น้ำหนักของดอกเห็ด } (\text{กรัม})}{\text{น้ำหนักของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดสด } (100 \text{ กรัม})} \quad (1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทางชีววิทยา } (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของดอกเห็ด } (\text{กรัม}) \times 100}{\text{น้ำหนักของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดแห้ง } (\text{กรัม})} \quad (2)$$

นำดอกเห็ดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมทอง มาสกัดของเหลวเพื่อตรวจวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและคาเฟอีน โดยการใช้น้ำ Deionized Water (DI) เป็นตัวสกัดที่อุณหภูมิ 60 ± 5˚C [8] นำของเหลวที่สกัดได้จากเห็ดนางรมทองไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยวิธี Spectrophotometry (Total phenolic compound quantification by colorimetric assay) [9] วิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนด้วยวิธีทดสอบ In-house method TC 049 based on AOAC (2019) 980.14 และวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในดอกเห็ดด้วยวิธี Kjeldahl method และภายหลังจากที่เก็บเกี่ยวดอกเห็ด นำก้อนเห็ดไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ CHNS ด้วยวิธี ultimate analysis, [10] วิเคราะห์องค์ประกอบ moisture content, volatile matter, fixed carbon และ ash ในวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดด้วยวิธีการ proximate analysis ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM E1756-08, ASTM E1755-01 และ ASTM D3175-07 ตามลำดับ และวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ด้วย Bomb calorimeter

การวิเคราะห์ค่าข้อมูลทางสถิติ ใช้หลักการ One way ANOVA โดยกำหนด Post Hoc tests เป็น Scheffe's multiple comparison test และกำหนดนัยยะสำคัญทางสถิติ ค่า $p < 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ค่า C/N ratio ของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดและอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดนางรมทองในแต่ละรูปแบบของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด

1.1 ค่า C/N ratio ของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด

ค่า C/N ratio ของกากกาแฟ ใบจามจุรี ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และสัดส่วนผสมของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ หลังจากผ่านการนึ่ง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า C/N ratio ของกากกาแฟ ใบจามจุรี ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และสัดส่วนผสมของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ

รูปแบบวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด	คาร์บอน (C) (%)	ไนโตรเจน (N) (%)	C/N ratio (%)
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	47.68±0.33	0.90±0.02	53.28±0.89
กากกาแฟ	51.79±1.36	1.84±0.02	28.22±0.41
ใบจามจุรี	49.74±0.33	2.72±0.02	18.29±0.19
รูปแบบ 1	46.27±0.66	0.87±0.01	53.18±0.11
รูปแบบ 2	46.63±0.70	1.04±0.02	45.05±0.25
รูปแบบ 3	47.86±0.11	1.60±0.02	30.01±0.47
รูปแบบ 4	47.17±0.45	1.66±0.02	28.50±0.09
รูปแบบ 5	47.24±0.54	1.24±0.02	38.25±0.02
รูปแบบ 6	47.55±0.70	2.50±0.03	19.02±0.06
รูปแบบ 7	49.44±0.37	2.67±0.04	18.55±0.11

1.2 อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ด

จากการเพาะเลี้ยงเชื้อเห็ดนางรมทอง พบว่า อัตราการเจริญเของเชื้อเห็ดนางรมทองในแต่ละรูปแบบของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด มีความแตกต่างไปในแต่ละรูปแบบสัดส่วน โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงอัตราการเจริญของเชื้อเห็ดของก้อนเห็ดวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ

รูปแบบก้อนเห็ด	อัตราการเจริญของเชื้อเห็ด (ซม./วัน)	จำนวนวันที่เชื้อเดินเต็มถุง (วัน)
รูปแบบ 1	0.79 ± 0.04^{b}	31.67 ± 1.53^{a}
รูปแบบ 2	0.39 ± 0.03^{a}	63.67 ± 4.51^{b}
รูปแบบ 3	n.a.	n.a.
รูปแบบ 4	n.a.	n.a.
รูปแบบ 5	0.69 ± 0.08^{b}	36.67 ± 4.73^{a}
รูปแบบ 6	0.52 ± 0.04^{a}	48.33 ± 3.51^{b}
รูปแบบ 7	n.a.	n.a.

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการเจริญของเชื้อเห็ดในวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดในแต่ละสัดส่วนผสม พบว่า ภายในระยะเวลา 90 วัน เชื้อในก้อนเห็ดรูปแบบที่ 1, 2, 5 และ 6 มีการเจริญเต็มถุงได้ โดยสามารถเรียงลำดับรูปแบบก้อนเห็ดที่ใช้เวลาน้อยที่สุดไปมากที่สุดได้ รูปแบบที่ 1, 5, 6 และ 2 ในส่วนของรูปแบบที่ 3 และ 4 ที่เชื้อเห็ดไม่สามารถเจริญเต็มถุงได้ภายใน 90 วันนั้น เนื่องมาจากในก้อนเห็ดรูปแบบที่ 3 และ 4 มีสัดส่วนผสมของคาเฟอีนในสัดส่วนที่สูง ซึ่งอาจทำให้ชะลออัตราการเจริญของเชื้อเห็ดให้มีอัตราที่ช้าลงหรืออาจไม่สามารถสร้างดอกเห็ดได้ หากมีปริมาณคาเฟอีนที่สูง [11] และในส่วนของรูปแบบที่ 7 ที่มีสัดส่วนเป็นใบจามจุรีอยู่ที่ 89.8% ของน้ำหนักแห้ง มีการหยุดการเจริญของเชื้อเมื่อผ่านไป 35 วัน โดยสาเหตุอาจมาจากการที่ก้อนเห็ดรูปแบบที่ 7 มีค่า C/N ratio ที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อเห็ดและมีปริมาณคาร์บอนที่น้อย ส่งผลให้เชื้อเห็ดไม่สามารถเจริญและสร้างดอกเห็ดขึ้นมาได้ [12] จากการพิจารณาถึงอัตราการเจริญของเชื้อเห็ด รูปแบบก้อนเห็ดที่มีค่า C/N ratio ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลผลิตในระยะเวลาที่รวดเร็วได้แก่ รูปแบบที่ 1 และรองลงมาด้วยรูปแบบที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

2. อัตราการได้ของผลผลิต (Yield) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทางชีวภาพ (%B.E.)

จากการเปิดดอกก้อนเห็ดที่เชื้อเจริญเต็มที่ทั่วก้อนเห็ด และเก็บผลผลิตใน 15 วันต่อมาภายหลังการเปิดดอก พบว่าได้ผลค่า Yield และ %B.E. ตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่า Yield และ %B.E. ของรูปแบบก้อนเห็ดที่สามารถให้ผลผลผลิตได้

รูปแบบก้อนเห็ด	น้ำหนักดอกเห็ดเฉลี่ย (กรัม)	Yield (กรัม/100 กรัม)	%B.E. (%)
รูปแบบ 1	51.73 ± 8.56^{b}	7.72 ± 1.10^{b}	21.70 ± 3.27^{b}
รูปแบบ 2	80.33 ± 2.15^{c}	11.42 ± 0.27^{c}	28.02 ± 0.67^{c}
รูปแบบ 5	55.90 ± 3.18^{b}	10.60 ± 0.58^{c}	29.44 ± 2.26^{c}
รูปแบบ 6	16.30 ± 3.05^{a}	3.58 ± 0.66^{a}	8.57 ± 1.57^{a}

ก้อนเห็ดรูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่ให้ค่า Yield ได้สูงที่สุด มีน้ำหนักของผลผลิตที่เพาะเลี้ยงได้มากที่สุดรองลงมาคือรูปแบบที่ 5 โดยทั้ง 2 รูปแบบนี้มีค่า C/N ratio ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเชื้อในเห็ดนางรมทอง เพราะมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทางชีวภาพ (ค่า %B.E.) ที่สูง และใน 2 รูปแบบนี้มีสัดส่วนของไนโตรเจนที่สูงกว่ารูปแบบที่ 1 โดยเห็ดนางรมทองจะใช้ไนโตรเจนในการสร้างเส้นใยและเพิ่มปริมาณโปรตีนในส่วนของดอกเห็ด [12] ส่วนในรูปแบบที่ 7 เชื้อไม่สามารถเจริญได้เต็มก้อนเห็ด ทำให้ไม่สามารถทำการเปิดดอกได้ และในรูปแบบที่ 3 และ 4 ใช้เวลาที่มากกว่า 90 วันในการเจริญเชื้อให้เต็มก้อนเห็ด เนื่องมาจากการมีสัดส่วนของคาเฟอีนที่สูง ทำให้ใช้เวลานานในการเพาะเลี้ยง แสดงได้ถึงว่าไม่มีความคุ้มค่าในการนำมาเพาะเลี้ยงเป็นธุรกิจในระยะสั้น

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก, ปริมาณคาเฟอีน และปริมาณโปรตีนในดอกเห็ด

3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic compound, TPC)

จากการวิเคราะค่า TPC ในตารางที่ 5 พบว่าดอกเห็ดที่เป็นผลผลิตจากก้อนเห็ดรูปแบบที่ 1, 2 และ 5 มีปริมาณ TPC ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยการที่มีปริมาณ TPC ใกล้เคียงกัน แม้จะมีชนิดและสัดส่วนของวัสดุเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน อาจมาจากสาเหตุที่สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก ที่ย่อยสลายตัวได้ยากตามทางธรรมชาติ [13] ให้เห็ดนางรมทองไม่สามารถย่อยสลายและดูดซับสารประกอบฟีนอลิกจากวัสดุเพาะเลี้ยงได้ หรืออาจดูดซับได้น้อยมากจนอาจไม่เห็นความแตกต่าง ในวัสดุเพาะเลี้ยงเห็นที่มีส่วนผสมต่างกัน [14]

3.2 ปริมาณคาเฟอีน (Caffeine)

จากตารางที่ 5 การวิเคราะห์พบว่า ดอกเห็ดจากก้อนเห็ดรูปแบบที่ 2 ที่มีกากกาแฟผสมอยู่ในวัสดุเพาะเลี้ยง พบว่าเห็ดนางรมทองสามารถดูดซับคาเฟอีนเข้ามาได้ สอดคล้องกับผลที่ว่าการเจริญของเชื้อเห็ดที่ช้ามีผลมาจากการที่เส้นใยเชื้อของเห็ดมีการดูดซับคาเฟอีนเข้าไป [15] แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่ดูดซับในดอกเห็ดจากก้อนเห็ดรูปแบบที่ 2 มีปริมาณเท่ากับ 0.17 ม.ก./ล. เป็นปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณคาเฟอีนที่ร่างกายมนุษย์สามารถรับได้ต่อวัน [16]

3.3 ปริมาณโปรตีน (Protein)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในดอกเห็ดแต่ละรูปแบบวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด พบว่าในดอกเห็ดที่เป็นผลผลิตรูปแบบที่ 2 มีปริมาณโปรตีนในดอกเห็ดสูงที่สุด ตามมาด้วยรูปแบบที่ 1 และ 5 ที่มีปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกัน สาเหตุที่รูปแบบที่ 2 มีปริมาณโปรตีนสะสมในดอกเห็ดที่สูง เนื่องจากเห็ดนางรมได้ทำการดึงไนโตรเจนจากวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดมาสะสมไว้ในดอกเห็ด แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนที่เห็ดนางรมสามารถดูดซับได้จะมีการเทียบสัดส่วนกับปริมาณคาร์บอนที่สามารถดูดซับได้ [12] ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ดอกเห็ดของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดรูปแบบที่ 6 มีปริมาณโปรตีนที่น้อยกว่ารูปแบบอื่น ในขณะที่มีสัดส่วนไนโตรเจนในวัสดุเพาะเลี้ยงในปริมาณที่มากกว่า

ตารางที่ 5 ปริมาณสารสารประกอบฟีนอลิก, คาเฟอีน และโปรตีนในดอกเห็ดจากแต่ละรูปแบบวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด

รูปแบบก้อนเห็ด	TPC (ม.ก.GAE./ 100 กรัม)	Caffeine (ม.ก./ 100 กรัม)	โปรตีน (ม.ก./ 100 กรัม)
รูปแบบ 1	0.61 ± 0.02^{b}	-	30.54 ± 0.67^{b}
รูปแบบ 2	0.51 ± 0.02^{a}	0.17±0.00	35.08 ± 0.59^{c}
รูปแบบ 5	0.79 ± 0.02^{c}	-	31.64 ± 0.76^{b}
รูปแบบ 6	1.45 ± 0.04^{d}	-	26.21 ± 0.87^{a}

4. การพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ CHNS

จากผลการทดลองตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ธาตุ C, H, N, S ด้วยวิธีการ Ultimate analysis ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6 จากมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งอัดเม็ด (มอก. 2772–2560) พบว่าวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดรูปแบบที่ 1, 2 และ 5 ได้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในส่วนขององค์ประกอบ N และ S ที่น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ห้ามมีมากกว่า 0.60% และ 0.05% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนในปริมาณหนึ่ง ที่เป็นค่าที่ส่งเสริมการให้ความร้อนในกระบวนการเผาไหม้ [10]

4.2 การวิเคราะห์ Proximate analysis

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของค่าความชื้น (moisture content), ปริมาณเถ้า (Ash), ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (Volatile matter) และ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ในวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ได้ผลตามตารางที่ 6 วัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีปริมาณของเถ้าที่น้อย การมีปริมาณเถ้าที่น้อยจะช่วยให้วัสดุมีอัตราการเผาไหม้ที่สูงขึ้น [17] และลดต้นทุนในการกำจัดขี้เถ้าที่จะเกิดขึ้นภายหลังจาก

กระบวนการเผาไหม้ จากมาตรฐาน มอก. 2772–2560 วัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดรูปแบบที่ 2 ได้ผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพ 2 เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าที่มีน้อยกว่า 5% ในขณะที่รูปแบบที่ 1 และ 3 มีปริมาณเถ้าที่ใกล้เคียงกับที่มาตรฐานชั้นคุณภาพ 2 กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว จะมีความชื้นคงเหลืออยู่ภายในก้อนเห็ด ในการศึกษานี้มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 58 – 67% ที่เป็นปริมาณที่ไม่เหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิง ทำให้ต้องมีการนำวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดไปกำจัดความชื้นออกก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

4.3 การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้

จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ได้ผลตามตารางที่ 9 เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก. 2772–2560 พบว่าปริมาณค่าความร้อนที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด โดยสาเหตุมาจากค่าความชื้นที่สูงดังตารางที่ 6 ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาลดลง [17] รวมถึงวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดรูปแบบที่ 1 ไม่สามารถจุดไฟให้ติดได้เนื่องจากมีค่าความชื้นที่สูงมาก ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าความชื้นถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณาหากต้องการนำวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตไปเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบธาตุและกายภาพของวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบ

รูปแบบวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด	องค์ประกอบธาตุ				องค์ประกอบทางกายภาพ				ค่าพลังงานความร้อน (cal/g)
						ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของวัสดุ			
	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารอินทรีย์ระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	
รูปแบบ 1	18.43	1.78	0.00	0.00	66.62	5.31	94.53	0.16	N/A
รูปแบบ 2	22.55	2.78	0.00	0.00	59.25	3.07	90.90	6.03	1775.4
รูปแบบ 5	23.59	4.99	0.15	0.00	58.28	6.06	93.79	0.15	1830.6
รูปแบบ 6	21.92	6,68	1.08	0.00	58.01	7.46	91.92	0.62	1834.5

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากกาแฟและใบจามจุรีมาใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ด กากกาแฟและใบจามจุรีที่ศึกษาจะถูกเตรียมมาในฐานะมูลฝอยอินทรีย์ นำมาผสมสัดส่วนเข้ากับวัสดุที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดดั้งเดิมอย่างขี้เลื่อยไม้ยางพารา ได้ทั้งหมด 7 รูปแบบ นำวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดทั้ง 7 รูปแบบนำไปเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมทอง ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดนางรมทอง คุณภาพของผลผลิตดอกเห็ดนางรมทอง และความเป็นไปได้ในการจัดการภายหลังจากการที่เก็บเกี่ยวผลผลิต การศึกษานี้แสดงให้เห็นได้ว่า กากกาแฟและใบจามจุรี สามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในการทำเป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดได้ กากกาแฟเป็นวัสดุที่มีค่า C/N ratio ที่น้อยกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา และมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่า เมื่อผสมในอัตราส่วนที่มีค่า C/N ratio ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อเห็ดนางรมทอง ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟที่ 30% ของน้ำหนักแห้ง สามารถเพิ่มปริมาณน้ำหนักผลผลิตและปริมาณโปรตีนให้กับผลผลิตเห็ดนางรมทองได้ แต่อย่างไรก็ตาม คาเฟอีนในกากกาแฟ เป็นสารที่มีฤทธิ์ชะลอการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดนางรมทอง ทำให้เชื้อเห็ดนางรมทองใช้เวลานานมากขึ้นในการเจริญเติบโตเต็มที่จนพร้อมออกผลผลิต และในส่วนของใบจามจุรี ที่มีค่า C/N ratio ที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ไม่เหมาะสมในการนำไปเป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดโดยไม่ผสมกับวัสดุอื่นๆเช่นเดียวกับกากกาแฟ แต่ถ้านำไปผสมกับวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดที่มีค่า C/N ratio สูงอย่างขี้เลื่อยไม้ยางพารา จะให้สัดส่วนของค่า C/N ratio เหมาะสมกับเห็ดนางรมทอง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือการผสมใบจามจุรี 30% ของน้ำหนักแห้ง สามารถได้คุณภาพของผลผลิตเห็ดนางรมทองที่เทียบเท่ากับการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราเพียงอย่างเดียว และใช้เวลาในการเกิดผลผลิตที่ใกล้เคียงกับวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดดั้งเดิม แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษานี้ การใช้วัสดุที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดไม่สามารถทำให้เห็ดนางรมทองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในดอกเห็ดเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ วัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดที่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต สามารถนำไปใช้ในประโยชน์ในการเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะในสัดส่วนรูปแบบที่ 1, 2 และ 5 ที่มีปริมาณของเถ้าที่น้อย และไม่มีส่วนผสมของซัลเฟอร์ ทำให้สามารถนำมาใช้งานได้ในฐานะเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อทำสร้างผลประโยชน์ต่อไปจนสิ้นสุดกระบวนการจัดการ แต่อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีการกำจัดความชื้นของก้อนเห็ดภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพวกนี้ออกไปเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ในการทำงานวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำการทดลองและการใช้งานห้องปฏิบัติการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนภักษ์ อินยอด และทีมงานฝ่ายเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาและการหยิบยืมอุปกรณ์ในการเตรียมการเพาะเลี้ยงเห็ด

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของผู้วิจัย ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนร่วมให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ หวังว่างานวิจัยฉบับนี้สามารถเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่มีความเกี่ยวข้องหรือผู้ที่มีความสนใจในหัวข้อนี้ ได้นำไปศึกษาต่อไป

ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

[1.] ICO. *Historical Data*. 2022 [20/10/2022]; Available from: https://www.ico.org/new_historical.asp.

เอกสารอ้างอิง

[2.] Chai, W.Y., et al., *Assessment of coffee waste in formulation of substrate for oyster mushrooms Pleurotus pulmonarius and Pleurotus floridanus.* Future Foods, 2021. **4**: p. 100075.

[3.] Liang, Z.-C., et al., *Utilization of grass plants for cultivation of Pleurotus citrinopileatus.* International Biodeterioration & Biodegradation, 2009. **63**(4): p. 509-514.

[4.] Ballesteros, L., J. Teixeira, and S. Mussatto, *Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin.* Food and Bioprocess Technology, 2014. **7**.

[5.] Klomklang, U., et al., *Vermicompost from Chula Zero Waste Cup and Rain Tree (Samanea Saman) Leaves.* Engineering Journal, 2021. **25**(4): p. 1-10.

[6.] Staples, G. and C. Elevitch, *Samanea saman (rain tree).* Traditional Trees, 2006.

[7.] Tanyarat, K., K. Peeranart, and W. Prisana, *USE OF COFFEE GROUND WASTE WITH RUBBER WOOD SAWDUST FOR GOLDEN OYSTER MUSHROOM (PLEUROTUS CITRINOPILEATUS SINGER) CULTIVATION MATERIAL.* Science and Technology, 2021. **6**(2): p. 86-97.

[8.] Sakdasri, W., et al., *Pressurized hot water extraction of crude polysaccharides, β-glucan, and phenolic compounds from dried gray oyster mushroom.* LWT, 2022. **168**: p. 113895.

[9.] Bozin, B., et al., *Phenolics as antioxidants in garlic (Allium sativum L., Alliaceae).* Food Chemistry, 2008. **111**(4): p. 925-929.

[10.] Koido, K., et al., *Spent mushroom substrate performance for pyrolysis, steam co-gasification, and ash melting.* Biomass and Bioenergy, 2021. **145**: p. 105954.

[11.] Sugiyama, A., et al., *Caffeine fostering of mycoparasitic fungi against phytopathogens.* Plant Signaling & Behavior, 2016. **11**(1): p. e1113362.

[12.] Osunde, M., et al., *Effect of Carbon-Nitrogen Ratios of Lignocellulosic Substrates on the Yield of Mushroom (Pleurotus pulmonarius).* OALib, 2019. **06**: p. 1-8.

[13.] Elham, H.F., A. Shakiba, and P. Farideh, *Phenolic Compounds in the Built Environment*, in *Phenolic Compounds*, A.B. Farid, Editor. 2021, IntechOpen: Rijeka. p. Ch. 9.

[14.] Ruiz-Rodriguez, A., et al., *Effect of olive mill waste (OMW) supplementation to Oyster mushrooms substrates on the cultivation parameters and fruiting bodies quality.* International Biodeterioration & Biodegradation, 2010. **64**(7): p. 638-645.

[15.] Fan, L., et al., *Effect of caffeine and Tannins on cultivation and fructification of Pleurotus on coffee husks.* Brazilian Journal of Microbiology - BRAZ J MICROBIOL, 2006. **37**.

[16.] Reddy, V.S., et al., *Pharmacology of caffeine and its effects on the human body.* European Journal of Medicinal Chemistry Reports, 2024. **10**: p. 100138.

[17.] Meng, X., et al., *Parametric studies on corn straw combustion characteristics in a fixed bed: Ash and moisture content.* Energy, 2018. **158**: p. 192-203.

10R1-04

การทำนายเสียงรบกวนที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้างคันป้องกันน้ำท่วม

The Noise Prediction of Steel Sheet Pile Driving in Flood protection Dike Construction

สมลาภ บุญทศ[1] ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช[2] เสรีย์ ตู้ประกาย[2] และ ชลอ จารุสุทธิรักษ์[3]
Somlarp Boontod[1], Piyarat Premanoch[2], Seree Tuprakay[2] and Chalor Jarusutthirak[3]
[1*]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา; [2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240
[3]อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
[*]โทรศัพท์ : 08 2482 1755, E-mail : somlarp.boontod@gmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยกำลังพัฒนาไปสู่ความยั่งยืนโดยเน้นเรื่องการพัฒนาคุณภาพชีวิตและการจัดการสิ่งแวดล้อม หนึ่งในนั้นคือการจัดการกับมลพิษทางเสียงที่ก่อให้เกิดความรำคาญหรือระดับเสียงที่เป็นอันตรายต่อการได้ยิน ได้แก่ เสียงรบกวนที่เกิดจากการจราจรในชุมชน เสียงจากเครื่องจักรขณะทำงานก่อสร้าง เช่น การตอกเสาเข็ม การเจาะดิน และการกดเข็มพืดเหล็ก เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายและประเมินค่าระดับเสียงที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้างคันป้องกันน้ำท่วมที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านเสียงบริเวณคลองประปา ช่วง กม.22+320 ถึง กม.22+700 โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CadnaA ดำเนินการวิจัยโดยศึกษาข้อมูลลักษณะทางกายภาพด้วยโปรแกรม Google earth และเก็บข้อมูลเสียงรบกวนที่วัดได้จากจุดต่างๆด้วยเครื่องตรวจวัดเสียง แล้วนำข้อมูลเข้าโปรแกรม CadnaA เพื่อจำลองการแพร่กระจายของเสียง และประเมินค่าระดับเสียงที่เกิดขึ้น ผลการวิจัยพบว่าการแพร่กระจายของเสียงในบริเวณพื้นที่ด้านติดกับคลองประปามีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบทางเสียงมากที่สุด และเมื่อประเมินผลกระทบจากการสัมผัสเสียงต่อคนงานพบว่ามีแนวโน้มที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหากปฏิบัติงานนานกว่า 8 ชั่วโมง ซึ่งเสียงที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กพบว่าเป็นเสียงรบกวน อย่างไรก็ตามควรมีการขุดเจาะนำร่องเพื่อช่วยลดเสียงรบกวนที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กได้

คำสำคัญ : เสียงรบกวน, แคดนาเอ, โปรแกรมเขียนแบบ, ภาพสามมิติการแพร่กระจายของเสียง

Abstract

Thailand is progressing towards sustainability with a focus on improving quality of life and environmental management. One aspect of this is dealing with noise pollution that causes annoyance or poses a danger to hearing, such as traffic noise in communities and noise from machinery during construction work, like pile driving, soil drilling, and steel sheet pile driving. This research aims to predict and assess the noise levels resulting from steel sheet pile driving in flood protection dike construction, affecting the environmental sound levels along the canal from kilometer point 22+320 to kilometer point 22+700. The study utilizes the mathematical modeling software CadnaA, along with physical data gathered using Google Earth. Noise measurements are collected at various points using sound level meter and then integrated into the CadnaA software to simulate noise dispersion and assess the noise levels. The research findings suggest that noise dispersion in areas adjacent to the canal is primarily affected by the noise generated by pile driving

machines. Evaluation of the effects of noise exposure on workers reveals a tendency to harm workers while working more than 8 hours. Steel sheet pile diving makes noise. However, pilot driving can reduce the noise caused by pilling steel sheets.

Keywords : Noise, CadnaA, Shop drawing, Sound mapping

บทนำ

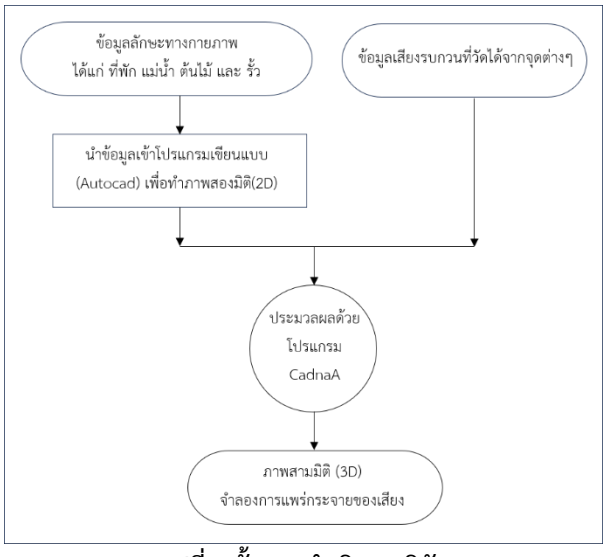
เสียงรบกวน (Noise) จัดเป็นมลพิษรูปแบบหนึ่ง โดยคณะกรรมการควบคุมมลพิษ ได้กำหนดนิยามของเสียงรบกวนไว้ว่า เป็นระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดในขณะมีการรบกวนที่มีระดับเสียงสูงกว่าระดับเสียงพื้นฐาน [1] มลพิษทางเสียงที่เกิดจากการก่อสร้าง สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศนั้น ได้มีการศึกษาเรื่องการตอบสนองแบบสามมิติของผนังตอกเสาเข็มแบบคู่ ที่เกิดจากการขุดเจาะและก่อสร้าง พบว่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นแหล่งกำเนิดเสียงในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ [2] ส่วนงานวิจัยในประเทศไทย โดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้รายงานศึกษาและพัฒนาฐานข้อมูลระดับเสียงเครื่องจักรกลก่อสร้าง ที่เกิดจากเครื่องจักรต่างๆ เป็นที่น่าสนใจว่า ค้อนตอกเสาเข็มแบบสั่นสะเทือน (Vibro hammer) ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลที่มีการสั่นกระแทกทำให้เกิดเสียงค่อนข้างสูงเช่นกัน [3] ดังนั้นเพื่อควบคุมสาเหตุที่อาจจะก่อให้เกิดมลพิษทางเสียง จึงมีการตรวจวัดเสียงด้วยเครื่องตรวจวัดเสียง (Sound level meter) สำหรับการตรวจวัดภายนอกอาคารนั้น ควรติดตั้งเครื่องมือให้ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงอย่างน้อย 3.5 เมตร [4] จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เทียบกับมาตรฐานเชิงพรรณนา หรือนำเข้าโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายการแพร่กระจายของเสียงหรือจำลองพื้นที่การตรวจวัดเสียง (Nosie mapping) และประเมินระดับเสียงที่เวลาต่างๆ เช่น การสร้างแบบจำลองเสียงรบกวน (Noise modeling packages) [5], [6] การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเสียงรบกวน (Noise) จากการจราจรในเมืองกับความรำคาญ (Annoyance) เชิงพรรณนาและใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (CadnaA) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเสียงรบกวน จากการจราจรในเมืองกับความรำคาญของผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง [7] ปัจจุบันได้มีการนำโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการศึกษาเสียงรบกวนในสิ่งแวดล้อมอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาระดับความดังของเสียงจากการจราจรด้วยโปรแกรม NMTHAI [8], การจำลองรูปแบบการกระจายมลพิษทางเสียงจากการจราจรด้วยโปรแกรม SoundPLAN และ Google Earth [6] และ การศึกษาการแพร่กระจายของเสียงและการจัดการมลพิษทางเสียงในเขตเมือง โดยกรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมเดิม) ด้วยโปรแกรม CadnaA [9] นอกจากนี้ โปรแกรม CadnaA ยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในยุโรป [3]

กำแพงเข็มพืด (Sheet Pile Walls) มีทั้งวัสดุที่เป็นไม้และเหล็ก เป็นโครงสร้างแบบแผ่นและยาว ใช้ในการป้องกันน้ำไหลผ่านได้ ส่วนใหญ่ใช้ทำเป็นกำแพงกันดินริมตลิ่งหรือชายฝั่ง มีลักษณะเป็นรูปตัวยู ยาวประมาณ 12 เมตร [10] รวมทั้งใช้ในงานขุดฝังท่อหรือขุดห้องใต้ดินของอาคารทั่วไป [11] ในการก่อสร้างนั้นจะทำการกดเข็มพืดลงไปในดินเพื่อเสริมโครงสร้าง จากการทบทวนข้อมูลการวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การศึกษาเสียงรบกวนที่เกิดจากการก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายเสียงรบกวนในประเทศไทยยังมีงานวิจัยน้อย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการทำนายเสียงรบกวนที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้าง ที่มีลักษณะรูปตัวยู (U-shape) และใช้ค้อนตอกเสาเข็มแบบสั่นสะเทือน (Vibro Hammer) ขนาด 450 ซีซี ในการกดความถี่ในการกด 3,500 ครั้ง/วินาที โดยกดแบบต่อเนื่องลงไปในดินและให้ส่วนปลายยาวพ้นพื้นดิน 8 เมตร อย่างไรก็ตามขณะที่ค้อนกดเข็มพืดกำลังกดเข็มพืดให้ลงไปในดินนั้น ก่อให้เกิดเสียงดัง ซึ่งอาจเป็นปัญหาต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียง ในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายและประเมินค่าระดับเสียงที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คาดการณ์ระดับเสียง (CadnaA) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการจัดการมลพิษทางเสียง นำไปสู่การหาแนวทางป้องกันต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเก็บข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่บริเวณที่ต้องการการตรวจวัด ได้แก่ ลักษณะโครงสร้าง วัสดุ และขนาดของที่พักอาศัย ความกว้างของแม่น้ำ ความสูงของต้นไม้ ความสูงและวัสดุของรั้วกำแพง เป็นต้น นำข้อมูลเข้าโปรแกรม AutoCAD เพื่อทำภาพสองมิติ 2) กำหนดจุดตรวจวัดและวัดระดับเสียงบริเวณตามแนวคลองประปา ช่วง กม.22+320 ถึง กม.22+700 จำนวน 11 ตำแหน่ง ทำการตรวจวัดระดับเสียงบริเวณเครื่องจักรที่กำลังทำงาน วัดระดับเสียงห่างจากจุดที่มีการกดเข็มพืดเหล็ก 1.5 เมตร และ 3 เมตร ตามลำดับ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของการติดตั้งอุปกรณ์และพื้นที่อาจได้รับผลกระทบ เพื่อให้ได้

ข้อมูลระดับเสียงที่วัดได้จากจุดต่างๆ ได้แก่ ระดับเสียงพื้นฐาน (Background noise level) และระดับเสียงสูงสุด (L_{max}) จากนั้นนำข้อมูลทั้งสองส่วนไปสร้างภาพสามมิติจำลองการแพร่กระจายของเสียงด้วยโปรแกรม CadnaA (ขั้นตอนดังรูปที่ 1) จากนั้นทำการประเมินเสียงรบกวนและประเมินการสัมผัสเสียง TWA 8 ชั่วโมง [12]

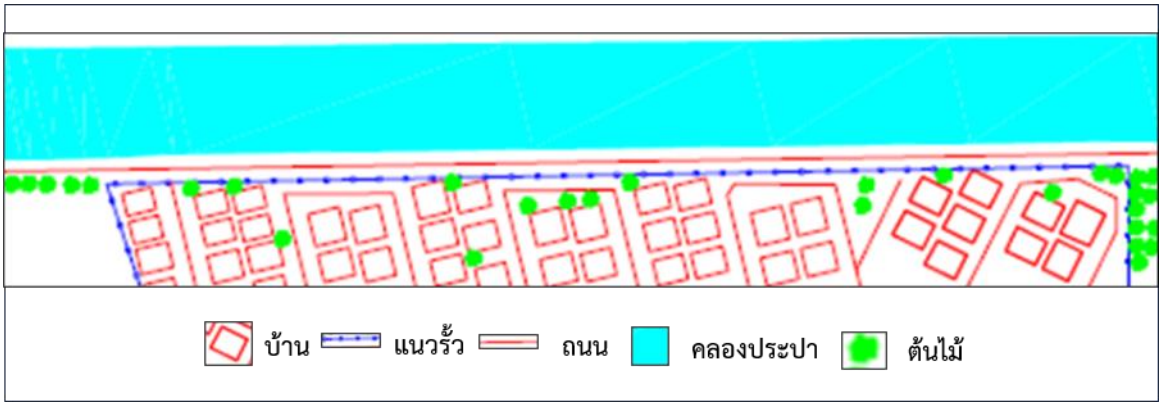


รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

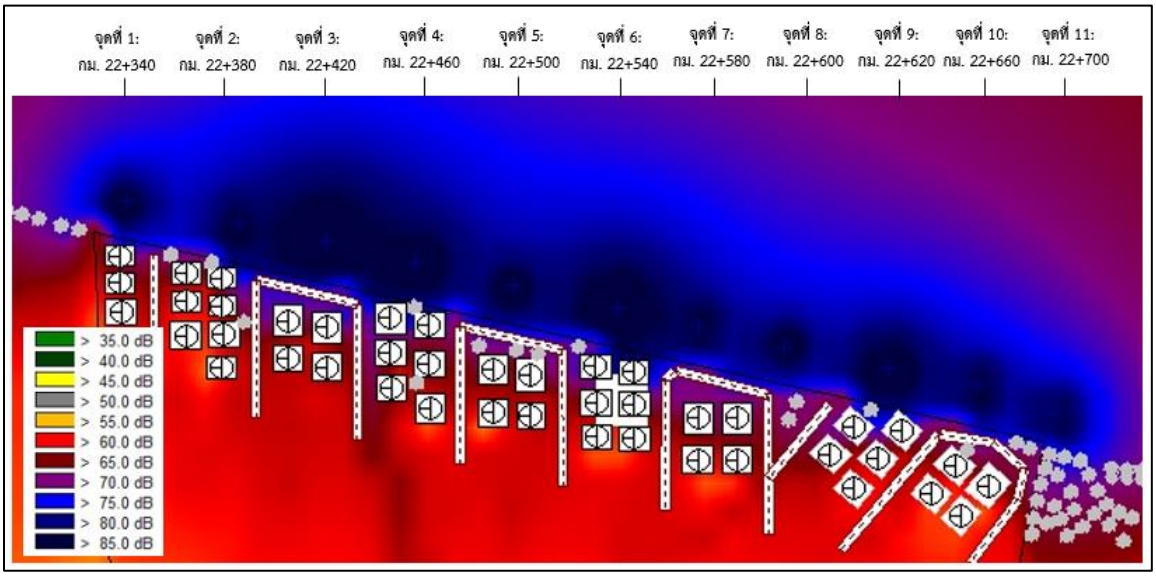
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การประมวลผลเพื่อทำนายการแพร่กระจายของเสียง โดยการนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพชนิดภาพถ่ายทางอากาศแสดงตำแหน่งของอาคารและสิ่งแวดล้อมบริเวณงานกดเข็มพืดเหล็กเพื่อก่อสร้างคันป้องกันน้ำท่วม ดังภาพที่แสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม AutoCAD เพื่อแสดงภาพสองมิติ (รูปที่ 3) และเพื่อนำเข้าข้อมูล (Input) ในโปรแกรม CadnaA สำหรับจัดทำแผนที่ระดับเสียง เพื่อใช้ทำนายการแพร่กระจายของเสียง ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5 พบว่า ค่าระดับเสียงอยู่ในช่วง 88.1 - 109.6 dB โดยค่าระดับเสียงจะดังที่สุดในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง ลักษณะการแพร่กระจายของเสียงจะกระจายออกไปทางด้านคลองประปา ค่าระดับเสียงที่สูง มากกว่า 75-85 dB (แถบสีน้ำเงินเข้ม) ซึ่งบริเวณนั้นไม่ค่อยมีบ้านเรือนชุมชน ส่วนด้านที่ติดกับบ้านเรือนหรือสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ หรือ ผนังรั้ว จะมีระดับเสียงที่ลดลง เฉลี่ย 60-65 dB (แถบสีแดง) เนื่องจากมีการดูดซับเสียงของโครงสร้างอาคารและต้นไม้ รอบๆบริเวณนั้น

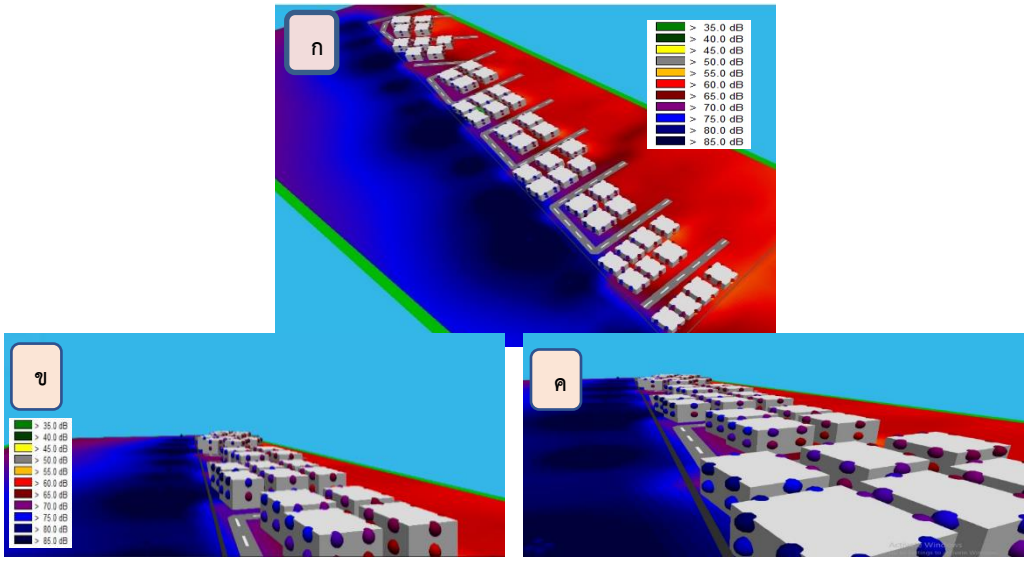
รูปที่ 2 พื้นที่เก็บข้อมูล ช่วงกิโลเมตรที่ 22+320 ถึง 22+700 และตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดระดับเสียง



รูปที่ 3 ภาพสองมิติแสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณจุดตรวจวัด ที่ได้จากโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 4 ภาพสองมิติแสดงการแพร่กระจายของเสียงที่จุดตรวจวัด ที่ได้จากโปรแกรม CadnaA



รูปที่ 5 ภาพสามมิติแสดงการแพร่กระจายของเสียงและการกระทบของเสียงต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณที่มีการกดเข็มพืดเหล็ก ด้านมุมสูง (Top view) (ก) และมุมด้านข้าง (Side view) (ข,ค) ที่ได้จากโปรแกรม CadnaA

2. ประเมินเสียงต่อคนงาน (วัดระยะที่คนงานปฏิบัติงาน)

การประเมินผลกระทบจากการสัมผัสเสียงต่อคนงาน ขณะปฏิบัติงานที่จุดตรวจวัดต่างๆ ดังตารางที่ 1 พบว่าระดับเสียงจากงานกดเข็มพืดเหล็กมีแนวโน้มที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน คืออยู่ ณ ช่วง 75.1 – 99.1 dBA หากปฏิบัติงานนานกว่า 8 ชั่วโมง ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ปี 2561 [12] เรื่องมาตรฐานระดับดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวันไม่เกิน 85 dBA เนื่องจากพนักงานต้องอยู่ประจำเครื่อง Vibro hammer ตลอดเวลาการทำงาน จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากเสียงโดยตรง ควรสวมใส่ PPE ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1 ระดับเสียงต่อคนงาน ขณะปฏิบัติงานที่จุดตรวจวัดต่างๆ (TWA 8 ชั่วโมง) วัดที่แหล่งกำเนิดเสียง

จุดที่วัด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ระดับเสียงเฉลี่ยขณะปฏิบัติงาน (dBA) TWA 8 ชั่วโมง	82.6	79.5	99.1	92.1	86.4	98.7	75.1	82.3	89.3	75.5	77.3

3. การประเมินเสียงรบกวน

คำนวณระดับการรบกวนตามประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เรื่อง วิธีการตรวจวัดระดับเสียงฯ โดยใช้เงื่อนไขกรณีที่เสียงจากแหล่งกำเนิดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ไม่ถึง 1 ชั่วโมง [1] ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ามีค่ามากกว่า 10 dB จำนวน 7 จุด คืออยู่ระหว่าง 10.0 – 27.1 dB ซึ่งการกดเข็มพืดเหล็ก เป็นจุดที่มีความอันตรายและมีความเสี่ยงที่จะเป็นเสียงรบกวน

ตารางที่ 2 ระดับเสียงรบกวนเมื่อเทียบกับค่า Background noise level ขณะที่มีการกดเข็มพืดเหล็ก

จุดที่วัด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ระดับเสียงก่อนปฏิบัติงาน (dB)	68.2	65.6	69.4	69.2	72.1	70.1	72.0	70.2	74.4	60.1	73.5
ระดับเสียงขณะปฏิบัติงาน (dB)	82.6	79.5	99.1	92.1	86.4	98.7	75.1	82.3	89.3	75.5	77.3
ค่าเสียงรบกวนที่คำนวณได้ (dB)	10.4	6.5	27.1	20.1	14.2	26.7	0.2	10.0	17.1	3.4	2.9

4. การปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบด้านเสียง

จากตารางที่ 2 ระดับเสียงที่ตรวจพบมีค่าสูงและเป็นเสียงรบกวน ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงการทำงานเพื่อลดระดับเสียงในขณะกดเข็มพืดเหล็ก โดยการขุดเจาะดินนำร่อง (Pre-driving) ด้วยเหล็กรูปตัวเอช (H Beam) ที่มีความหนา 20 เซนติเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 10 เมตร บริเวณจุดที่จะทำการกด เมื่อทำการทดลองโดยสุ่มตัวอย่างมา 3 จุด พบว่าสามารถลดระดับเสียงได้ประมาณ 5.6 dB ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 9.4

ตารางที่ 3 ระดับเสียงรบกวนก่อนและหลังปรับปรุงโดยการขุดเจาะดินนำร่องเพื่อกดเข็มพืด

ทดสอบวัดครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
ระดับเสียงก่อนมีการขุดเจาะนำร่อง (dB)	91.2	90.5	92.0	91.2
ระดับเสียงหลังการขุดเจาะนำร่อง (dB)	85.3	84.4	87.1	85.6
ระดับเสียงที่ลดได้ (dB)	5.9	6.1	4.9	5.6
คิดเป็นร้อยละ				9.4

สรุป

ผลการประเมินค่าระดับเสียงที่เกิดจากการกดเข็มพืดเหล็กในงานก่อสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CadnaA พบว่าการแพร่กระจายของเสียงในบริเวณพื้นที่ติดกับคลองประปา มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบทางเสียงมีค่าอยู่ระหว่าง 60 – 85 dB เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อการสัมผัสเสียงของคนงานก่อสร้าง พบว่าระดับเสียงอยู่ระหว่าง 77.1 – 99.1 dBA ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน และเมื่อพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมพบว่าส่วนใหญ่เป็นเสียงรบกวน อย่างไรก็ตามการปรับปรุงโดยการขุดเจาะดินนำร่องก่อนการกดเข็มพืดเหล็ก จะสามารถช่วยลดระดับเสียงดังที่เกิดขึ้นขณะทำงานได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม จังหวัดปทุมธานี สำหรับความร่วมมือทางด้านโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (CadnaA) ทำให้ได้ข้อมูลภาพจำลองการแพร่กระจายของเสียงได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เรื่อง วิธีการตรวจวัดระดับเสียง ระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน การตรวจวัดและคำนวณระดับเสียงขณะมีการรบกวน การคำนวณค่าระดับการรบกวน และแบบบันทึกการตรวจวัดเสียงรบกวน พ.ศ. 2565,” ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 139, ตอนพิเศษ 266 ง (ลงวันที่ 21 กันยายน 2565), หน้า 41, 2565.

[2] M. Fall, Z. Gao, and B. Cissokho Ndiaye, “Three-dimensional response of double anchored sheet pile walls subjected to excavation and construction sequence,” Heliyon, vol. 5, no. 3, pp. 1–24, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01348.

[3] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, “ศึกษาและพัฒนาฐานข้อมูลระดับเสียงเครื่องจักรกลก่อสร้าง,” 2565. Accessed: Oct. 15, 2023. [Online]. Available: https://eservice.deqp.go.th/e-book/100/index.html

[4] ปิยะรัตน์ ปรีย์มาโนช, การควบคุมมลพิษทางเสียงและการสั่นสะเทือน (Noise Pollution and Vibration Control), 3rd ed. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2563.

[5] P. Karantonis, T. Gowen, and M. Simon, “Further Comparison of Traffic Noise Predictions Using the CadnaA and SoundPLAN Noise Prediction Models,” 2010.

[6] น้ำฝน ยอดดี, เกียรติไกร อายุวัฒน์, and ธงไชย โรหิตะดิษฐ ศรีนพคุณ, “การจำลองรูปแบบการกระจายมลพิษทางเสียงจากการจราจรบริเวณรอบ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน,” วิศวกรรมสาร มก., vol. 28, no. 93, pp. 53–60, 2558, Accessed: Jul. 02, 2023. [Online]. Available: https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/view/79160

[7] G. Di, X. Liu, Q. Lin, Y. Zheng, and L. He, “The relationship between urban combined traffic noise and annoyance: An investigation in Dalian, north of China,” Science of the Total Environment, vol. 432, pp. 189–194, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.05.034.

[8] ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, “การศึกษาผลกระทบด้านเสียงจากการจราจรโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์,” วารสารวิทยาศาสตร์, vol. 10, pp. 34–45, 2552.

[9] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, “รายงานศึกษาการแพร่กระจายของเสียงและการจัดการมลพิษทางเสียงในเขตเมือง,” 2563.

[10] พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกูล, คู่มือวิศวกรรมฐานราก (Foundation Engineering Handbook), 3rd ed., vol. 1. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัน (มหาชน), 2563.

[11] พัลลภ วิสุทธิ์เมธานุกูล, คู่มือวิศวกรรมฐานราก (Foundation) 3rd ed., vol. 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2563.

[12] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, “ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน,” ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 135, ตอนพิเศษ 19 ง (ลงวันที่ 13 ธันวาคม 2560), หน้า 15, 2560.

[13] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ.2550) เรื่อง ค่าระดับเสียงรบกวน,” ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 124, ตอนพิเศษ 98 ง (ลงวันที่ 28 มิถุนายน 2550), หน้า 23, 2550.

10R1-05

ความสอดคล้องของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรปกับกฎเกณฑ์องค์การการค้าโลก กรณีศึกษา: ผลกระทบต่อภาคธุรกิจของไทย*

CONSISTENCY OF AN EU CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM (CBAM) WITH WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO) RULES CASE STUDY: IMPACT ON THE THAILAND BUSINESS SECTOR

ชีมณัฐญ์ ครุฑคง[1*] และ อัจฉริยา วงษ์บรูณาวาทย์[2]
Chi-manat Khrutkhong[1*] and Archariya Wongburanavart[2]
[1*]บัณฑิตศึกษา สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100
[2]อาจารย์ สำนักวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100
*โทรศัพท์ : 063-054-2941, E-mail : 6451601254@lamduan.mfu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ตรวจสอบความสอดคล้องของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป (EU CBAM) กับองค์การการค้าโลก (WTO) ที่เกี่ยวข้องกัน และวิเคราะห์ผลกระทบต่อภาคธุรกิจของประเทศไทยในฐานะประเทศกำลังพัฒนา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางและข้อเสนอแนะทางกฎหมายเพื่อช่วยให้ภาคธุรกิจเตรียมพร้อมและรับมือกับมาตรการ EU CBAM ของสหภาพยุโรป ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า EU CBAM อาจนำไปสู่ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานมากที่ส่งออกสินค้าไปยังสหภาพยุโรป ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับตัวอย่างมากในกระบวนการผลิตและแหล่งพลังงานเพื่อเพิ่มศักยภาพทางด้านความสามารถในการแข่งขัน ในการเข้าถึงตลาดสหภาพยุโรป การวิจัยนี้จึงเน้นย้ำถึงความจำเป็นที่ประเทศกำลังพัฒนาเช่นประเทศไทยจะต้องให้ความสำคัญในการปรับตัว โดยเฉพาะการเตรียมออกมาตรการภาคบังคับอย่างกฎหมายพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. ... อย่างเคร่งครัดและมีการทบทวนการเตรียมข้อมูลอย่างถี่ถ้วน เพื่อให้แน่ใจว่าภาคธุรกิจของประเทศไทยจะมีความพร้อมการดำเนินการตามมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (EU CBAM) และมาตรการด้านอื่นๆด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: มาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน, สหภาพยุโรป, องค์การการค้าโลก, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, ภาคธุรกิจของไทย, ประเทศไทย

Abstract

This research examines the consistency of the EU CBAM with relevant WTO rules and analyzes its impact on Thailand's business sector as a developing country. The study aims to provide guidelines and legal recommendations to help the business sector prepare for and cope with the EU CBAM measures. The findings suggest that the CBAM may lead to rising costs for energy-intensive industries exporting to the EU, necessitating significant adaptations in production processes and energy sources to maintain market access. The research highlights the need for developing countries like Thailand to engage in dialogue with the EU to ensure the CBAM's implementation is fair, transparent, and consistent with international trade and environmental agreements. Thus, the research highlights how important adaptability is for developing nations like Thailand. particularly getting ready to implement laws that will be required, including the Climate Change Act B.E.... rigorously and thoroughly examining information preparation. to guarantee that Thailand's corporate community is prepared to execute the EU CBAM and other climate change initiatives with efficiency.

Keywords: Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), European Union (EU), World Trade Organization (WTO), Climate Change, Thailand business sector, Thailand

บทนำ

THE EU'S CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM: EU CBAM) คือ มาตรการปรับราคาคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรปโดยกำหนดราคาสินค้านำเข้าบางประเภท เพื่อป้องกันการนำเข้าสินค้าที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเข้ามาในสหภาพยุโรป (EU) ในสินค้า 6 กลุ่มแรก ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการรั่วไหลของคาร์บอน (carbon leakage) สูง ได้แก่ ซีเมนต์ (Cement) เหล็กและเหล็กกล้า (Iron and Steel) กระแสไฟฟ้า (Electricity) อะลูมิเนียม (Aluminum) ปุ๋ย (Fertilizers) และไฮโดรเจน (Hydrogen) มาตรการ CBAM จึงเปรียบเสมือนแรงกดดันทางอ้อมให้ผู้ผลิตสินค้าในประเทศกำลังพัฒนา ใส่ใจที่จะหันมาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นและลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนลง หรือเปลี่ยนการลงทุนในพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น (Aboulnaga et al., 2019) [1] เพื่อให้สามารถแข่งขันและเข้าสู่ตลาดของสหภาพยุโรป (EU) ได้ มาตรการนี้จึงส่งผลให้การส่งออกสินค้าไปยัง EU ของภาคอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานเข้มข้นในการผลิต ต้องเผชิญกับต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นจากการถูกเรียกเก็บค่าธรรมเนียมหรือค่าปรับในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตสินค้า ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามาตรการ CBAM อาจจจะขัดต่อพันธกรณีของสหภาพยุโรปในฐานะภาคีสมาชิกขององค์การการค้าโลก (WTO) และผลกระทบที่ประเทศนอกสมาชิกสหภาพยุโรปได้รับอาจจะตั้งข้อสังเกตได้ว่า มาตรการ CBAM ละเมิดต่อหลักการด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศเกี่ยวกับความรับผิดชอบร่วมกันแต่แตกต่างกัน (Common but differentiated responsibilities) (Gayon, 2023) [2]

ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งพิจารณถึงความสอดคล้องของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป (EU CBAM) กับ กฎเกณฑ์ขององค์การการค้าโลก (WTO) ที่มีความเกี่ยวข้องกัน แล้วนำผลที่ได้จากการวิจัยมาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจของประเทศไทย ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา เพื่อให้ได้ผลการวิจัยเป็นแนวทางและข้อเสนอแนะทางด้านกฎหมาย รวมถึงส่งเสริมภาคธุรกิจให้มีความพร้อมสามารถรับมือต่อมาตรการ (EU CABM)

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยนี้จะศึกษาตั้งแต่กฎระเบียบและหลักการสำคัญ กลไกการทำงาน สินค้านำเข้าภายใต้มาตรการ บทบาทของผู้ประกอบที่นำเข้าสินค้าไปยังสหภาพยุโรป EU บทลงโทษของมาตรการ (EU CBAM) (*Carbon Border Adjustment Mechanism*, 2023) [3] และการค้าระหว่างประเทศ กฎเกณฑ์ขององค์การการค้าโลก (WTO) จากนั้นนำข้อมูลมาตรวจสอบความเข้ากันได้ ในรูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research)

การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างมาตรการ EU CBAM กับ กฎเกณฑ์องค์การการค้าโลก WTO มาจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคาร์บอน อาทิ หลักการด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศภายใต้ WTO กรอบอนุสัญญา UNFCCC ความตกลงปารีส (Paris Agreement) ระบบการซื้อขายการปล่อยมลพิษ (EU ETS) และร่าง พระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลง

สภาพภูมิอากาศ พ.ศ. ...ของประเทศไทย รวมถึงใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดประเด็นและจัดลำดับความสำคัญของมาตรการ EU CBAM กับผลกระทบต่อผู้ประกอบการไทยและรวบรวมข้อมูลผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย นำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ ทบทวน เรียบเรียง และบรรยายผลการศึกษาและการอภิปราย เพื่อให้ได้แนวทางและข้อเสนอแนะทางด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. มาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน

กลไกการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (Cross Border Adjustment Mechanism: CBAM) เป็นเครื่องมือสำคัญ ของสหภาพยุโรป (The European Union: EU) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “EU CBAM” เป็นกฎระเบียบที่อยู่ในชุดกฎหมาย Fit for 55 Package ภายใต้แผนการปฏิรูปสีเขียว (Green Deal) (*European Green Deal*, 2024) [4] โดยมีพัฒนาการมาจากกลไกตลาดคาร์บอนแห่งแรกของสหภาพยุโรป (EU Emission Trading System: EU ETS) โดยอยู่ภายใต้หลักการ Cap and Trade คือ การกำหนดแพดานของปริมาณคาร์บอนที่ผู้ประกอบการในสหภาพยุโรป (The European Union: EU) สามารถปล่อยได้สูงสุด และมีการจัดสรรสิทธิ์ในรูปของปริมาณก๊าซที่อนุญาตให้ปล่อยได้ (Emission Allowance) สำหรับผู้ประกอบการที่ปล่อยคาร์บอนได้ต่ำกว่าสิทธิ์ที่ได้รับ ก็จะสามารถนำสิทธิ์ส่วนเกินไปขายแก่ผู้ประกอบการรายอื่นได้ และในทางกลับกัน ผู้ประกอบการที่ปล่อยคาร์บอนสูงกว่าสิทธิ์ที่ได้รับ ก็จะต้องซื้อสิทธิ์เพื่อชดเชยการปล่อยคาร์บอนส่วนเกินนั้นๆ

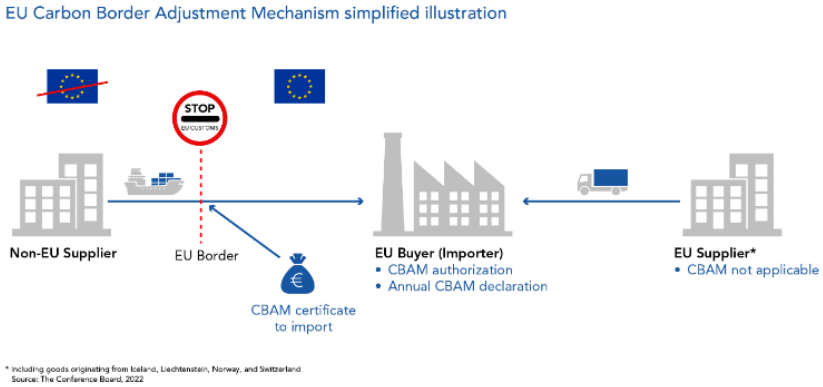
1.1 วัตถุประสงค์ของกลไกการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน

มาตรการ EU CBAM เป็นเครื่องมือของสหภาพยุโรปในการจัดการกับความเสี่ยงของการรั่วไหลของคาร์บอน (Carbon Leakage) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผู้ประกอบการบางส่วนย้ายฐานการผลิตไปยังประเทศที่มีการควบคุมการปล่อยก๊าซคาร์บอนมาตรฐานต่ำกว่ากฎระเบียบของ EU รวมถึงย้ายฐานการผลิตไปยังประเทศที่มีนโยบายสภาพภูมิอากาศที่เข้มงวดน้อยกว่าด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงการแบกรับค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าที่สูงขึ้นจากการเก็บค่าธรรมนียมราคาคาร์บอน ส่งผลให้สินค้าเหล่านี้มีราคาถูกกว่าสินค้าที่มีฐานการผลิตใน EU และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากกว่าสินค้าที่ผลิตโดยผู้ประกอบการซึ่งปฏิบัติตามกฎระเบียบของ EU อย่างเคร่งครัด เช่นนี้ EU CBAM จึงเป็นมาตรการที่เกิดขึ้นจากการที่ EU มีเป้าหมายที่จะกำหนดราคาที่ยุติธรรมสำหรับสินค้าที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนเข้มข้นสูงออกมาในระหว่างการผลิตและนำเข้ามายัง EU และส่งเสริมการผลิตทางอุตสาหกรรมที่สะอาดขึ้นในประเทศนอกสหภาพยุโรป (บราลี, 2566) [5]

เช่นนี้ EU CBAM จึงเป็นเป็นส่วนสำคัญของความพยายามของสหภาพยุโรปในการต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยทำให้ราคาคาร์บอนของสินค้านำเข้าเทียบเท่ากับราคาคาร์บอนของการผลิตในประเทศ ซึ่งช่วยป้องกันการรั่วไหลของคาร์บอน (Carbon Leakage) และสนับสนุนวัตถุประสงค์ด้านสภาพภูมิอากาศของสหภาพยุโรปรวมถึงสร้างความเท่าเทียมในการแข่งขันทางการค้าระหว่างสินค้าใน EU และสินค้านอก EU

1.2 การบังคับใช้กลไกการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน

EU CBAM เริ่มมีผลใช้บังคับ ณ วันที่ 1 ตุลาคม 2023 เป็นระยะเปลี่ยนผ่าน (Transitional Period) ซึ่งการดำเนินการตามกฎระเบียบของ EU CBAM บังคับใช้อย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกับระยะเวลาของการยุติการให้สิทธิ์ฟรีภายใต้ EU ETS ซึ่งสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนของอุตสาหกรรมในสหภาพยุโรป โดยมีช่วงระยะเวลาเปลี่ยนผ่าน 3 ปีแรก ระหว่างปี 2023 ถึง 2025 ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนี้ผู้นำเข้าสินค้าในกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายตามสินค้าที่กำหนดของ EU CBAM ยังไม่ต้องชำระค่าธรรมเนียม CBAM Certificate แต่มีหน้าที่รายงานปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Embedded Emission) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการผลิตทั้งทางตรง (Direct Emissions) และทางอ้อม (Indirect Emissions) ของสินค้าที่นำเข้า (กิจจาลักษณ์, 2566) [6]



แผนภาพที่ 1 ขั้นตอนกลไกปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของ EU (The Conference Board, 2022)

ในปี 1 มกราคม 2026 มาตรการ EU CBAM จะบังคับใช้เต็มรูปแบบ (Definitive Period) โดยกลุ่มสินค้าเป้าหมายสินค้า 6 กลุ่มแรก ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการรั่วไหลของคาร์บอน (carbon leakage) สูง ได้แก่ ซีเมนต์ (Cement) เหล็กและเหล็กกล้า (Iron and Steel) กระแสไฟฟ้า (Electricity) อะลูมิเนียม (Aluminum) ปุ๋ย (Fertilizers) และไฮโดรเจน (Hydrogen) หลักการจะบังคับในกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายซื้อ CBAM Certificate ตามปริมาณการนำเข้าและปริมาณการปล่อยคาร์บอนของสินค้าดังกล่าว ซึ่งผู้นำเข้าอาจได้รับส่วนลดตามสัดส่วนที่ได้ชำระค่าธรรมเนียมคาร์บอนในประเทศต้นกำเนิดสินค้าแล้ว (คือ การที่ผู้ประกอบการ หรืออผู้นำเข้า สามารถพิสูจน์ได้ว่าได้มีการจ่ายราคาคาร์บอนในระหว่างการผลิตในประเทศผู้ส่งออก ราคาคาร์บอนนั้นจะนำมาพิจารณาด้วยเพื่อถูกหักออกจากภาระผูกพัน EU CBAM) ทั้งนี้ราคาของ CBAM Certificate จะอ้างอิงจาก EU Emissions Trading System (ETS) โดยจะขึ้นอยู่กับราคาประมูลเฉลี่ยรายสัปดาห์ของ EU Emissions Trading System (ETS) ที่อนุญาต ซึ่งแสดงเป็น €/ตันของ CO2 ที่ปล่อยออกมา (กิจจาลักษณ์, 2566) [6]

1.3 บทบาทของผู้ประกอบและการกำกับการนำเข้าสินค้าเข้าสู่สหภาพยุโรป

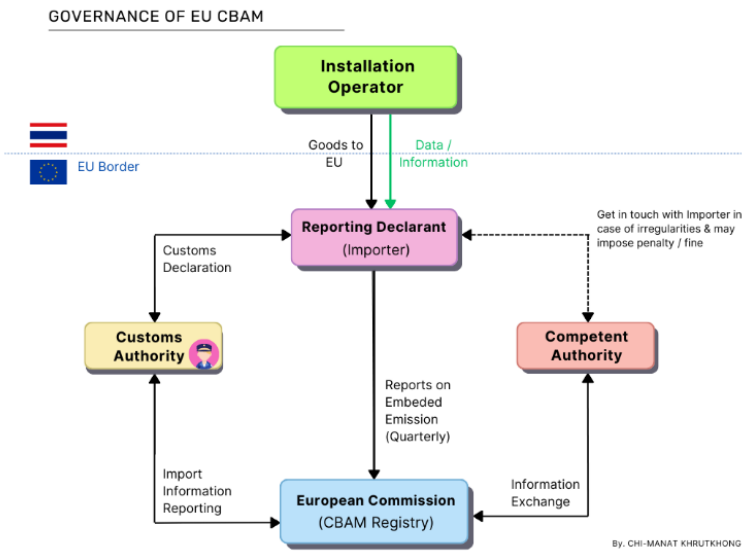
ผู้ประกอบการนำเข้าสินค้า (Installation Operator) หรือผู้ผลิตที่อยู่ในประเทศไทยจะต้องลงทะเบียนกับหน่วยงานระดับประเทศในประเทศสมาชิกของตน มีหน้าที่รายงานปริมาณสินค้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ฝังอยู่ รายงานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในในกระบวนการผลิตสินค้า โดยเฉพาะค่า embedded emissions เพื่อส่งให้กับทางให้กับ Reporting Declarant (Importer) รวมถึงจะต้องเก็บบันทึกภาระผูกพัน CBAM และให้ข้อมูลแก่เจ้าหน้าที่เมื่อมีการร้องขอ ที่สำคัญอย่างยิ่งผู้นำเข้ามีหน้าที่จัดซื้อ CBAM Certificate เมื่อมีการบังคับใช้เต็มรูปแบบ โดยทางสหภาพยุโรปดำเนินการต่อไป ดังนี้

(1) Reporting Declarant (Importer) [EU] ผู้ที่นำเข้าสินค้าไปยังสหภาพยุโรป ทุกๆกระบวนการแทบจะผ่านบุคคลนี้ ทำหน้าที่สรุปรายงาน ส่งให้กับทางสหภาพยุโรปส่งข้อมูลรายงายชุดที่ตรวจสอบแล้วให้ทาง EC

(2) Customs Authority ศุลกากร [EU] ดำเนินการทางด้าน Customs Deciartating กับทาง Reporting Declarant (Importer) [EU] อาจจะต้องการให้ส่งข้อมูลให้เพิ่มเติม ให้ทาง EC เป็นการรายงานข้อมูลชุดที่ระบุว่าสินค้า CBAM Good ที่นำเข้ามานั้นมีปริมาณเป็นจำนวนเท่าไหร่ (ได้รับสินค้าเข้ามาสำแดงเป็นจำนวนเท่าไหร่ ในส่วนสินค้าที่เป็น CBAM Good) โดยมี (CBAM Registry) เป็นฐานที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล CBAM

(3) Competent Authority [EU] บุคคลในหน่วยงานอื่นๆ ของประเทศสมาชิกนั้นๆภายในสหภาพยุโรป อาทิ หน่วยงานทางด้านสิ่งแวดล้อม หน่วยงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หน่วยงานทางด้านพลังงาน โดยเป็นผู้ที่มีบทบาทสำคัญในส่วนของ CBAM เป็นผู้ตรวจ CBAM Report รวมถึงเป็นผู้ที่สามารถแจ้งให้มีการปรับ เปลี่ยน หรือให้ดำเนินการ เพื่อให้รายงารการจัดการคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน ให้เป็นไปตามกฎระเบียบ (โดยจะให้ปรับ หรือแก้ หากว่าข้อมูลในการรายงานของผู้ผลิตไม่ถูกต้อง หรือมีเจตนาที่ไม่ถูกต้อง ไม่เป็นไปตามกฎระเบียบ ข้อบังคับ) และทำหน้าที่เข้ามาดึงข้อมูลที่แต่ละฝ่ายมีการรายงานใน EC ไปตรวจสอบ (บุคคลนี้จะถูกแต่งตั้งโดยแต่ละประเทศสมาชิกในสหภาพยุโรปประเทศละคน)เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รายงาน อาทิ *embedded emissions มีความสอดคล้องกับค่ารายงานในตลาดหรือไม่ หากตรวจสอบแล้วพบข้อสงสัยเพิ่มเติมจะ

มีการสอบถามกลับเข้ามาทาง ***Reporting Declarant เพื่อให้มีการตรวจสอบเพิ่มเติมหรือแก้ไขข้อมูลเพิ่มเติม หรือหากมีข้อมูลที่เจตนารายงานไม่ถูกต้อง ก็จะมาปรับกับเจ้าหน้าที่ Reporting Declarant



แผนภาพที่ 2 การกำกับดูแลมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป (EU CBAM)
หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก Boonrod Yaowapruek. (2023). Governance of CBAM in Cross Border Adjustment Mechanism (CBAM). In *Carbon Markets Club,* : The Creagy Company.

บุคคลนี้เหล่านี้ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะต้องดำเนินการส่งรายงานให้กับ EC [European Commission (CBAM Registry)] (CBAM Registry) เป็นฐานที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล CBAM โดยที่ข้อมูลต่างๆก็จะนำมาประมวลผลร่วมกันภายใต้ฐานข้อมูลดังกล่าว ว่าการรายงานที่จัดส่งมานั้น เป็นรายงานที่ถูกต้องตรงกันหรือไม่ ในเชิงปริมาณ (ตรวจสอบจาก Data based) ทั้งนี้จะต้องมีผู้ทวนสอบ (Third-party Verifier) ผู้ทวนสอบ มีบทบาทในช่วง Definitive Period ซึ่งเป็นบุคคลที่สามที่เข้าดำเนินการตรวจรายงาน CBAM Report โดยผู้ทวนสอบ ไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบในระหว่างระยะการเปลี่ยนผ่าน แต่จะมีบทบาทสำคัญในช่วงขั้นสุดท้ายในช่วงที่มีการบังคับใช้อย่างเต็มรูปแบบ (บราลี, 2566) [5]

1.4 บทลงโทษของมาตรการ

การไม่ปฏิบัติตามพันธกรณีของ CBAM เช่น การไม่มอบใบรับรอง CBAM Certificate ที่เพียงพอ อาจส่งผลให้ได้รับโทษ โดยบทลงโทษจะเป็นไปตามสัดส่วนความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการไม่ปฏิบัติตาม ซึ่งประเทศสมาชิกจะบังคับใช้บทลงโทษและรับรองการปฏิบัติตามกฎ CBAM การไม่ปฏิบัติตามซ้ำแล้วซ้ำเล่าอาจนำไปสู่ผลที่ตามมาที่รุนแรงยิ่งขึ้น เช่น ค่าปรับหรือการห้ามนำเข้า(กลไกการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป, 2566) [10]

3. การวิเคราะห์ความสอดคล้องของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป EU CBAM กับองค์การการค้าโลก WTO โดยมีประเด็นที่มีความเกี่ยวข้องกัน ดังนี้

3.1 หลักการไม่เลือกปฏิบัติ (GATT Article I และ III) CBAM ต้องปฏิบัติตามหลักการไม่เลือกปฏิบัติหลักของ WTO การปฏิบัติต่อประเทศชาติที่โปรดปรานมากที่สุด (MFN) (GATT Article I) EU CBAM ไม่ควรเลือกปฏิบัติระหว่าง "ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน" ("like products") ควรใช้อย่างสม่ำเสมอกับการนำเข้าจากทุกประเทศ และการปฏิบัติต่อระดับชาติ (GATT Article III) EU CBAM ไม่ควรปฏิบัติต่อผลิตภัณฑ์นำเข้าที่ให้ผลดีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในประเทศที่ "เหมือน" ราคาคาร์บอนในการนำเข้าไม่ควรเกินราคาคาร์บอนในประเทศ หาก EU CBAM เลือกปฏิบัติตามประเทศต้นทางหรือปฏิบัติต่อการนำเข้าอย่างไม่พึงปรารถนา ก็อาจเป็นการละเมิดมาตรา GATT I และ III สหภาพยุโรปจะต้องให้เหตุผลกับ CBAM ภายใต้ข้อยกเว้นใน GATT Article XX(Leturcq, 2022) [8]

3.2 ข้อยกเว้นสำหรับมาตรการด้านสิ่งแวดล้อม (GATT บทความ XX) GATT มาตรา XX กำหนดข้อยกเว้นสำหรับมาตรการ "ที่จำเป็นในการปกป้องชีวิตหรือสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ หรือพืช" (XX(b)) หรือ "ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้หมดสิ้นได้" (XX(g)) เพื่อพิสูจน์ CBAM ภายใต้มาตรา XX สหภาพยุโรปจะต้องแสดง (1) CBAM เกี่ยวข้องหรือจำเป็นต่อวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม (2) CBAM ไม่ได้ใช้ในลักษณะตามอำเภอใจหรือไม่สมเหตุสมผลซึ่งเป็นการเลือกปฏิบัติระหว่างประเทศ (3) CBAM ไม่ใช่ "การจำกัดการค้าระหว่างประเทศที่แอบแฝง" สหภาพยุโรปอาจแย้งว่า CBAM มีความจำเป็นเพื่อจัดการกับการรั่วไหลของคาร์บอนและกระตุ้นให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกเพื่อปกป้องสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม การออกแบบและการประยุกต์ใช้ CBAM จะได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เลือกปฏิบัติหรือกีดกันทางการค้า(Zhao, 2023) [9]

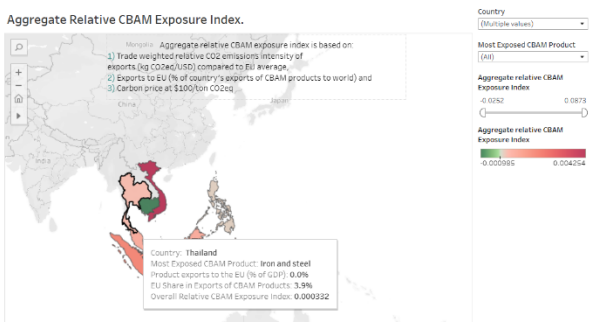
3.3 กฎระเบียบทางเทคนิคและมาตรฐาน (ข้อตกลง TBT) CBAM อาจถือเป็น "กฎระเบียบทางเทคนิค" ภายใต้ข้อตกลง TBT เนื่องจากมีแนวโน้มว่าจะวางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและวิธีการผลิตที่เกี่ยวข้อง ภายใต้ข้อตกลง TBT CBAM ควรไม่เลือกปฏิบัติหรือระหว่างสินค้านำเข้า ไม่มีการจำกัดการค้ามากเกินความจำเป็นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ถูกต้องตามกฎหมาย เป็นไปตามมาตรฐานสากลหากเป็นไปได้ สหภาพยุโรปควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าข้อกำหนดทางเทคนิคของ CBAM มีความโปร่งใส ไม่เลือกปฏิบัติ และไม่สร้างภาระให้กับผู้ส่งออกมากเกินไป การใช้วิธีการบัญชีคาร์บอนที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลสามารถช่วยปฏิบัติตามกฎ TBT ได้(Sejdiu, 2023) [7]

3.4 ความรับผิดชอบร่วมกันแต่แตกต่างกัน (Common but differentiated responsibilities) ปัจจุบัน EU CBAM ไม่รวม CBDR ใช้ราคาคาร์บอนที่สม่ำเสมอกับการนำเข้าจากทุกประเทศ โดยไม่คำนึงถึงระดับการพัฒนาหรือการปล่อยก๊าซในอดีต การปฏิบัติที่เท่าเทียมกันนี้มีความจำเป็นสำหรับ CBAM ในการปฏิบัติตามพันธกรณีในการไม่เลือกปฏิบัติของ WTOอย่างไรก็ตาม สหภาพยุโรปควรพิจารณาวิธีรวม CBDR เข้ากับ CBAM ในขณะที่ยังคงเคารพกฎของ WTO เช่น การยกเว้นประเทศพัฒนาน้อยที่สุด (LDCs) จาก CBAM การให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคและการเงินเพื่อช่วยให้ประเทศกำลังพัฒนาปฏิบัติตามข้อกำหนดของ CBAM อนุญาตให้ประเทศกำลังพัฒนาปรับตัวก่อนที่จะนำ CBAM ไปใช้อย่างเต็มที่ การใช้รายได้จาก CBAM เพื่อสนับสนุนการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศในประเทศกำลังพัฒนา

การรวมองค์ประกอบ CBDR เหล่านี้เข้าด้วยกันอาจทำให้ CBAM เป็นที่ยอมรับทางการเมืองมากขึ้นและมีโอกาสน้อยที่จะถูกท้าทายที่ WTO สิ่งนี้จะแสดงให้เห็นว่าสหภาพยุโรปคำนึงถึงความท้าทายที่เป็นเอกลักษณ์ของประเทศกำลังพัฒนาและมุ่งมั่นที่จะสนับสนุนความพยายามด้านสภาพภูมิอากาศของพวกเขา

4. การอภิปรายผลกระทบต่อภาคธุรกิจของประเทศไทย

มาตรการ EU CBAM มีเป้าหมายเพื่อจัดการกับการรั่วไหลของคาร์บอน (carbon leakage) เมื่อพิจารณาจากกฎระเบียบที่บัญญัติขึ้นมาและการประเมินว่า EU CBAM สอดคล้องกับกฎและข้อบังคับของ WTO รวมถึงการตรวจสอบความท้าทายหรือความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้นระหว่างEU CBAM และ WTO (Sejdiu, 2023) [4] แสดงให้เห็นว่า EU CBAM เป็นมาตรการทางด้านสิ่งแวดล้อม ที่ได้รับการออกแบบให้เข้ากันได้กับกฎระเบียบการค้าขององค์การการค้าโลก (WTO) มาตรการดังกล่าวจัดทำขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือในการกำหนดราคาของคาร์บอนปล่อยออกมาในระหว่างการผลิตสินค้าที่เป็นสินค้านำเข้าไปยังประเทศสมาชิกภายในสหภาพยุโรปอย่างยุติธรรม เนื่องจากราคาคาร์บอนของการนำเข้านั้นมีความเทียบเท่ากับราคาคาร์บอนของการผลิตสินค้าภายในประเทศสมาชิกสหภาพยุโรป



รูปที่ 2 แผนที่แสดงดัชนีการสัมผัส EU CBAM สัมพัทธ์ (*Relative CBAM Exposure Index*, 2023

ปัจจุบันข้อมูจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยนั้นมีการส่งออกสินค้าที่ทาง EU CBAM กำหนด โดยแม้ว่าเหล็กและเหล็กกล้าเป็นกลุ่มสาหกรรมสินค้าที่ได้รับผลกระทบเป็นหลัก อย่างไรมาตรการนี้ส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจก่อให้เป็นความเสี่ยงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ต้นทุนเพิ่มขึ้นและลดความสามารถในการแข่งขันอาจจะส่งผลให้เกิดการหยุดชะงักของห่วงโซ่อุปทานและการกีดกันทางการค้า ประเทศไทยจึงควรมีการจัดการความเสี่ยงทางธุรกิจจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การมีส่วนร่วมทางการทูตและการเจรจากับสหภาพยุโรป อาทิ การพัฒนาเทคโนโลยีด้านการจัดกาก๊าซเรือนกระจก ซึ่งประเด็นนี้เพื่อให้ EU CBAM สอดคล้องกับกฎเกณฑ์องค์การการค้าโลก EU อาจจะต้องดำเนินการเป็นผู้สนับสนุนทางเทคโนโลยี เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถและความช่วยเหลือด้านเทคนิคสำหรับธุรกิจไทยและการสนับสนุนจากทางภาครัฐของประเทศไทยเองในการ ออกกฎหมายบังคับใช้ (พระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายภาคบังคับ ที่ส่งเสริมด้านการจัดการก๊าซเรือนกระจก และให้การสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนต่ำและนวัตกรรมในอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบ เพื่อการส่งออกสินค้าไปยังภายในสหภาพยุโรป หรือประเทศอื่นที่มีกฎเกณฑ์ปรับราคาคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน ให้มีความสามารถในการแข่งขันทางการค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุป

จากการวิจัยสรุปได้ว่าประเทศไทยได้รับผลกระทบจากมาตรการ EU CBAM เพราะระบบการจัดการก๊าซเรือนเรือนกระจกยังมีประสิทธิภาพไม่มากพอ ดังนั้น มาตรการ EU CBAM นี้ถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่กระตุ้น สร้างแรงผลักดันที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการผลิตภาคอุตสาหกรรมที่สะอาดขึ้น โดยเฉพาะด้วยการออกกฎหมายเป็นมาตรการภาคบังคับด้านกฎหมายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อการพัฒนากฎหมายให้เป็นมาตรฐานการใช้พลังงานหมุนเวียนและเกิดความยั่งยืน (Law & renewable and sustainable energy) และส่งเสริมศักยภาพของภาคธุรกิจ อุตสาหกรรมของประเทศไทยให้มีความสามารถทางด้านการแข่งขันทางการค้าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการนำเสนอหรือเผยแพร่ผลงานวิจัยของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ประจำปีการศึกษา 2566 ขอขอบคุณดร.อัจฉริยา วงษ์บรูณาวาทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์สำหรับความกรุณา ให้คำปรึกษา ให้ข้อแนะนำสำหรับการวิจัยและตรวจสอบข้อบ่งพร่องในงานวิจัยจนสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี รวมถึงผู้มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลในการจัดทำวิจัย และทุกท่านที่มีส่วนเป็นแรงสนับสนุน แรงผลักดันต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Aboulnaga, M. M., Elwan, A. F., & Elsharouny, M. R. (2019). Risks, Policies, Measures and Actions for Climate Change Adaptation in Developing Countries. In M. M. Aboulnaga, A. F. Elwan, & M. R. Elsharouny, *Urban Climate Change Adaptation in Developing Countries: Policies, Projects, and Scenarios* (152-177). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05405-2_6

[2] Gayon, C. A. A. (2023). The EU's CBAM, complying with the CBDR principle could also mean compliance with WTO law [Article]. *Minnesota Journal of International Law*, *32*(1), pp. 269-300. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lgs&AN=162576796&site=eds-live&authtype=ip,uid

[3] Union, T. a. C. (2023, October 1). *Carbon Border Adjustment Mechanism*. European Commission. Retrieved 3 April 2024 from https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

[4] the General Secretariat of the Council. (2024, March 21). *European Green Deal*. the Council of the EU and the European Council. Retrieved 3 April 2024 from https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/

[5] บราลี รัตนปิณฑะ. (2566, ธันวาคม). *รายงานการศึกษา, กลไกปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (CBAM) ในช่วงระยะเปลี่ยนผ่านสำหรับผู้ประกอบการ*. สำนักงานที่ปรึกษาการศุลกากร ประจำสถานเอกอัคราชฑูต ณ กรุงบลัสเซลส์. https://brussels.customs.go.th/data_files/a529141314e4ed3f6fe54976a67568dd.pdf

[6] กิจจาลักษณ์ ศรีนุชศาสตร์. (2566). ศุลกากร กับ CBAM. *บทความทางวิชาการ กรมศุลกากร*, หน้า 2-5. https://th.customs.go.th/data_files/0985112aee85b1181c0b5526545b056b.pdf

[7] Sejdiu, E. (2023). Decarbonizing the world: can the EU CBAM provide the incentive we need? [Article]. *Energy Law Journal*, *44*(2), pp. 219-250. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lgs&AN=173955113&site=eds-live&authtype=ip,uid

[8] Leturcq, P. (2022). The European Carbon Border Adjustment Mechanism and the path to Sustainable Trade Policies: From 'Coexistence' to 'Cooperation' [Article]. *Cambridge Yearbook of European Legal Studies*, *24*, pp. 67-87. https://doi.org/10.1017/cel.2022.6

[9] Zhao, H. (2023). Implementation of the EU's CBAM under the WTO Rules: Process, Relations, Responses. *Lecture Notes in Education Psychology and Public Media*. https://lnep.ewapublishing.org/media/65adf681fe5a469bb72159f4042da4b8.marked.pdf

[10] สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2566, กรกฎาคม). *กลไกการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป*. สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. https://url.fti.or.th/l/YbWiEr5A8

10R1-06

ระบบการควบคุมและจัดการสินค้าคงคลังเพื่อลดต้นทุนสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา: คลังยาและเวชภัณฑ์โรงพยาบาลวชิรพยาบาล

Inventory Control and Management System for Inventory Cost Reduction: A Case Study of The Pharmacy and Medical Supplies Warehouse of Vajira Hospital

อดิสร วงศ์วรเสถียร[1*] และ ชัชพล มงคลิก[2]
Adisorn Wongworrasathien [1*] and Chatpon Mongkalig [2]
[1*]นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาการพัฒนาและจัดการเมือง วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10300
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10300
[*]โทรศัพท์ : 08 2014 4477, E-mail : adisorn@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาการแบ่งระดับความสำคัญของยาและเวชภัณฑ์ในการสั่งซื้อให้เหมาะสมกับคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีจำกัด 2) เพื่อศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ (Forecasting Techniques) ความต้องการของยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม และ 3) เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงการวางแผนการสั่งซื้อ (Master Production Schedule: MPS) การควบคุมและลดต้นทุนคลังยาและเวชภัณฑ์ การศึกษานี้เป็นการศึกษาย้อนหลังโดยใช้ข้อมูลคลังยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลวชิรพยาบาล ตั้งแต่เดือนมกราคม 2562 ถึงเดือนธันวาคม 2566 มีตัวอย่างรายการยาและเวชภัณฑ์ทั้งสิ้น 1,935 ชนิด (จำนวน 109,008 รายการ) นำมาจัดระดับความสำคัญด้วย ABC-VED (ABC-VED Analysis; The 70:20:10 Concept) เทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้เป็นแบบอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ได้แก่ Moving Average, Single Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing และ Winters' method ในการวิเคราะห์และเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม ใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) เป็นค่าวัดความแม่นยำของการพยากรณ์

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อแบ่งความสำคัญและความจำเป็นด้วย ABC-VED แล้ว ด้วยการศึกษานี้มุ่งเน้นเพื่อลดต้นทุน จึงพิจารณายาในกลุ่ม A จำนวน 233 รายการ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้งบประมาณสูงสุด คิดเป็นสัดส่วน 12.04% ของรายการยาทั้งหมด และมีมูลค่าสูงสุดที่ 4,433,258,336.11 บาท คิดเป็นสัดส่วน 70.95% ของงบประมาณทั้งหมด จากการวิเคราะห์ค่า MAPE และ MAD วิธีการพยากรณ์ที่ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดทั้งค่า MAPE และ MAD คือ วิธี Single Exponential Smoothing จากผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อเทียบกับค่าพยากรณ์ความต้องการยาก่อนการปรับปรุง สามารถนำใช้ประโยชน์เพื่อวิเคราะห์และจัดทำแผนการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์ (MPS) เพื่อลดต้นทุนของยาและเวชภัณฑ์คงคลัง โดยเลือกจำนวนตัวอย่าง (sampling) จำนวน 10% ที่มีค่าสูงสุดของจำนวนยาทั้งหมดในกลุ่ม A พบว่าสามารถลดมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บได้จำนวน 5,957,398.53 บาท คิดเป็น 30% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์และการวางแผนการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์ (MPS) แบบเดิม

คำสำคัญ : การจัดระดับความสำคัญ; การพยากรณ์ความต้องการ; การวิเคราะห์อนุกรมเวลา; การบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์

Abstract

The objectives of this study were to (1) investigate the appropriate allocation of pharmaceuticals based on their importance for procurement in limited pharmaceutical inventories, (2) explore forecasting techniques for pharmaceutical demand, and (3) propose enhancements to Master Production Schedule (MPS) planning, control, and cost reduction in pharmaceutical inventories. Utilizing data from a hospital pharmacy from January 2019 to December 2023, 1,935 items (totaling 109,008 records) were analyzed using ABC-VED (ABC-VED Analysis; The 70:20:10 Concept). Time series analysis techniques including Moving Average, Single Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing, and Winters' method were employed. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Mean Absolute Deviation (MAD) were used as accuracy metrics for forecasting.

Results revealed a focus on cost reduction through ABC-VED categorization, highlighting 233 Group A items representing 12.04% of total pharmaceutical items, accounting for 70.95% of the total budget. Single Exponential Smoothing yielded the lowest MAPE and MAD values, indicating superior forecasting accuracy. By employing MPS based on this method and selecting a 10% sample of high-volume Group A items, a 30% reduction in stored pharmaceutical value, totaling 5,957,398.53 THB, was achieved compared to traditional forecasting and MPS planning.

Keywords : ABC-VED Analysis; Demand forecasting; Time series analysis; Pharmaceutical inventory Management

บทนำ

ยาและเวชภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการรักษาและบริการผู้ป่วยในโรงพยาบาลและหน่วยงานสาธารณสุขต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันโรงพยาบาลประสบปัญหาเกี่ยวกับยอดการสั่งซื้อที่มีความแปรปรวนมาก เนื่องจากโรงพยาบาลส่วนใหญ่ใช้วิธีการประมาณการตามอัตราการใช้ยาในรายไตรมาส หรือรายเดือน หรือดูว่าหากยาและเวชภัณฑ์ชนิดใดใกล้หมดจึงเริ่มสั่งซื้อเข้ามาใหม่ [1] สำหรับโรงพยาบาลวชิรพยาบาลที่เป็นกรณีศึกษาใช้วิธีการพยากรณ์แบบเดิม คือ วิธีการพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) ซึ่งนำปริมาณความยาที่ใช้ย้อนหลัง 3 เดือนมาหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ดังนั้นค่า Moving Average Length (MAL) เท่ากับ 3 เดือน ซึ่งวิธีการดังกล่าวเหมาะกับปริมาณความต้องการใช้ยาที่มีความสม่ำเสมอหรือค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลปริมาณความต้องการใช้ยารายเดือน พบว่าเป็นข้อมูลที่มีความผันแปรมาก จึงทำให้วิธีการพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ไม่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้ยาและเวชภัณฑ์ในอนาคต ส่งผลให้การพยากรณ์ยอดการสั่งซื้อของโรงพยาบาลเกิดความไม่แม่นยำ และทำให้เกิดปัญหาไม่ว่าจะเป็นยาและเวชภัณฑ์ขาดแคลน (Out of stock) ไม่สามารถส่งยาและเวชภัณฑ์ไปยังผู้มารับบริการได้ครบตามจำนวนในเวลาที่ผู้มารับบริการต้องการหรือปัญหาปริมาณยาและเวชภัณฑ์คงคลังมากเกินต้องการ (Over stock) เกิดต้นทุนในการบริหารจัดการยาและเวชภัณฑ์คงคลังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนของยาและเวชภัณฑ์เพิ่มขึ้น

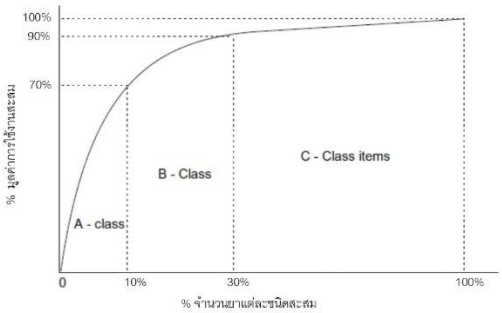
การบริหารจัดการคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ คือ การจัดหายาให้เพียงพอต่อการใช้งาน ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการเก็บรักษาที่มีราคาสูงเกินไป ในการดำเนินการเพื่อบริหารจัดการคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพนอกจากการมีระบบจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพแล้ว การนำเทคนิคการจัดระดับความสำคัญ ABC-VED (ABC-VED Analysis; The 70:20:10 Concept) [2] เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มโดยคำนึงถึงมูลค่าและปริมาณการใช้ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้การบริหารจัดการคลังยาและเวชภัณฑ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการที่ยาและเวชภัณฑ์คงคลังขององค์กรมีจำนวนมาก หากให้ความสำคัญยาและเวชภัณฑ์คงคลังเท่ากันทั้งหมดจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเวลามาก ดังนั้นจะต้องจัดระดับความสำคัญของยาและเวชภัณฑ์คงคลังแต่ละรายการเพื่อจัดสรรทรัพยากรและงบประมาณให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันธุรกิจทุกประเภท การพยากรณ์ถือเป็นพื้นฐานในการวางแผนและการตัดสินใจต่าง ๆ เพื่อคาดการณ์ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา [3] ซึ่งการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงและเหมาะสมกับประเภทของสินค้า จะช่วยลดระดับการลงทุนในสินค้าคงคลัง ลดระดับการสั่งซื้อ รวมถึงช่วยให้มีสินค้าตอบสนองทันตามความต้องการของลูกค้า

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจนำเทคนิคการวิเคราะห์แบบ ABC-VED มาใช้ในการแบ่งกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ โดยคำนึงถึงมูลค่าและปริมาณการใช้ รวมถึงใช้เทคนิคการพยากรณ์ (Forecasting Techniques) [4] มาวิเคราะห์หาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสม และเป็นข้อมูลในการวางแผนการสั่งซื้อ (Master Production Schedule: MPS) [5] เพื่อลดต้นทุนการบริหารจัดการและลดปริมาณยาและเวชภัณฑ์คงคลังให้เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลคลังยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลวชิรพยาบาล รายเดือนย้อนหลังตั้งแต่เดือนมกราคม 2562 ถึงเดือนธันวาคม 2566 เป็นระยะเวลา 5 ปี มีรายการยาและเวชภัณฑ์ทั้งสิ้น 1,935 ชนิด (จำนวน 109,008 รายการ) นำมาแบ่งระดับความสำคัญของกลุ่มยาตามการวิเคราะห์แบบ ABC-VED (ABC-VED Analysis; The 70:20:10 Concept) แบ่งเป็นกลุ่มที่คำนึงถึงมูลค่า A, B และ C ตามเปอร์เซ็นต์ยาที่ใช้งบประมาณในการสั่งซื้อสะสมที่ 70%, 20% และ 10% ตามลำดับ และกลุ่มที่คำนึงถึงปริมาณการใช้เป็น V, E และ D ตามเปอร์เซ็นต์ยาที่ใช้แต่ละชนิดที่ 70%, 20% และ 10% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแบ่งระดับความสำคัญ ABC Analysis

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาการพยากรณ์และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) [6] ได้แก่ Moving Average, Single Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing และ Winter's Method นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) [7] สรุปผลที่ได้จากการพยากรณ์ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บและการสั่งซื้อยาแบบเดิมเทียบกับมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บที่ได้จากวิธีการพยากรณ์ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์และจัดทำแผนการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์ (MPS)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการรวบรวมข้อมูลรายการยาและเวชภัณฑ์ ที่จัดซื้อเป็นรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่เดือนมกราคม 2562 ถึงเดือนธันวาคม 2566 ของโรงพยาบาลวชิรพยาบาล มีรายการยาและเวชภัณฑ์ทั้งสิ้น 1,935 ชนิด (จำนวน 109,008 รายการ) มีมูลค่าการจัดซื้อทั้งสิ้น 6,248,789,283.39 บาท เมื่อนำวิธีการวิเคราะห์แบบ ABC-VED มาใช้ในการจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ โดยแบ่งระดับความสำคัญและความจำเป็นของยาและเวชภัณฑ์พบว่าสามารถแบ่งเป็นกลุ่มที่คำนึงถึงมูลค่า ได้แก่ กลุ่ม A จำนวน 233 รายการ, กลุ่ม B จำนวน 347 รายการ และกลุ่ม C จำนวน 1,355 รายการ และกลุ่มที่คำนึงถึงปริมาณการใช้ ได้แก่ กลุ่ม V จำนวน 91 รายการ, กลุ่ม E จำนวน 179 รายการ และ กลุ่ม D จำนวน 1,665 รายการ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ผลการจัดกลุ่มยาคงคลังด้วยวิธี ABC Analysis

กลุ่ม	จำนวนรายการ	สัดส่วน (%)	มูลค่า (บาท)	สัดส่วน (%)
A	233	(12.04%)	4,433,258,336.11	(70.95%)
B	347	(17.93%)	1,251,956,890.89	(20.03%)
C	1,355	(70.03%)	563,574,056.39	(9.02%)
รวม	**1,935**	**(100.00%)**	**6,248,789,283.39**	**(100.00%)**

ตารางที่ 2 ผลการจัดกลุ่มยาคงคลังด้วยวิธี VED Analysis

กลุ่ม	จำนวนรายการ	สัดส่วน (%)	จำนวนการใช้ยา (หน่วย)	สัดส่วน (%)
V	91	(4.70%)	449,225,944	(70.77%)
E	179	(9.25%)	128,234,811	(20.20%)
D	1,665	(86.05%)	57,327,187	(9.03%)
รวม	**1,935**	**(100.00%)**	**634,787,942**	**(100.00%)**

ตารางที่ 3 ผลการจัดกลุ่มยาคงคลังด้วยวิธี ABC-VED Analysis

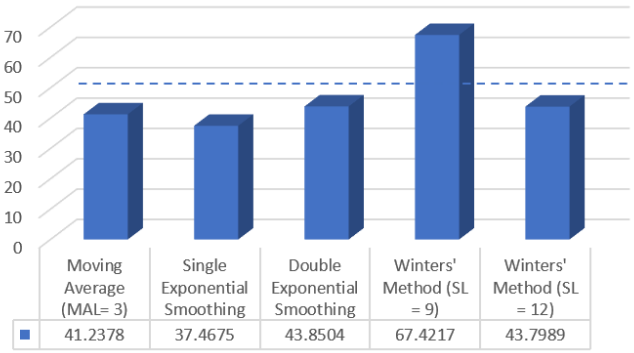
กลุ่ม	V (%)	E (%)	D (%)
A	38 (1.96%)	65 (3.36%)	130 (6.72%)
B	28 (1.45%)	49 (2.53%)	270 (13.95%)
C	25 (1.29%)	65 (3.36%)	1,265 (65.37%)
รวม	**91 (4.70%)**	**179 (9.25%)**	**1,665 (86.05%)**

ตารางที่ 4 การสรุปแยกผลการจัดกลุ่มยาคงคลังด้วยวิธี ABC-VED Matrix เป็นกลุ่มย่อย

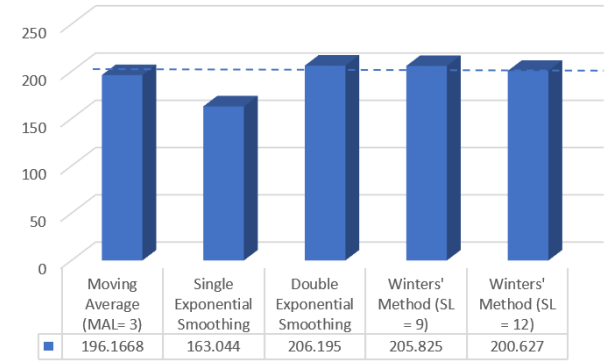
กลุ่ม	จำนวนรายการ	สัดส่วน (%)	มูลค่า (บาท)	สัดส่วน (%)
AV	38	(1.96%)	1,294,685,120.91	(20.72%)
AE	65	(3.36%)	1,103,609,962.60	(17.66%)
AD	130	(6.72%)	2,034,963,252.61	(32.57%)
BV	28	(1.45%)	99,373,842.92	(1.59%)
BE	49	(2.53%)	192,373,083.35	(3.08%)
BD	270	(13.95%)	960,209,964.62	(15.37%)
CV	25	(1.29%)	27,022,076.77	(0.43%)
CE	165	(3.36%)	51,207,391.73	(0.82%)
CD	1,265	(65.38%)	485,344,587.89	(7.77%)
รวม	**1,935**	**(100.00%)**	**6,248,789,283.39**	**(100.00%)**

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อนำวิธีการวิเคราะห์แบบ ABC-VED มาใช้ในการพิจารณาจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ พบว่ากลุ่ม A ที่มีจำนวนรายการยาทั้งสิ้น 233 รายการ คิดเป็นสัดส่วนเพียง 12.04% ของรายการยาทั้งหมด แต่มีมูลค่าสูงสุดถึง 4,433,258,336.11 บาท คิดเป็นสัดส่วน 70.95% ของงบประมาณทั้งหมด ซึ่งพิจารณาแล้วเป็นกลุ่มที่มีผลกระทบสูงที่สุดต่อการดำเนินงานและงบประมาณขององค์กร โดยการพยากรณ์ในกลุ่มนี้จะสามารถช่วยในการวางแผนเพื่อลดต้นทุนการบริหารจัดการยาและเวชภัณฑ์คงคลัง

นำข้อมูลการใช้ยาและเวชภัณฑ์แต่ละรายการของกลุ่ม A ทั้ง 233 รายการ มาทำการพยากรณ์และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ได้แก่ Moving Average, Single Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing และ Winter's Method (ใช้ค่า Seasonal Length เท่ากับ 9 และ 12) เพื่อทดสอบหาค่า MAPE และ MAD จำแนกตามวิธีการพยากรณ์ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนานำเสนอข้อมูลด้วยค่ามัธยฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบผลลัพธ์การพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี โดยใช้ Main Effects Plot แกน X แสดงชื่อของวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ และแกน Y แสดงค่าผลลัพธ์ของการวิเคราะห์หรือการทดลองค่าเฉลี่ยของ MAPE และ MAD ของแต่ละวิธี โดยค่า MAPE มีเส้นตัดที่ค่า 46.76 และ MAD มีเส้นตัดที่ค่า 194.47 เป็นจุดตัดสินใจ โดยวิธีที่มีค่าต่ำกว่าเส้นตัดจะแสดงถึงวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนวิธีที่มีค่าสูงกว่าเส้นตัดจะแสดงถึงวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการพยากรณ์ Single Exponential Smoothing Method เป็นวิธีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดทั้งค่า MAPE (ค่า Mean ที่ 37.4675) และ MAD (ค่า Mean ที่ 163.044) ดังแสดงในรูปที่ 2 และ รูปที่ 3

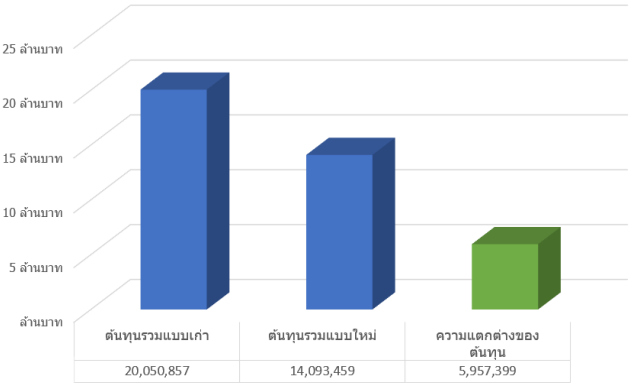


รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า MAD

จากนั้นนำผลการพยากรณ์ที่ได้มาดำเนินการวางแผนการสั่งซื้อยา (MPS) และเปรียบเทียบมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บและการสั่งซื้อยาแบบเดิมเทียบกับมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บที่ได้จากวิธีการพยากรณ์โดยใช้ Single Exponential Smoothing Method โดยเลือกจำนวนตัวอย่าง (sampling) จำนวน 10% ที่มีค่าสูงสุดของจำนวนยาทั้งหมดในกลุ่ม A จำนวน 23 รายการ โดยนำข้อมูลการใช้ยาจริงในปี พ.ศ. 2566 มาเป็นโมเดลเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4 และตารางที่ 5



รูปที่ 4 กราฟแท่งแสดงผลการเปรียบเทียบมูลค่าสินค้าคงคลัง

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบต้นทุนรวมของมูลค่ายาและเวชภัณฑ์คงคลังกลุ่ม A ในปี พ.ศ. 2566

รหัส	มูลค่าสินค้าคงคลังแบบเก่า	มูลค่าสินค้าคงคลังแบบใหม่	ต้นทุนที่แตกต่าง	% ความแตกต่างของต้นทุน
	(บาท/ปี)	(บาท/ปี)	(บาท/ปี)	(%)
70122	2,908,902.00	3,715,201.91	806,299.91	28%
76	3,193,736.00	1,516,478.55	-1,677,257.45	-53%
70303	2,531,267.97	963,924.90	-1,567,343.07	-62%
25419	617,475.60	738,650.94	121,175.34	20%
70637	1,447,007.01	790,485.56	-656,521.45	-45%
27543	1,140,000.00	495,000.00	-645,000.00	-57%
24869	858,840.85	466,971.88	-391,868.97	-46%
25659	771,507.45	370,087.78	-401,419.67	-52%
460	320,127.50	370,150.00	50,022.50	16%
24595	217,252.80	180,216.69	-37,036.11	-17%
VESC	412,420.80	344,161.62	-68,259.18	-17%
339	16,050.00	4,268.96	-11,781.04	-73%
70353	570,738.00	329,786.81	-240,951.19	-42%
70176	390,015.00	315,758.87	-74,256.13	-19%
70711	1,393,140.00	1,095,941.21	-297,198.79	-21%
1411	429,070.00	371,342.63	-57,727.37	-13%
70312	370,165.43	296,646.66	-73,518.77	-20%
1878	853,860.00	294,526.72	-559,333.28	-66%
28394	165,238.65	238,199.55	72,960.90	44%
70621	349,462.00	285,476.00	-63,986.00	-18%
25711	255,195.00	387,772.73	132,577.73	52%
70163	439,128.00	215,043.51	-224,084.49	-51%
27519	400,257.04	307,365.09	-92,891.95	-23%
รวม	**20,050,857.10**	**14,093,458.57**	**-5,957,398.53**	**-30%**

สรุป

ในการทดลองการแบ่งกลุ่มยาตามการวิเคราะห์แบบ ABC-VED โดยให้ความสำคัญในการบริหารจัดการยาในกลุ่ม A ที่มีต้นทุนสูงเป็นหลัก จากผลการเปรียบเทียบมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บและการสั่งซื้อยาแบบเดิมเทียบกับมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บที่ได้จากวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอโดยใช้ Single Exponential Smoothing Method ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์ที่ไม่มีแนวโน้มหรือปัจจัยทางฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง มีเฉพาะความผันแปรที่เกิดจากความผิดปกติเพียงอย่างเดียว พบว่าวิธีการพยากรณ์ที่นำเสนอและการวางแผนการสั่งซื้อยาโดยใช้ MPS สามารถลดมูลค่ายาคงคลังที่จัดเก็บได้จำนวน 5,957,398.53 บาท คิดเป็น 30% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์และการวางแผนแบบเดิม พบความแตกต่างของต้นทุนมีค่าลดลงจากวิธีการจัดซื้อเดิม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังขาดการนำปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เนื่องจากยาและเวชภัณฑ์มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น การจัดซื้อนอกจากพิจารณามูลค่าแล้ว ควรพิจารณาถึงความจำเป็นในการสำรองยา และความเร่งด่วนในการจัดหาความผันแปรของฤดูกาลในการเข้ารับการรักษา เป็นต้น เพราะมีความสำคัญทางการรักษานอกเหนือจากมูลค่าของผลิตภัณฑ์เอง ซึ่งหากนำปัจจัยเหล่านี้มาศึกษาร่วมด้วย นอกจากจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในจัดการสินค้าคงคลังเพื่อลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้แล้ว ยังช่วยให้การใช้ยาภายในโรงพยาบาลมีความสมเหตุผลมากขึ้น ผู้ป่วยเข้าถึงยาได้มากขึ้น และป้องกันปัญหายาขาดคลังต่อไปได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราชที่ให้ความกรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สาลินี ชัยวีระไทย, วศิน เหลี่ยมปรีชา. การหาค่าเหมาะที่สุดและการลดต้นทุนในการบริหารคลังเวชภัณฑ์ยา: กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก. Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences) 2015; 8(3): 139-153.

[2] Sukhbir S, Anil KG, Latika and Mahesh D. 2015. ABC and VED Analysis of the Pharmacy Store of a Tertiary Care, Academic Institute of the Northern India to Identify the Categories of Drugs Needing Strict Management Control. Journal of Young Pharmacists. 7: 76-80.

[3] กนกกาญจน์ มูลผา และ รองศาสตราจารย์.ดร.เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย. การศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายสินค้าอุปโภคที่เหมาะสมของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง: วารสารวิชาการ; 2557.

[4] นิภา นิรุตติกุล. การพยากรณ์การขาย. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559.

[5] ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและการควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 29. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2565.

[6] Armstrong JS. Strategic Planning and Forecasting Fundamentals. In: Albert K, editor. The Strategic Management Handbook. New York: McGraw; 1983.

[7] ปิยานันท์ ทองโพธิ์. การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการสินค้าเพื่อวางแผนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตชุดชั้นใน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2558.

10R1-07

การศึกษาแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบาผสมหินฝุ่น
A Study of Lightweight Precast Concrete Slabs Mixed with Quarry Rock

ประชุม คำพุฒ[1] อรรถพล มาลัย[2*] และ กฤษฎา มานะโส[3]
Prachoom Khamput[1] Attapole Malai[2*] and Kridsada Manaso[3]
[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[3]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[*]โทรศัพท์ : 02 889 4585, โทรสาร : 02 889 4588, E-mail : attapole.mal@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตน้ำหนักเบาด้วยการใช้หินเบาแทนหินธรรมชาติทั้งหมด ผสมหินฝุ่นแทนทรายในหลายอัตราส่วน และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน การวิจัยมีการทดสอบกำลังอัด หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต และทดสอบการแอ่นตัวตามมาตรฐาน มอก. ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าอายุคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้หินเบาแทนที่หินธรรมชาติ และคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินที่อายุคอนกรีต 28 วัน มีค่ากำลังอัดมากกว่า 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ได้อัตราส่วนผสมที่สามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด คือ คอนกรีตที่แทนทรายด้วยหินฝุ่นร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งเมื่อนำคอนกรีตดังกล่าวมาหล่อเป็นพื้นสำเร็จรูปได้ค่าความแอ่นตัวสูงสุดไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด และได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาที่มีแนวโน้มนำไปสร้างและใช้งานจริงในงานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยได้

คำสำคัญ: หินเบา; หินฝุ่น; กำลังอัด; พื้นสำเร็จรูป

Abstract

This study investigates the physical and mechanical properties of lightweight concrete by substituting lightweight stone for all natural stones, incorporating quarry dust instead of sand in different ratios, and replacing cement with fly ash. The study involves conducting compressive strength tests, determining the unit weight of concrete, and performing deflection testing according to TIS standards. The test results indicated that concrete at 28 cured days, concrete utilizing lightweight stone instead of natural stone, and concrete replacing cement with fly ash achieved compressive strengths exceeding 350 kilograms per square centimeter. The testing the compressive strength of concrete with varying ratios of rock dust replacing sand, the mix ratio that produced the highest compressive strength was 15 percent by volume of quarry dust replacing sand. The casting such concrete into a prefabricated floor, the maximum deflection does not exceed the standard, making this lightweight concrete suitable for use in the actual construction of residential buildings.

Keywords : lightweight stone; quarry dust; compressive strength; prefabricated floor

บทนำ

คอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เนื่องจากลดระยะเวลาในการก่อสร้างให้กระชับและรวดเร็วกว่าเดิม เช่น พื้น และ ผนัง เป็นต้น เนื่องจากสามารถสั่งหล่อจากโรงงานได้ครั้งละหลายชิ้นส่วน แต่วัสดุมีน้ำหนักมาก ในปัจจุบันจึงมีการคิดค้นทำชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบาเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการติดตั้ง คอนกรีตสำเร็จรูปในการวิจัยนี้ได้จากการผสมคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หินเบา ทราย และน้ำ โดยใช้เถ้าถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อเพิ่มความสามารถในการเท [1] และที่สำคัญคือช่วยเพิ่มกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตเมื่อมีอายุมากขึ้น [2] ส่วนวัสดุมวลรวมนั้นจะใช้หินที่มีน้ำหนักเบาแทนหินธรรมชาติ ซึ่งหินเบานี้มีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนปิด มีค่าความถ่วงจำเพาะเพียง 1.3 สามารถใช้แทนหินธรรมชาติในงานก่อสร้างที่ต้องการให้มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงได้ อีกทั้งในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาทรายมีราคาแพง และการดูดทรายจากแม่น้ำก่อให้เกิดปัญหาด้านสภาวะแวดล้อม เกิดการทรุดตัวของพื้นที่ใกล้เคียง ในการวิจัยครั้งนี้จึงนำหินฝุ่นที่ได้จากการย่อยและโม่หินมาใช้แทนทรายบางส่วน สำหรับหินฝุ่นนี้มีลักษณะทางกายภาพคล้ายทรายมาก อีกทั้งหินฝุ่นยังมีราคาถูกกว่าทรายถึงแปดเท่าด้วย [3] และงานวิจัยที่ผ่านมายังแสดงให้เห็นว่าหินฝุ่นสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงอัดให้กับคอนกรีตได้ [4-6] เป้าประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปน้ำหนักเบาที่ใช้หินเบาแทนหินธรรมชาติทั้งหมดผสมหินฝุ่นอันเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย

1) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีคุณสมบัติตาม มอก.2594-2556 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ไม่เสื่อมคุณภาพหรือเปียกชื้น มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.94

2) เถ้าลอย ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด ลำปาง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงและใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ถ่านหินแบบดั้งเดิม คือ การเผาไหม้ระบบพลูเวอรไรซ (Pulverized Combustion) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหมประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส เถ้าลอยนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.19

3) หินฝุ่น จาก อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.71

4) หินเบา หรือ LWA (Light Weight Aggregate) วัสดุมวลเบาสำหรับงานคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นเม็ดหินที่มีโครงสร้างภายในเป็นโฟมหรือรูพรุนปด มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.3 ขนาด ¼ - 3/8 นิ้ว (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 LWA (Light Weight Aggregate) วัสดุหินเบา

5) ทรายน้ำจืด ปราศจากวัสดุอื่นเจือปน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.61

6) หินผสมคอนกรีต มีขนาดอยู่ในช่วง 3/8 – 1/2 นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.72 เป็นหินที่โมด้วยเครื่องจักร มีลักษณะเป็นเม็ดเหลี่ยมคม ไม่แตกร้าว สะอาด

7) น้ำประปา

วิธีการดำเนินงาน ออกแบบคอนกรีตรับกำลังอัด 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ผสมเถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทรายและหินฝุ่นซึ่งเป็นมวลรวมละเอียดผสมในคอนกรีตในการวิจัยนี้ได้ผสมหินฝุ่นแทนทรายในอัตราแปรเปลี่ยนจาก 0 ถึง 45 โดยน้ำหนักของคอนกรีต ทุกสัดส่วนผสมหินเบาในอัตราเท่าวัสดุประสาน (Binder) โดยมีอัตราส่วนผสมของคอนกรีตต่อปริมาตร 0.1219 ลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตถอดแบบ 24 ชั่วโมงหลังเท

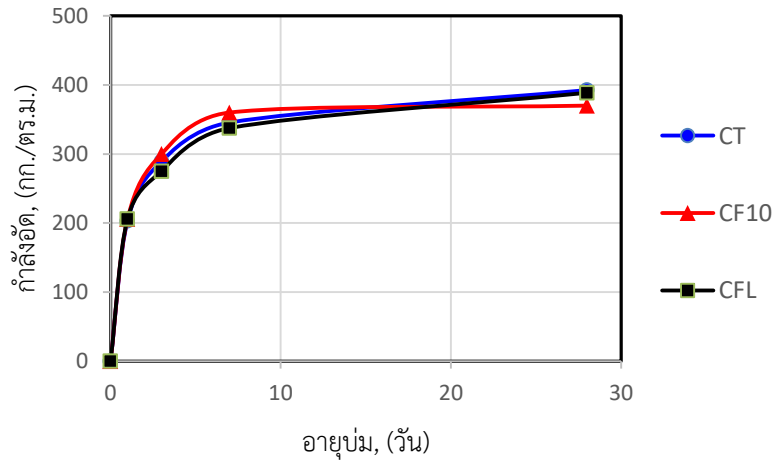
เสร็จ บ่มโดยวิธีแช่น้ำ ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตปกติที่อายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน หล่อแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 3 เมตร หนา 10 เซนติเมตร เสริมเหล็กกันร้าวขนาด RB6 @ 0.15 เมตร ถอดแบบที่อายุ 7 วัน แล้วบ่มด้วยกระสอบป่านชุ่มน้ำเป็นเวลา 7 วัน นำมาทดสอบค่าการแอ่นตัวที่อายุคอนกรีต 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก.577-2531 [7]

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตต่อปริมาตร 0.1219 ลูกบาศก์เมตร

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ทราย	หินฝุ่น	หิน	หินเบา	น้ำ	W/B
CT	54.86	-	92.64	-	118.85	-	24.68	0.45
CF10	49.37	5.49	92.78	-	118.17	-	24.68	0.45
CTL	54.86	-	92.78	-	-	56.48	24.68	0.45
S45Q0	49.37	5.49	92.78	-	-	56.48	24.68	0.45
S40Q5	49.37	5.49	82.58	10.72	-	56.48	24.68	0.45
S35Q10	49.37	5.49	72.26	21.44	-	56.48	24.68	0.45
S30Q15	49.37	5.49	61.93	32.15	-	56.48	24.68	0.45
S25Q20	49.37	5.49	51.61	42.87	-	56.48	24.68	0.45
S20Q25	49.37	5.49	41.29	53.59	-	56.48	24.68	0.45
S15Q30	49.37	5.49	30.97	64.31	-	56.48	24.68	0.45
S10Q35	49.37	5.49	20.64	75.03	-	56.48	24.68	0.45
S5Q40	49.37	5.49	10.32	85.74	-	56.48	24.68	0.45
S0Q45	49.37	5.49	-	96.46	-	56.48	24.68	0.45

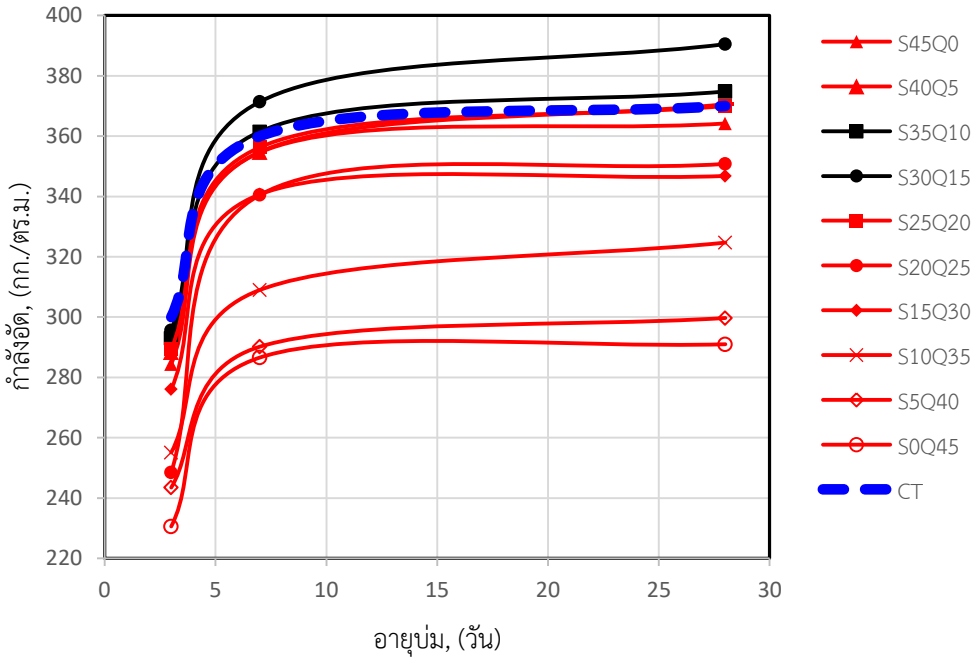
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต CT, CF10 และ CTL ทำการทดสอบเมื่อคอนกรีตมีอายุ 1, 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยแต่ละการทดสอบได้จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีต จำนวน 5 ตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตปกติ (CT), แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (CF10) และ คอนกรีตปกติ (CT) ที่แทนที่หินธรรมชาติด้วยหินเบาทั้งหมด (CFL) ที่อายุการบ่มคอนกรีต 1, 3 และ 7 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเดียวกันคือเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มและกำลังรับแรงอัดจะพัฒนาอย่างช้า ๆ ในอายุการบ่มที่ 14 ถึง 21 วัน



รูปที่ 2 กำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและแทนที่หินธรรมชาติด้วยหินเบา

รูปที่ 3 ที่อายุคอนกรีต 28 วัน คอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยปริมาตรมีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตปกติ ซึ่งคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 391 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงไปคือคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 10 และ 20 โดยปริมาตร มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดคือคอนกรีตที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นร้อยละ 15 โดยปริมาตร เป็นผลมาจากหินฝุ่นมีขนาดเล็กกว่าหิน แต่ใหญ่กว่าทรายเล็กน้อย จึงทำให้มีการกระจายตัวของมวลรวมที่ดีและในอัตราส่วนนี้ทำให้มวลรวมมีการคละขนาดที่ดีที่สุด จึงทำให้ช่องว่างในคอนกรีตน้อยลงและเนื้อคอนกรีตมีความแน่นกว่าคอนกรีตที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนผสมอื่น อีกทั้งหินฝุ่นยังมีคุณสมบัติด้านความแข็งแกร่งมากกว่าทรายตลอดจนหินฝุ่นเป็นผงของหินปูนจึงมีคุณสมบัติในการประสานตัวที่ดีเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจึงทำให้รับกำลังอัดได้มากที่สุด



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุการบ่มต่าง ๆ

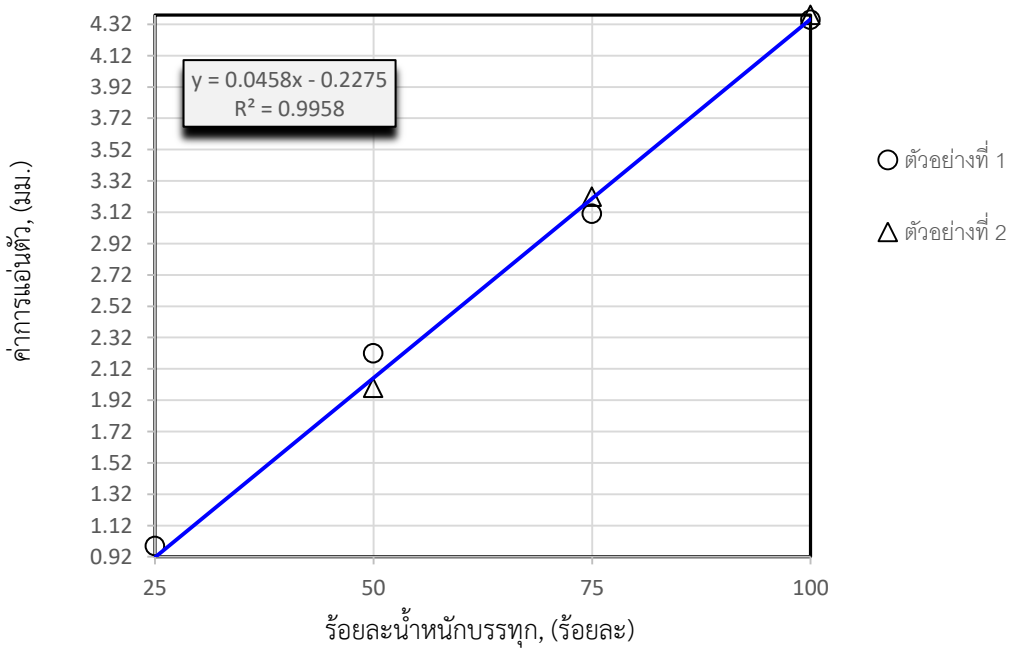
ในการเลือกใช้อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่สามารถนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (พื้น) ได้ คือทุกอัตราส่วนผสม เพราะมีค่ากำลังอัดที่อายุคอนกรีต 28 วัน มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งกำหนดไว้ใน มอก.576-2531 และจากการทดสอบพบว่าคอนกรีต S30Q15 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,775 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงเบากว่าคอนกรีตปกติที่ใช้กันทั่วไปในงานก่อสร้าง

ตารางที่ 2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตทดสอบ (ทรงกระบอก)

สัญลักษณ์	น้ำหนักเฉลี่ย (กก.)	ปริมาตรเฉลี่ย (ลบ.ซม.)	น้ำหนักจำเพาะ (กก./ลบ.ม.)
CT	12.86	5,360	2,397
CF10	12.74	5,306	2,394
CTL	9.67	5,361	1,797
S45D0	9.42	5,350	1,763

ค่าน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าการที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน (CF10) มีค่าน้อยกว่าค่าน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตปกติ (CT) อยู่ร้อยละ 0.15 แต่มีค่ามากกว่าค่าน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และแทนที่หินธรรมชาติด้วยหินเบา (S45Q0) อยู่ร้อยละ 26.33 เป็นผลมาจากการใช้หินเบา

แทนที่หินธรรมชาติ เนื่องจากคอนกรีต CT มีค่าน้ำหนักจำเพาะมากกว่าคอนกรีตที่ใช้หินเบาแทนที่หินธรรมชาติ (CTL) ร้อยละ 25.2 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานคอนกรีตมวลเบา กล่าวคือ มีค่าหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติอยู่ในช่วงร้อยละ 25 - 30



รูปที่ 4 การแอ่นตัวของแผ่นทดสอบตามร้อยละน้ำหนักบรรทุก

รูปที่ 4 แสดงผลทดสอบการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นของคอนกรีตแผ่นพื้น S30Q15 (คอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และแทนที่หินธรรมชาติด้วยหินเบาทั้งหมด ใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายในอัตราส่วนทรายต่อหินฝุ่น 30 : 15 โดยปริมาตร) การแอ่นตัวของแผ่นพื้นทดสอบมากขึ้นตามน้ำหนักที่บรรทุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเชิงเส้น การทดสอบที่น้ำหนักบรรทุกร้อยละ 100 ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ พบว่ามีค่าไม่เกิน 4.50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณระยะแอ่นตัวที่ยอมให้ ตามมาตรฐาน มอก. 577-2531 แสดงว่าพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปที่อัตราส่วนผสมที่มีหินฝุ่นแทนที่ทรายร้อยละ 15 และมีขนาดตามที่ออกแบบนี้ สามารถนำไปใช้งานได้กับที่พักอาศัย อาคารชุด โรงเรียนอนุบาล และโรงพยาบาลได้ เพราะสามารถรับน้ำหนักจรได้ถึง 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

สรุป

คอนกรีตที่ใช้หินเบาแทนหินธรรมชาติทั้งหมดและแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนผสมที่สามารถรับกำลังอัดได้มากที่สุด คืออัตราส่วนผสมที่แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นร้อยละ 15 โดยปริมาตรของทราย จากการพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตที่แทนที่หินธรรมชาติด้วยหินเบา พบว่าค่าน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยหินเบานี้ มีค่าลดลงจากคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติร้อยละ 25.2 และการทดสอบการแอ่นตัวตามมาตรฐาน มอก พบว่าสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ออกแบบไว้ คือ 200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีค่าความแอ่นตัวไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด จึงสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ จากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตใช้หินเบาแทนหินธรรมชาติและแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มว่า สามารถนำมาใช้หล่อเป็นชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น คานและเสา สำหรับบ้านพักอาศัย โรงงาน อาคารสูง 8 ชั้น และอาคารสูงเกินกว่า 30 ชั้นได้ทุกอัตราส่วน ยกเว้น S5D40 (ปูน: เถ้าถ่านหิน: ทราย: หินฝุ่น: หินเบา: น้ำ เท่ากับ 49.37: 5.49: 10.32: 85.74: 56.48: 24.68 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 0.1219 ลูกบาศก์เมตร) และ S0D45 (หินฝุ่น 96.46 ไม่มีทราย) ไม่สามารถใช้กับอาคารสูงเกินกว่า 30 ชั้น ได้เพราะมีค่ากำลังอัดต่ำกว่า 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่สัดส่วน S30D15 (ทราย 61.93: หินฝุ่น 32.15) มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1774.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเบากว่าคอนกรีตปกติที่ใช้กันทั่วไปในงานก่อสร้างอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี พ.ศ.2553 และได้ทุนสนับสนุนการพัฒนาต่อยอดจากหน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2566

เอกสารอ้างอิง

[1] Welsh, G.B. and Burton, J.R., 1958. Sydney Fly Ash in Concrete. Commonwealth Engineer. 45: 62-67.

[2] สัญชัย สะอาดกิตินันท์ และคณะ, 2547. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยแม่เมาะแบบคัดและไม่คัดแยกขนาด โดยการปรับปรุงตามมาตรฐานเอซีไอ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9. เพชรบุรี, MAT106 – MAT112.

[3] ประชุม คำพุฒ, 2548. การศึกษาคุณสมบัติของหินฝุ่นเพื่อใช้เป็นมวลรวมละเอียด, วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 16(2): 33-37.

[4] Khamput, P., 2005. A Study of the Admixture (Water Reducing-Accelerating) to Develop the Compressive Strength of Concrete Used Crushed Dust as Fine Aggregate, Journal of Engineering, RMUTT. 6: 114-118.

[5] Khamput, P., 2006. Corrosion of Mortar Mixed with Quarry Dust as Fine Aggregate due to Sulfuric Acid, Journal of Engineering, RMUTT. 7: 98-100.

[6] อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ อรรถพล มาลัย, 2559. การพัฒนากำลังมอร์ต้าร์ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่น, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 26(1): 13-18.

[7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2531. มอก.577-2531 วิธีทดสอบการรับน้ำหนักของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จและระบบพื้นคอนกรีต. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

10R1-08

การศึกษาการใช้น้ำยางพาราพัฒนาแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ
A Study into the Use of Latex in the Development of Shingle Roof Sheets

อมเรศ บกสุวรรณ[1*] ประชุม คำพุฒ[2] อรรถพล มาลัย[3] และ ปทุมพร พวงเพ็ชร[4]
Amares Boksuwan[1*] Prachoom Khamput[2] Attapole Malai[2] and Patumphon Puangphet[3]
[1*]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[4]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 0 2549 3412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสูตรที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำต้นแบบผลิตภัณฑ์พาราชิงเกิ้ลรูฟที่ผลิตจากมะตอยผสมยางธรรมชาติ เพื่อศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์, สมบัติทางกายภาพ และทางกล รวมถึงทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยส่วนผสมจะใช้ยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) เป็นวัสดุหลัก ปรับปรุงคุณสมบัติของยางมะตอยด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่าน้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติของยางมะตอยให้มีความแข็งสูงขึ้น รับแรงดึงได้เพิ่มขึ้น และมีการยืดตัวลดลง เมื่อฉายรังสียูวีเป็นเวลานานจะทำให้แผ่นยางมะตอยมีความแข็งมากขึ้นและเหนียวน้อยลง ผลิตภัณฑ์พาราชิงเกิ้ลรูฟสามารถติดตั้งได้เช่นเดียวกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป สามารถดัดโค้งงอได้ดี ซึ่งอัตราส่วนร้อยละ 2 ของปริมาณน้ำยางพาราเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการแทนที่ยางมะตอย โดยมีสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความแข็ง 49.67 ชอร์เอ ความต้านทานแรงดึง 0.69 เมกะปาสคาล การยืดตัวร้อยละ 10.31 โมดูลัสยืดหยุ่น 96.33 เมกะพาสคัล และมีต้นทุนเพียง 399 บาทต่อตารางเมตร การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบในโครงการบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและเป็นการนำวัสดุภายในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในวงกว้างได้

คำสำคัญ : หลังคา; ชิงเกิ้ลรูฟ; ยางมะตอย; ยางพารา; รังสียูวี

Abstract

The aim of this study is to develop a formula suitable for a prototype para shingle roof product using a blend of asphalt and natural rubber. The study involves the process of forming prototype products, examining their physical and mechanical properties, then testing their practical usability. The mixture will primarily use PMA (Polymer Modified Asphalt) asphalt. The asphalt properties will be enhanced by adding latex in varying of 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, and 3 percent by weight of asphalt. The test results indicated that latex can enhance the properties of asphalt, resulting in increased hardness, higher tensile strength, and reduced elongation. Long-term UV irradiation testing will cause the asphalt sheet to become harder and less sticky. This para shingle roof product can be installed like a regular shingle roof and is flexible. A two percent ratio of latex to replace asphalt is the most suitable. Its properties include a hardness of 49.67 Shore A, a tensile strength of 0.69 MPa, an elongation of 10.31 percent, an elastic modulus of 96.33 MPa, and a cost of only 399 baht per square meter. Testing of the prototype products in the project has successfully met the set objectives, paving the way for the utilization of local materials for widespread benefits.

Keywords : roof; shingle roof; asphalt; para rubber; UV irradiation

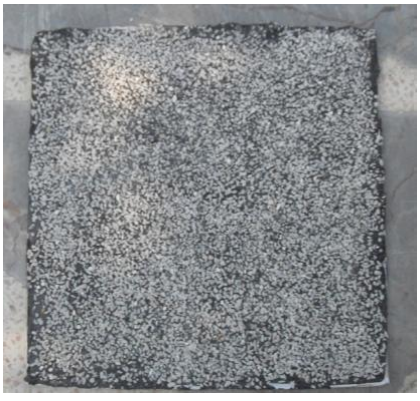
บทนำ

หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ (Shingles Roof) เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุมุงหลังคาที่มีความสวยงาม ติดตั้งง่ายและมีน้ำหนักเบาเพียง 18 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จึงทำให้หลังคาชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน (รูปที่ 1) หลังคาดังกล่าวต้องนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา แตกต่างจากหลังคาชนิดอื่นที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ทั้งนี้ จากการสืบค้นสิทธิบัตรในต่างประเทศเกี่ยวกับหลังคายางมะตอย เช่น Asphalt Roofing and Sand Therefor ของ บริษัท Nisshin Kogyo จำกัด ประเทศญี่ปุ่น, Lower Roofing Material ของ Konno Masaki และคณะ ประเทศญี่ปุ่น และ Waterproof Sheet for Under Roofing ของ บริษัท Nisshin Kogyo จำกัด ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น พบว่าหลังคาดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตได้เองภายในประเทศเนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากและในประเทศไทยก็ยังไม่มีการจดสิทธิบัตรในลักษณะนี้ เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าน้ำยางพาราสามารถปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยในประเทศไทยได้ เช่น โครงการการวิจัยการผลิตหลังคาจากวัสดุยางพารา [1] และหลังคายางพาราผสมขี้เลื่อย [2] แสดงให้เห็นว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นหลังคาได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาหลังคาชิงเกิ้ลรูฟขึ้นจากวัตถุดิบภายในประเทศ โดยการผสมน้ำยางพาราลงในยางมะตอยสำหรับขึ้นรูปเป็นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ

รูปที่ 1 หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ ณ หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อุปกรณ์และวิธีการ

ส่วนผสมเป็นการใช้ยางมะตอยชนิด PMA (Polymer Modified Asphalt) เป็นวัสดุหลัก แล้วจึงทำการปรับปรุงคุณสมบัติของยางมะตอยด้วยน้ำยางพาราหรือน้ำยางธรรมชาติ จำนวน 5 อัตราส่วน ได้แก่อัตราส่วนการแทนที่ยางมะตอยด้วยน้ำยางพารา ร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 โดยน้ำหนัก การขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์เริ่มจากการผสมยางมะตอย PMA และน้ำยางพาราที่อุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส ทำการพ่นยางมะตอยที่ผสมกันดีแล้วลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ให้เรียบเสมอกัน จากนั้นจึงตกแต่งผิวหน้าด้วยหินเกล็ด และรีดเป็นแผ่นด้วยลูกกลิ้ง ได้เป็นแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟขนาด 25 x 25 x 0.3 เซนติเมตร (รูปที่ 2) ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประกอบด้วย การสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง ความแข็ง (รูปที่ 3) ความต้านทานแรงดึง (รูปที่ 4) การยืดตัว การต้านทานรังสียูวี และการใช้งานจริง



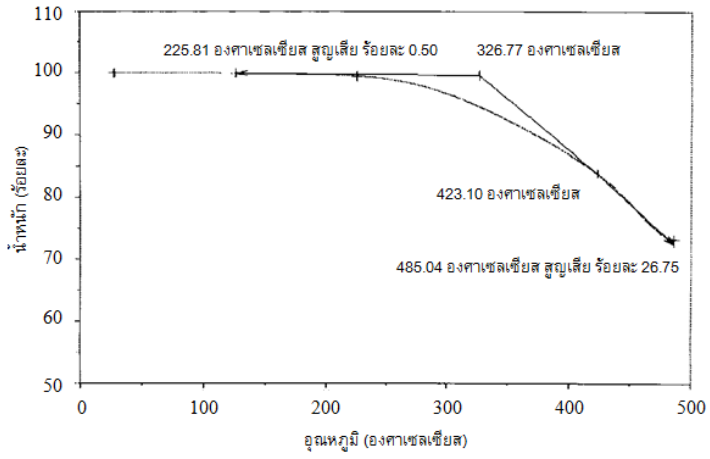
รูปที่ 2 ชิ้นงานแผ่นหลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากงานวิจัย

รูปที่ 3 การทดสอบความแข็งด้วยเครื่องมือ Durometer

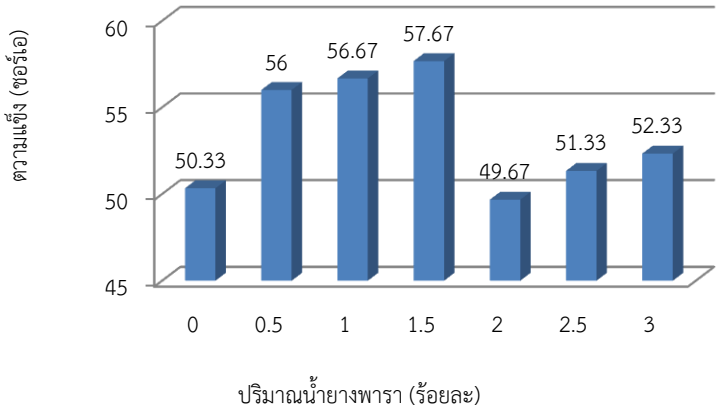
รูปที่ 4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ ประกอบด้วย การสลายตัวด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง (รูปที่ 5) ความแข็ง (รูปที่ 6) ความต้านทานแรงดึง (รูปที่ 7) การยืดตัว (รูปที่ 8-9) การต้านทานรังสียูวี (ตารางที่ 1) และการใช้งานจริง (รูปที่ 10)



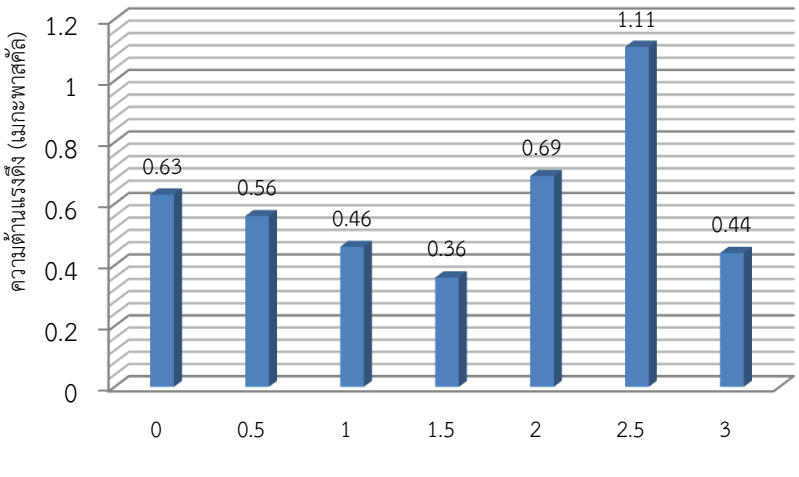
รูปที่ 5 การสลายตัวของยางมะตอยผสมน้ำยางพาราอัตราส่วนร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิสูง



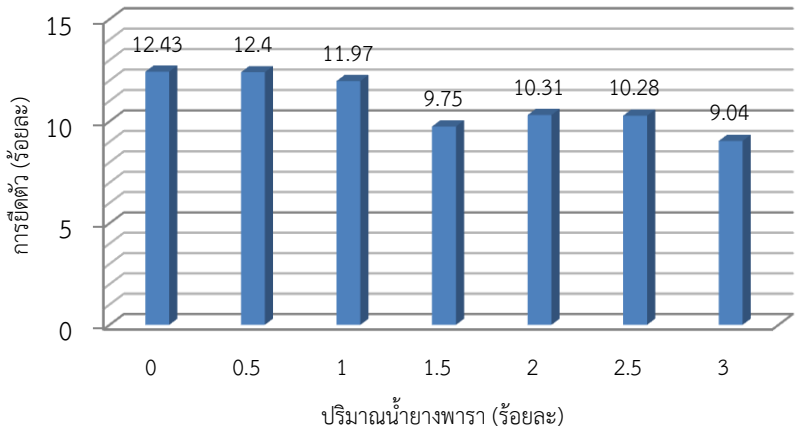
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของแผ่นหลังคาและปริมาณน้ำยางพาราที่อัตราส่วนต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงผลทดสอบการสลายตัวโดยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ด้วยการเผา 2 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจากอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ 225.81 องศาเซลเซียส น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างลดลงไป ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นน้ำหนักจึงเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิประมาณ 250 ถึง 400 องศาเซลเซียส จนถึงช่วงที่กราฟแสดงที่อุณหภูมิ 485.04 องศาเซลเซียส น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างได้ลดลงเป็นร้อยละ 26.75 โดยน้ำหนัก และคาดว่าการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นอีกที่อุณหภูมิสูงกว่า 485.04 องศาเซลเซียส แต่ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งแสดงผลได้เพียง 485.04 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบซ้ำอีก 3 ครั้ง ก็ได้ผลการทดสอบเหมือนเดิมทุกครั้ง คือ ไม่สามารถแสดงผลได้ถึง 800 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะใช้งานจริงตามธรรมชาติอยู่ที่ประมาณ ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส แต่ยางมะตอยผสมน้ำยางพารา ร้อยละ 2 สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จึงเริ่มสลายตัว ทำให้มั่นใจได้ว่าการใช้ยางมะตอยผสมน้ำยางพาราผลิตเป็นหลังคาสามารถใช้งานได้ตามปกติ

รูปที่ 6 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราลงไปในยางมะตอย จากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 1.5 ส่งผลให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 50.33 เป็น 57.67 แต่เมื่อผสมจนถึงอัตราส่วนร้อยละ 2 ค่าความแข็งกลับลดลงใกล้เคียงกับยางมะตอยที่ไม่ผสมน้ำยางพารา และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผสมมากกว่า ร้อยละ 2.5 ถึงร้อยละ 3 แสดงให้เห็นว่า น้ำยางพาราสามารถเพิ่มความแข็งของยางมะตอยได้ แต่เมื่อผสมในปริมาณมากอาจเกิดความไม่เข้ากันของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากยางมะตอยที่มีปริมาณของน้ำยางพารามากมีการแข็งตัวหรือจับตัวกันที่เร็วกว่าการผสมน้ำยางพาราในประมาณน้อยหรือไม่ผสมน้ำยางพาราเลย ทั้งนี้ จากการสังเกตการขึ้นรูปทำให้สรุปได้ว่า การแข็งตัวของยางมะตอยผสมน้ำยางพาราที่เหมาะสม คือ ไม่ควรเกิน 50 วินาที ภายหลังจากหยุดให้ความร้อน อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูปในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในด้านกระบวนการขึ้นรูป จึงทำให้เกิดการเข้ากันที่ไม่ดีและค่าความแข็งจึงมีแนวโน้มไม่แน่นอนเท่าที่ควร



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงดึงของแผ่นหลังคาและปริมาณน้ำยางพาราที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวของแผ่นหลังคาและปริมาณน้ำยางพาราที่อัตราส่วนต่าง ๆ

รูปที่ 7 พบว่า ความต้านแรงดึงหรือความเค้นดึงสูงสุด (Tensile Strength) ของยางมะตอยผสมน้ำยางพารานั้น มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 1.5 จนกระทั่งเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนร้อยละ 2 และ 2.5 และลดลงอีกครั้งที่ร้อยละ 3 ผลการทดสอบแรงดึงนี้จะมีแนวโน้มในทิศทางตรงกันข้ามกับความแข็ง ส่วนความไม่เข้ากันหรือความไม่แน่นนอนของวัสดุจากกระบวนการขึ้นรูปก็มีผลกระทบต่อความต้านแรงดึงเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็ง

รูปที่ 8 พบว่าค่าการยืดตัวสูงสุดที่จุดขาด (Elongation at Break) ของยางมะตอยผสมน้ำยางพารา มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความต้านทานแรงดึง คือ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ตั้งแต่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 1.5 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อัตราส่วนร้อยละ 2 จากนั้น จึงเริ่มลดลงอีกครั้งที่อัตราส่วนร้อยละ 2.5 และ 3

ตารางที่ 1 ความต้านทานรังสียูวีของยางมะตอยผสมน้ำยางพาราอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน	ระยะเวลาฉายแสงยูวี (วัน)	ระยะเวลาจำลอง (เดือน)	เพรนิเทรชั่น 25°C 100g 5s (mm)	จุดอ่อนตัว (°C)	ความเหนียว 13°C 5 cm/min (cm)	ความหนืด ที่ 135 °C (cP)
0.0	0	0	63	85	86.9	512
	2	26	63	85	86.7	523
	5	66	62	85	86.0	541
	10	133	61	85	82.5	562
3.0	0	0	65	85	87.1	517
	2	26	64	85	86.9	528
	5	66	63	85	86.5	551
	10	133	63	85	83.7	573

ตารางที่ 1 พบว่าการผสมน้ำยางพาราลงในยางมะตอยชนิด PMA ในอัตราส่วนร้อยละ 3 จะทำให้ยางมะตอยมีความแข็งแรงมากขึ้นจากค่าเพรนิเทรชั่น (Penetration) ที่ลดลง และค่าความเหนียว (Ductility) ที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนเมื่อฉายแสงยูวีเป็นระยะเวลาต่าง ๆ จะส่งผลทำให้ค่าเพรนิเทรชั่น และความเหนียวที่ลดลงของทั้งสองอัตราส่วน ซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นและความแข็งแรงที่ลดลง โดยเฉพาะในช่วงที่มีการฉายแสงยูวีให้กับยางมะตอยอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 5 ถึง 10 วัน หรือเวลาจำลอง 66 ถึง 133 เดือน เมื่อนำไปใช้งาน ซึ่งลักษณะของยางมะตอยดังกล่าว สามารถแสดงในรูปที่ 9

แถวบน ร้อยละ 3.0 เวลา 2 (ซ้าย), 5 (กลาง), และ 10 วัน (ขวา)

แถวล่าง ร้อยละ 0.0 เวลา 2 (ซ้าย), 5 (กลาง), และ 10 วัน (ขวา)

รูปที่ 9 ยางมะตอยผสมน้ำยางพาราอัตราส่วนร้อยละ 0 และ ร้อยละ 3 ภายหลังจากฉายแสงยูวี

รูปที่ 10 การติดตั้งหลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป

รูปที่ 10 จากการติดตั้งหลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากยางมะตอยผสมน้ำยางพาราที่ร้อยละ 2 เปรียบเทียบกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป ในการใช้งานจริง ณ อาคารปฏิบัติการภาคสนามศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พบว่า หลังคาชิงเกิ้ลรูฟจากยางมะตอยผสมน้ำยางพาราสามารถใช้งานได้ดีและมีข้อได้เปรียบหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป คือ หลังคามีความแน่นหนายึดเกาะกันเองได้ดี ดูแข็งแรงคงทนและสวยงามตามแบบหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ ทั้งนี้การโค้งงอของแผ่นหลังคาที่พัฒนาขึ้น เป็นผลมาจากการออกแบบให้แผ่นหลังคาวางซ้อนกันได้โดยตรง ซึ่งจะใช้การเชื่อมยึดเกาะกันเอง ทำให้ไม่มีการเสื่อมสภาพของกาวที่นำมาใช้เชื่อมแผ่นให้ติดกัน แตกต่างกับหลังคาในตลาดที่ใช้แผ่นซ้อนกัน 2 ชั้น และเชื่อมให้ติดกันด้วยกาวยาง ซึ่งอาจหมดอายุหรือเสื่อมสภาพได้รวดเร็ว แผ่นหลังคาที่ได้จึงมีความเรียบแตกต่างกัน

ส่วนผลการวิเคราะห์ต้นทุนของแผ่นหลังคายางมะตอย พบว่าหลังคาพาราชิงเกิ้ลรูฟ (อัตราส่วน ร้อยละ 2.0) มีต้นทุน 399 บาทต่อตารางเมตร สามารถตั้งราคาขายได้เท่ากับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟ (ตามท้องตลาด) ที่ราคา 800 บาท ต่อตารางเมตร ซึ่งมีกำไรมากกว่า 50% แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

สรุป

จากผลการดำเนินโครงการทำให้สามารถออกแบบหลังคาพาราชิงเกิ้ลรูฟที่มีการใช้ยางมะตอย PMA และน้ำยางพาราข้นเป็นส่วนผสมได้ โดยทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทหรือพ่นยางมะตอย PMA ผสมน้ำยางพาราที่ผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ลงบนแผ่นเส้นใยไฟเบอร์ แล้วจึงทำการโรยหินตกแต่งผิวหน้า และรีดเป็นแผ่นให้เรียบด้วยลูกกลิ้ง ส่วนผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นหลังคายางมะตอย PMA ผสมน้ำยางพารา พบว่า เมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม สามารถทำให้ยางมะตอย PMA มีค่าความแข็ง และความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น การยืดตัวและโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลง โดยอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพัฒนาสมบัติของยางมะตอยชนิด PMA คือ การแทนที่ยางมะตอยด้วยน้ำยางพารา ร้อยละ 2 ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์หลังคาพาราชิงเกิ้ลรูฟ มีความแข็ง 49.67 ชอร์เอ ความต้านทานแรงดึง 0.69 เมกะปาสคาล การยืดตัว ร้อยละ 10.31 และโมดูลัสยืดหยุ่น 96.33 เมกะพาสคัล ส่วนการสลายตัวของแผ่นหลังคาเมื่อสัมผัสความร้อน

จะเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 225.81 องศาเซลเซียส ส่วนผลกระทบจากรังสียูวีจะทำให้ค่าเพรนิเทรชั่น และความเหนียวของแผ่นหลังคาลดลง เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานจริงของหลังคาพาราชิงเกิ้ลรูฟกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์พาราชิงเกิ้ลรูฟสามารถติดตั้งได้เช่นเดียวกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป ยึดเกาะได้ดี แข็งแรง คงทน และสวยงามเช่นเดียวกับหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป รวมทั้งทำการดัดโค้งงอได้มากกว่าหลังคาชิงเกิ้ลรูฟทั่วไป สำหรับแนวทางการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์หลังคาพาราชิงเกิ้ลรูฟนี้ ควรมีการเปลี่ยนชนิดยางมะตอยจากชนิด PMA เป็นชนิด PMA แบบต้านทานรังสียูวี หรือเปลี่ยนชนิดน้ำยางพารา รวมทั้งควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีกำลังการผลิตที่สูงตามความต้องการที่อาจเกิดขึ้นอย่างมากในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ ประจำปีงบประมาณ 2553 และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพิ่มเติมจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] เถลิงเกียรติ เขตบุญพร้อม, สันติสุข บุญน้อย และ พิจิตรา สุจริต. 2553. โครงการหลังคาจากยางพารา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[2] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. 2548. โครงการการผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับขี้เลื่อย: รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

10R1-09

การศึกษาผลิตภัณฑ์อิฐปูพื้นผสมขยะเศษแก้วและขยะพลาสติก

Study of Floor Brick Products Mixed with Glass Waste and Plastic Waste

ประชุม คำพุฒ
Prachoom Khamput
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 0 2549 3412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันขยะเศษแก้วและขยะพลาสติกมีจำนวนมากในชุมชนและต้องการกำจัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำขยะเศษแก้วและขยะพลาสติกไปบดย่อยเป็นมวลรวมทดแทนหินเกล็ดในการผลิตอิฐปูพื้นสองชั้น โดยทำการผสมคอนกรีตชั้นผิวหน้าอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ขาว: ทราย: เศษแก้ว (บดย่อยขนาด 4-8 มิลลิเมตร): น้ำ เท่ากับ 1: 0.5: 0.5: 0.5 โดยน้ำหนัก ปรับอัตราส่วนโดยทำการเพิ่มทรายและลดเศษแก้วลง ในอัตรา 0.1 ตามลำดับจนกระทั่งถึงอัตราส่วน 1: 1: 0: 0.5 ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงในแบบหล่ออิฐปูพื้นขนาด 10 x 20 x 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้มีความหนา 1 เซนติเมตร จากนั้นทำการผสมคอนกรีตชั้นล่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ทราย: เศษพลาสติก (บดย่อยขนาด 6 มิลลิเมตร): น้ำ เท่ากับ 1: 2.75: 0.25: 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันแล้วเททับลงบนคอนกรีตชั้นผิวหน้าให้มีความหนา 5 เซนติเมตร ปล่อยไว้ในแบบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบออก ผึ่งไว้ในสภาพอากาศปกติ นำมาทดสอบความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบพบว่าอิฐปูพื้นอัตราส่วนผิวหน้า คือ ปูนซีเมนต์ขาว: ทราย: เศษแก้ว: น้ำ เท่ากับ 1: 0.7: 0.3: 0.5 มีค่าความต้านแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 23 เมกะพาสคัล ใกล้เคียงกับความต้านแรงอัดของคอนกรีตปกติทั่วไปที่ผสมด้วยมือ มีค่าความหนาแน่น 1,704 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 16.3 เมื่อนำไปปูพื้นในสถานที่จริงสามารถใช้งานได้เหมือนกับอิฐปูพื้นทั่วไป และมีความสวยงาม ระยิบระยับจากเศษแก้ว จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ : วัสดุเหลือทิ้ง; มวลรวม; ความต้านแรงอัด; วัสดุก่อสร้างสีเขียว

Abstract

Currently, there is a large amount of broken glass and plastic debris in the community that must be removed. The objective of this research is to smash shattered glass and plastic waste into aggregates instead of rock flakes. The method is mixing the concrete surface layer with the ratio of white cement: sand: glass fragments (4–8 mm. crushed): water is equal to 1: 0.5: 0.5: 0.5 by weight. Adjust the ratio by adding sand and reducing glass fragments to rate 0.1, respectively, until reaching a ratio of 1: 1: 0: 0.5. Mix well and pour into a brick floor mold measuring 10 x 20 x 6 cm^3 to a thickness of 1 cm. Mix thoroughly and pour over the surface concrete to a thickness of 5 cm. Leave it in the mold for 24 hours, then remove it and dry under normal weather circumstances. Compression strength, density, and water absorption were all measured. The test results found that the floor brick with a surface ratio of white cement: sand: broken glass: water equal to 1: 0.7: 0.3: 0.5 had a maximum compressive strength value at the age of 28 days equal to 23 MPa, which was near to the resistance compared with normal compressive strength of concrete mixed by hand. It has a density of 1,704 kg/m^3 and a water absorption rate of 16.3 percent. When utilized as flooring in an actual

location, it functions similarly to standard flooring bricks and is stunning, shimmering from broken glass. Furthermore, it can be sold commercially.

Keywords : waste materials; aggregates; compressive strength; green building materials

บทนำ

ปัจจุบันขยะเศษแก้วและขยะพลาสติกมีปริมาณมาก โดยประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 ล้านตัน มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณปีละ 0.5 ล้านตัน ส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตัน นั้น ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) อาทิ ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร ไม่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ จึงถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ส่วนของเศษแก้วถูกทิ้งเป็นขยะอยู่ประมาณปีละ 40,000 ตัน โดยไม่ได้นำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตแก้ว และนับวันจะมีปริมาณขยะเศษแก้วเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต ที่ผ่านมาในต่างประเทศมีการนำเศษแก้วกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น ใช้เป็นตัวกรอง (filtration medium) ใช้ผสมในคอนกรีต ใช้เป็นวัสดุขัดสี (abrasive) ใช้เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในเซรามิก (fluxing agent) ใช้เป็นตัวเติมในสี (filler) และใช้ทำโฟมกลาส (foam glass) เป็นต้น [2] และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าทั้งเศษขยะพลาสติกและขยะเศษแก้วสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของอิฐบล็อกปูพื้นได้ [3-7] โดยงานวิจัยนี้ต้องการนำขยะพลาสติกและขยะเศษแก้วมาใช้ร่วมกันในการผลิตอิฐปูพื้นแบบสองชั้น โดยชั้นล่างผสมขยะพลาสติก ชั้นบนผสมเศษแก้ว เพื่อประโยชน์ในการจัดการขยะชุมชนทั้งสองชนิดไปพร้อมกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุในการดำเนินงาน ประกอบด้วย (1) ขยะพลาสติกนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดเพื่อกำจัดทรายและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมา จากนั้นผึ่งให้พอหมาดแล้วนำมาบดลดขนาดโดยไม่ต้องแยกประเภท โดยครั้งแรกบดย่อยผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว แล้วเป่าลมให้แห้งสนิท นำมาบดย่อยอีกครั้งผ่านตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 (2) ขยะเศษแก้วใสจากชุมชนบดย่อยแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 4-8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 (3) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2594-2556 [8] (4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.133-2562 [9] (5) ทรายจากร้านวัสดุก่อสร้างในจังหวัดปทุมธานี และ (6) น้ำสะอาด

อุปกรณ์ในการดำเนินงาน ประกอบด้วย (1) เครื่องผสมคอนกรีต (2) แบบหล่ออิฐปูพื้นขนาด 10 x 20 x 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร (3) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ และ (4) อุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 1 ขยะพลาสติกบดย่อยรวมกันผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว แล้วนำมาบดย่อยอีกครั้งผ่านตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร

รูปที่ 2 ขยะเศษแก้วใสจากชุมชนบดย่อยด้วยเครื่องแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาด 4-8 มิลลิเมตร

ทำการผสมคอนกรีตชั้นผิวหน้า อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว: ทราย: เศษแก้ว: น้ำ เท่ากับ 1: 0.5: 0.5: 0.5 โดยน้ำหนัก ปรับอัตราส่วนโดยทำการเพิ่มทรายและลดเศษแก้วลง ในอัตรา 0.1 ตามลำดับจนกระทั่ง 1: 1: 0: 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงในแบบหล่อให้มีความหนา 1 เซนติเมตร จากนั้นทำการผสมคอนกรีตชั้นล่างอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ทราย: เศษพลาสติก: น้ำ เท่ากับ 1: 2.75: 0.25: 0.5 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงในแบบหล่อบนคอนกรีตชั้นผิวหน้าให้มีความหนา 5 เซนติเมตร ปล่อยไว้ในแบบ 24 ชั่วโมง และทำการถอดแบบนำอิฐปูพื้นกลับด้านล่างขึ้นด้านบน แล้ววางบ่มไว้ในสภาพอากาศปกติตามระยะเวลาที่กำหนด (รูปที่ 3) นำมาทดสอบความต้านแรงอัดที่อายุ 14 และ 28 วัน (รูปที่ 4) ทดสอบการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 5) และความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน นำผลการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.827-2565 เรื่องคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [10] กำหนดค่าความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 5

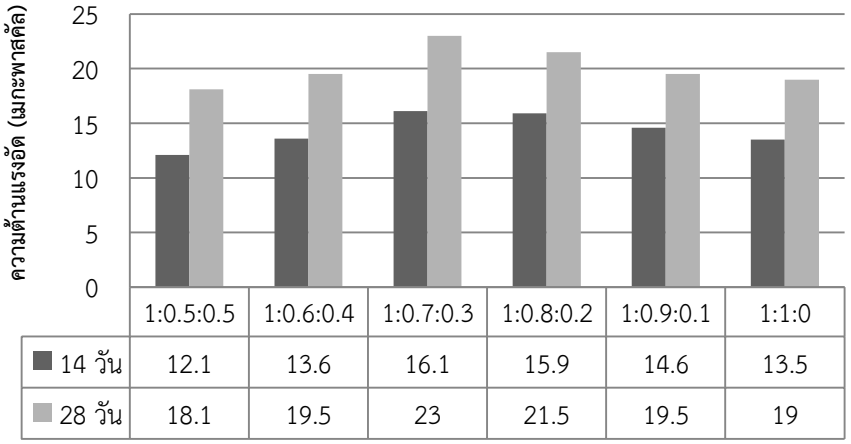
รูปที่ 3 การขึ้นรูปอิฐปูพื้นผสมขยะเศษแก้วและขยะพลาสติก

รูปที่ 4 ทดสอบความต้านแรงอัด

รูปที่ 5 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบความต้านแรงอัดอิฐปูพื้นเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.827-2565 แสดงดังรูปที่ 6 ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำแสดงดังตารางที่ 1 การทดสอบการใช้งานจริงแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ความต้านแรงอัดของอิฐปูพื้น ที่อายุ 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 6 พบว่าความต้านแรงอัดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของคอนกรีตที่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มจนถึง 28 วัน [11] โดยความต้านแรงอัดสูงสุดที่อัตราส่วนคอนกรีตผิวหน้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว: ทราย: เศษแก้ว: น้ำ เท่ากับ 1: 0.7: 0.3: 0.5 โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 23 เมกะพาสคัล ที่อายุ 28 วัน ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. กำหนดค่อนข้างมาก แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ของคอนกรีตเทพื้นทั่วไป ทั้งนี้ความต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณทรายหรือเศษแก้วในจำนวนมากขึ้น และค่าต่ำสุด ที่อัตราส่วน 1: 0.5: 0.5: 0.5 มีค่าเท่ากับ 18.1 เมกะพาสคัล ที่อายุ 28 วัน ซึ่งก็ยังอยู่ในเกณฑ์การรับแรงของคอนกรีตปกติที่ผสมด้วยมือด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของอิฐปูพื้นที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1:0.5:0.5	1,786	13.7
1:0.6:0.4	1,649	17.7
1:0.7:0.3	1,704	16.3
1:0.8:0.2	1,750	13.5
1:0.9:0.1	1,670	14.4
1:1:0	1,685	12.9

ตารางที่ 1 พบว่าอิฐปูพื้นมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1,600-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนการดูดซึมน้ำทุกอัตราส่วนมีค่าเกินกว่าร้อยละ 5 เนื่องจากคอนกรีตชั้นล่างมีส่วนผสมของเศษพลาสติกบดย่อยซึ่งเมื่อผสมคอนกรีตทำให้ยึดเกาะตัวกับซีเมนต์เพสต์ได้ไม่ดีและมีช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมาก ถึงแม้ว่าคอนกรีตชั้นผิวหน้าจะมีการดูดซึมน้อยและเนื้อของคอนกรีตแน่น อีกทั้งเศษแก้วก็ไม่มีการดูดน้ำเลยก็ตาม ทั้งนี้อิฐปูพื้นทุกอัตราส่วนมีลักษณะทั่วไปผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด คือ คอนกรีตมีเนื้อแน่น ไม่แตกร้าว ไม่บิ่น สีของผิวหน้าสม่ำเสมอ อีกทั้งมีความคลาดเคลื่อนและความเบี่ยงเบนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อนำไปทดสอบการปูพื้นในสถานที่จริง ณ ข้างอาคาร วช.4 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (รูปที่ 7) ก็สามารถใช้งานปูพื้นได้เหมือนกับอิฐปูพื้นปกติทั่วไป

รูปที่ 7 การปูพื้นในสถานที่จริง ณ ข้างอาคาร วช.4 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

สรุป

ขยะพลาสติกและขยะเศษแก้วสามารถนำมาบดย่อยเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมบางส่วนในการผลิตอิฐปูพื้นได้ โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ ส่วนผสมคอนกรีตชั้นล่างอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ทราย: เศษพลาสติก: น้ำ เท่ากับ 1: 2.75: 0.25: 0.5 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมชั้นผิวด้านบนอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว: ทราย: เศษแก้ว: น้ำ เท่ากับ 1: 0.7: 0.3: 0.5 โดยน้ำหนัก ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการรับแรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น อย่างไรก็ดีความต้านแรงอัดอยู่ในช่วงของคอนกรีตปกติที่ผสมด้วยมือ ซึ่งชุมชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้วยการเทเป็นพื้นคอนกรีตสาธารณะได้ (

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม สัญญาเลขที่ N71A670341 เรื่อง “การส่งเสริมอาชีพให้แก่ชุมชนแถบชายทะเลด้วยการเพิ่มมูลค่าขยะเศษแก้วเหลือทิ้งเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนตามแนวทางการพัฒนาชุมชนพึ่งตนเองตามแนวพระราชดำริ” กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : การจัดการความรู้การวิจัยและการถ่ายทอดเพื่อการใช้ประโยชน์ (KM) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2567

เอกสารอ้างอิง

[1] กตป., 2565. ขยะพลาสติก. http://env_data. onep.go.th/blogs/subject/view/11. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2567.

[2] วรรณา ต.แสงจันทร์, 2552. การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 46-52.

[3] กิตติพงษ์ สุวีโร และ ประชุม คำพุฒ. 2563. การพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเศษขวดพลาสติกสีประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่เหลือทิ้งจากการบริโภค. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, 18(1): 81-89.

[4] ประชุม คำพุฒ, 2563. การเพิ่มมูลค่าขยะพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียวโดยการแปรรูปเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 32 (สวสท.'63), ณ โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รองเมือง, ปทุมวัน, กรุงเทพฯ, 17 ธันวาคม 2563: 51-60.

[5] Shao, Y., Lefort, T., Moras, S. and Rodriguez, D. 2000. Studies on concrete containing ground waste glass. Cement and Concrete Research. 30: 91–100.

[6] Nishikant, K., Nachiket, A., Avadhut, I. and Sangar, A. 2016. Manufacturing of concrete paving block by using waste glass material. International Journal of Scientific and Research Publications. 6: 61–77.

[7] Mohammadinia, A., Wong, Y. C., Arulrajah, A. and Horpibulsuk, S. 2019. Strength evaluation of utilizing recycled plastic waste and recycled crushed glass in concrete footpaths. Construction and Building Materials. 197: 489–496.

[8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556. มอก.2594-2556 เรื่องปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562. มอก.133-2562 เรื่องปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2565. มอก.827-2565 เรื่องคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

[11] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักกุล, 2556. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพมหานคร.

10R1-10

ความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากการผลิตหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์

Compressive Strength of Interlocking Blocks Containing Sediment from Fiber Cement Roof Production

ประชุม คำพุฒ[1] และ กิตติพงษ์ สุวีโร[2*]
Prachoom Khamput[1] and Kittipong Suweero[2*]
[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
*โทรศัพท์ : 08 1665 4755, โทรสาร : 0 2549 3412, E-mail : prachoom_k@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ปัจจุบันใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับปูนซีเมนต์ โดยระหว่างขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์จะเหลือกากตะกอนในกระบวนการผลิตจำนวนมากต้องทำการกำจัดทิ้ง จึงนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน กำหนดส่วนผสมอัตราส่วนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ดินลูกรัง: น้ำ เท่ากับ 1: 7: 0 โดยปริมาตร แล้วแทนที่ดินลูกรังด้วยกากตะกอนหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ (บดย่อยผ่านตะแกรงช่องเปิด 3 มิลลิเมตร) ทีละ 0.5 ส่วน จนกระทั่งถึง 3.5 ส่วน ทำการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน แล้วอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบมือโยกได้เป็นก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาด 10 x 12.5 x 25 เซนติเมตร นำก้อนตัวอย่างออกจากแบบ นำไปวางบ่มไว้ในสภาพอากาศปกติเป็นเวลา 14 วัน แล้วทดสอบความต้านแรงอัด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกประสานแบบรับน้ำหนักใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ดินลูกรัง: กากตะกอนหลังคา: น้ำ เท่ากับ 1: 3.5: 3.5: 1 โดยปริมาตร มีค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 7.59 เมกะพาสคัล ส่วนแบบไม่รับน้ำหนักใช้อัตราส่วน 1: 1: 6: 1 โดยปริมาตร ได้ค่าความต้านแรงอัด 3.69 เมกะพาสคัล สามารถนำไปใช้งานได้

คำสำคัญ : หลังคา; วัสดุเหลือทิ้ง; ความต้านแรงอัด; วัสดุก่อสร้างสีเขียว; อิฐบล็อก

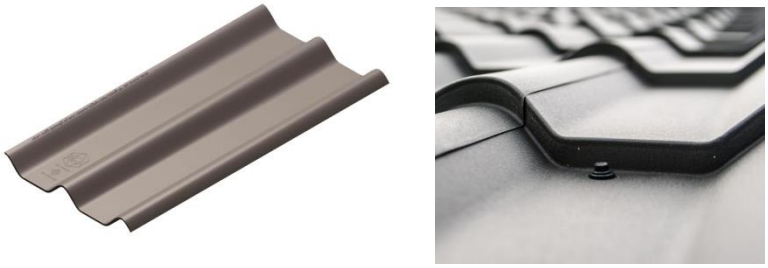
Abstract

Currently, Fiber-cement roof tiles are made by mixing cellulose fibers with cement. During the production of fiber cement roof tiles, a huge amount of sludge is produced and must be disposed of. Therefore, it is used as an ingredient in interlocking brick and block products. Set the mixture ratio of hydraulic cement: laterite: water equal to 1: 7: 0 by volume and then replace the laterite with fiber cement roof sludge (grind through a sieve with an opening of 3 mm) add 0.5 parts at a time until reaching 3.5 parts. Mix the basic components thoroughly. Then it was extruded using a hand press into a sample block of interconnecting bricks measuring 10 cm x 12.5 cm x 25 cm. Remove the sample block from the mold and allow it to incubate in normal weather conditions for 14 days before testing it for compression strength in accordance with TCPS 602-2004, the community product requirements for interlocking bricks and blocks. The test results found that the load-bearing interlocking bricks used a ratio of hydraulic cement: laterite soil: roof sludge: water equal to 1:3.5:3.5:1 by volume. It has a compressive strength value of 7.59 MPa. For non-load bearings, a volume ratio of 1: 1: 6: 1 is appropriate; it has a compressive strength of 3.69 MPa.

Keywords : roof; waste materials; compressive strength; green building materials; brick block

บทนำ

กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ (รูปที่ 1) คือ แผ่นกระเบื้องหลังคาบ้านที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยนำไปผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยเซลลูโลสและซิลิกา ที่มีเนื้อเหนียวแต่ยืดหยุ่น และคงทนสูง แล้วนำไปผสมกับทรายละเอียด จากนั้นจึงนำไปอบไอน้ำแรงดันสูง เพื่ออัดขึ้นรูปแล้วรีดออกมาเป็นแผ่นในรูปแบบที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่มักใช้กันในรูปแบบของกระเบื้องลอนคู่ และด้วยส่วนผสมที่เป็นเส้นใยสังเคราะห์ไม่ใช่เส้นใยหิน ทำให้กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่แข็งแรงทนทาน แต่น้ำหนักเบา ไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย สะสมความร้อนต่ำ และปลอดภัยจากปลวกและแมลงต่าง ๆ อีกด้วย [1] นอกจากจะใช้เป็นกระเบื้องหลังคาบ้านได้แล้ว ไฟเบอร์ซีเมนต์ก็ยังเป็นวัสดุที่ใช้กับส่วนอื่น ๆ ของบ้านได้อีกด้วย เช่น ผนัง ฝ้า พื้น เป็นต้น โดยระหว่างขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์จะเหลือกากตะกอนในกระบวนการผลิตจำนวนมาก ต้องทำการกำจัดทิ้ง จึงมีแนวความคิดที่จะนำมาทำเป็นวัสดุมวลรวมในการผลิตอิฐบล็อกประสานสำหรับใช้งานก่อสร้างผนังอาคาร ตกแต่ง จัดสวน ตามแนวทางการใช้วัสดุให้เหลือศูนย์ (Zero waste)

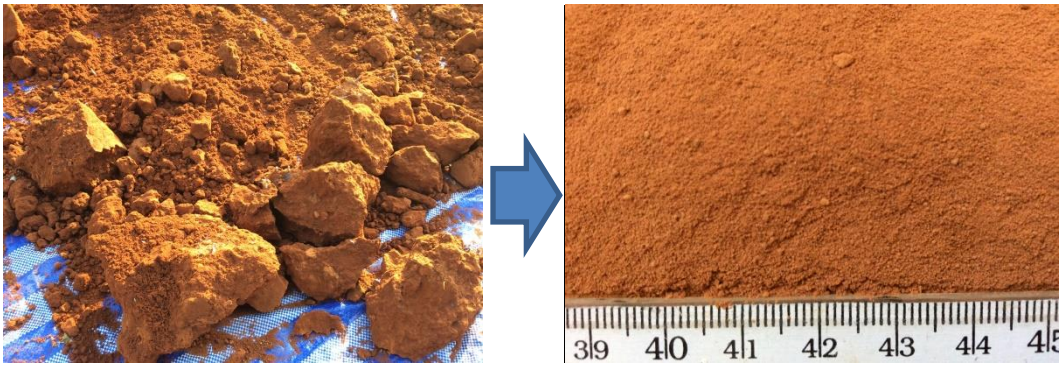


รูปที่ 1 กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ (อ้างอิง: https://thethreetouch.com/article/12924)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุในการดำเนินงาน คือ (1) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2594-2556 [2] (2) ดินลูกรังหรือดินแดงจากจังหวัดชัยภูมิ นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงช่องเปิด 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 (3) เศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงช่องเปิด 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 และ (4) น้ำสะอาด

อุปกรณ์ในการดำเนินงาน ประกอบด้วย (1) เครื่องอัดอิฐบล็อกประสาน (2) เครื่องบดย่อยวัสดุพร้อมติดตั้งตะแกรงคัดขนาด (3) อุปกรณ์ผสมคอนกรีต (4) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ และ (5) อุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 2 ดินแดง (ลูกรัง) จากเหมืองแร่ในจังหวัดชัยภูมิบดย่อยผ่านตะแกรงช่องเปิด 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 3 เศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์นำมาบดย่อยผ่านตะแกรงช่องเปิด 3 มิลลิเมตร

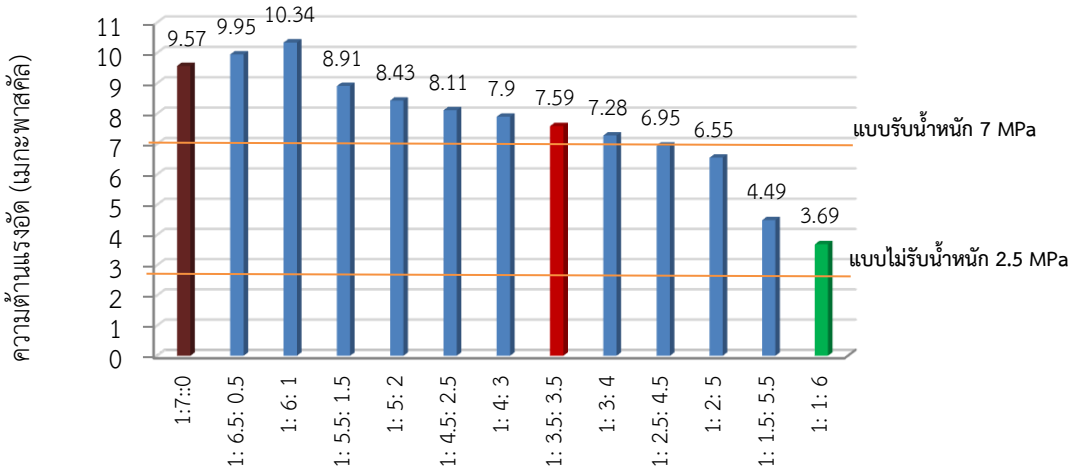
กำหนดส่วนผสมในการวิจัย อัตราส่วนปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ดินแดง: กากตะกอนหลังคา: น้ำ เท่ากับ 1: 7: 0: 1 โดยปริมาตร แล้วแทนที่ดินแดงด้วยกากตะกอนหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ ทีละ 0.5 ส่วน จนกระทั่งถึง 3.5 ส่วน ทำการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน แล้วอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบมือโยกได้เป็นก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานขนาด 10 x 12.5 x 25 ซม. นำก้อนตัวอย่างออกจากแบบ นำไปวางบ่มไว้ในสภาพอากาศปกติ เป็นเวลา 14 วัน (รูปที่ 4) แล้วทดสอบความต้านแรงอัด (รูปที่ 5) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องอิฐบล็อกประสาน [2]

รูปที่ 4 การขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานผสมกากตะกอนหลังคาที่อัตราส่วนต่าง ๆ

รูปที่ 5 การทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานผสมกากตะกอนหลังคาที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบอิฐปูพื้นเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.827-2565 แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุ 14 วัน

จากรูปที่ 6 ผลการทดสอบความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานผสมกากตะกอนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าอิฐบล็อกประสานสูตรปกติมีค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 9.57 เมกะพาสคัล เมื่อผสมกากตะกอนหลังคาแทนที่ดินแดงส่งผลให้ความต้านแรงอัดมีค่าสูงขึ้นจนถึงการแทนที่ 1 ส่วน ทำให้มีค่าความต้านแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 10.34 เมกะพาสคัล เนื่องจากกากตะกอนหลังคาเข้าไปแทรกในเนื้ออิฐบล็อกประสานทำให้เนื้อแน่นขึ้น จึงรับแรงได้มากขึ้น หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อแทนที่ดินแดงด้วยกากตะกอนหลังคาในปริมาณมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากกากตะกอนหลังคามีน้ำหนักเบากว่าดินแดงและเป็นมีเยื่อเส้นใยเซลลูโลสเป็นส่วนผสม ซึ่งเยื่อเส้นใยเซลลูโลสนี้จะช่วยรับแรงดัดได้ดีเมื่อใช้ในการผสมกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ แต่เมื่อนำมาผสมลงในอิฐบล็อกประสานที่ต้องการรับแรงอัด ส่งผลให้ความต้านแรงอัดลดลงจากเส้นใยที่เป็นลักษณะเส้นใยยาวกว่าดินแดงทำให้เส้นใยไปแทรกขัดกันในเนื้ออิฐบล็อกประสาน จึงทำให้เนื้ออิฐบล็อกประสานเกิดเป็นช่องว่างอากาศ เพราะซีเมนต์เพสต์ไปเคลือบมวลรวมได้ไม่ทั่วถึง ส่งผลทำให้ค่าความต้านแรงอัดลดลงตามลำดับ [3-4] และเมื่อนำไปใช้แทนที่ได้ 3.5 ส่วน ทำให้อิฐบล็อกประสานมีค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 7.59 เมกะพาสคัล (มาตรฐานกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 7 เมกะพาสคัล) จัดเป็นอิฐบล็อกประสานแบบรับน้ำหนัก และเมื่อใช้แทนที่เพิ่มขึ้นจนถึง 6 ส่วน ได้ค่าความต้านแรงอัด 3.69 เมกะพาสคัล (มาตรฐานกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล) จัดเป็นอิฐบล็อกประสานแบบไม่รับน้ำหนัก ซึ่งทั้งสองอัตราส่วนนี้สามารถนำไปใช้งานได้โดยอิฐบล็อกประสานแบบรับน้ำหนักสามารถใช้ในการก่อผนังอาคาร ส่วนแบบไม่รับน้ำหนักสามารถนำไปใช้ในงานตกแต่ง จัดสวน ได้

สรุป

การนำกากตะกอนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ มาเป็นส่วนผสมในอิฐบล็อกประสาน สามารถนำไปใช้งานได้ โดยการทดสอบค่าความต้านแรงอัดซึ่งเป็นค่าหลักในการกำหนดชนิดของอิฐบล็อกประสาน พบว่าอิฐบล็อกประสานแบบรับน้ำหนักใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก: ดินแดง: กากตะกอนหลังคา: น้ำ เท่ากับ 1: 3.5: 3.5: 1 โดยปริมาตร มีค่าความต้านแรงอัดเท่ากับ 7.59 เมกะพาสคัล ส่วนแบบไม่รับน้ำหนักใช้อัตราส่วน 1: 1: 6: 1 โดยปริมาตร ได้ค่าความต้านแรงอัด 3.69 เมกะพาสคัล

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก หน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2566

เอกสารอ้างอิง

[1] จระเข้, 2562. หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์คืออะไร? มีคุณสมบัติอะไร ทำไมถึงควรเลือกใช้ที่บ้าน, https://www.jorakay.co.th/blog/owner/deck-and-roof/what-are-the-characteristics-of-fiber-cement-roof-tiles (22 เมษายน 2567)

[2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.602-2547 เรื่องคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

[3] ประชุม คำพุฒ, 2562. ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสานจากเศษก้านใบยาสูบ. งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2562. มหาวิทยาลัยรังสิต กรุงเทพฯ. 231-240.

[4] ประชุม คำพุฒ, 2566. การใช้กากมูลโคเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อเป็นแนวทางผลิตอิฐบล็อกประสาน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL. Eng. J), 8(2): 42-51.

10R1-11

รูปแบบการกระจายตัวและความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู

Distribution Pattern and Competitive advantages of the Food and Beverages Business in Banglamphu Area

ธีระ ประไพศรี[1*] มนต์ธัช มะกล่ำทอง[2] และ เกริดา โคตรชารี[3]
Theera Prapaisri[1*] Montouch Maglumtong[2] and Querida Khotcharee[3]
[1*]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา ; [2]อาจารย์ [3]อาจารย์ ภาควิชาการบริหารและจัดการเมือง วิทยาลัยพัฒนามหานคร
มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10310
[*]โทรศัพท์ : 0814012264, E-mail : theera@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาประเภทและรูปแบบการกระจายตัวของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู รวมถึงมีลักษณะเด่นด้านทำเลที่ตั้ง (2) ศึกษาพฤติกรรมทางการตลาดและกลยุทธ์ในการดำเนินงานของแต่ละกลุ่มธุรกิจร้านอาหาร (3) วิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารแต่ละประเภท และ (4) เสนอแนะการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู ทั้งต่อภาคประชาสังคมและหน่วยงานด้านนโยบายที่เกี่ยวข้อง การศึกษานี้จะใช้วิธีการวิจัยแบบผสมทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากธุรกิจร้านอาหารผ่านการสำรวจพื้นที่ศึกษาโดยใช้แผนที่ แบบสำรวจ และแบบสอบถาม กับเจ้าของกิจการ ส่วนข้อมูลทุติยภูมิเก็บจาก หนังสือ เอกสารวิชาการ และกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีความน่าเชื่อถือและเกี่ยวข้องกับขอบเขตของการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ธุรกิจร้านอาหารมีประเภท 4 คือ ร้านอาหาร บาร์ ผสมผสาน และคาเฟ่ โดยมีลักษณะการกระจายตัวแตกต่างกัน เช่น ร้านอาหารมีความสามารถในการแข่งขันมากที่สุด ในขณะที่คาเฟ่มีความสามารถในการแข่งขันน้อยที่สุด นอกจากนี้ การศึกษายังพบว่ามีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการแข่งขันของแต่ละประเภท เช่น ด้านโครงสร้างพื้นฐาน, พลวัตของเศรษฐกิจท้องถิ่น ค่าใช้จ่ายในการทำธุรกิจท้องถิ่น และการตอบสนองของภาครัฐ เพื่อให้เกิดขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับที่แตกต่างกัน ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและจัดการเมือง เช่น กำหนดนโยบายในการสนับสนุนกลุ่มธุรกิจอาหารในย่านเมืองเก่า เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว และเพิ่มรายได้ให้กับคนในพื้นที่

คำสำคัญ : ธุรกิจร้านอาหาร; ย่านบางลำพู; การกระจายตัว; ความสามารถในการแข่งขัน

Abstract

This study aims to: (1) examine the type and distribution pattern of food and beverage businesses in Banglamphu district, including distinction of location; (2) examine market behavior and strategies in each food and beverage businesses' operation; (3) analyze the competitiveness in each food and beverage businesses; and (4) suggest the guidelines for enhancing competitiveness in food and beverage businesses in Banglamphu district for general public and related policy maker. This study is the mixed methods research. Primary data was collected from food and beverage businesses through a field survey, using maps, observations, and questionnaires. Secondary data was collected from statistics from local authorities, research, related documents, and relevant case studies with the scope of the research.

The results show that food and beverage businesses can be classified into four types, including restaurant, bar, mixed, and café. Each type had its own distribution pattern, with elements and effecting factors that caused different competitiveness levels. The restaurant was the most competitive food and beverage business, while, café was the least competitive. Overall, food and beverage businesses conformed with four aspects of urban competitiveness, including infrastructures, dynamics of local economy, cost of doing business, and governance. Research results can be applied in the policy of urban development and management for supporting food and beverage businesses in old town area, which would affect to tourism activities, attract more spending from foreign and local tourists. These activities may lead to an income generating for local people and increasing tax into the government. While, the analytical framework can expand to other business types.

Keywords : food and beverage business; Banglamphu district; distribution; compettiveness

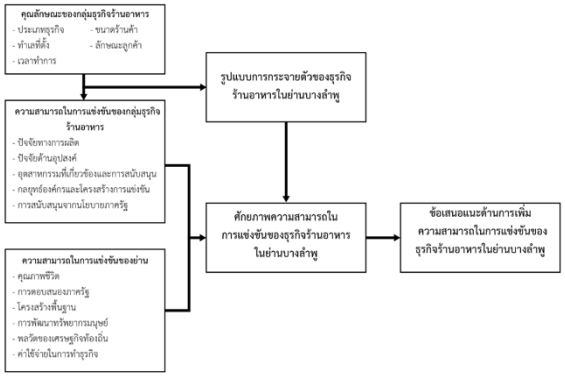
บทนำ

บางลำพูเป็นย่านสำคัญของกรุงเทพมหานครตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา เนื่องจากเป็นจุดหมายที่อยู่ในเส้นทางการค้าซึ่งเชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยคูรอบพระนคร ถึงแม้วิถีชีวิตและการสัญจรด้วยเส้นทางน้ำได้เปลี่ยนไป แต่ปัจจุบันย่านบางลำพูก็ยังเป็นแหล่งเรียนรู้ทางประวัติศาสตร์ และสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญกรุงเทพฯ ชั้นใน โดยเฉพาะบริเวณถนนข้าวสารและถนนโดยรอบ ที่เป็นย่านการท่องเที่ยวที่มีชีวิตชีวา ประกอบไปด้วยธุรกิจที่พัก ร้านอาหาร ร้านกาแฟ ร้านขายของที่ระลึก และย่านความบันเทิง ทั้งของชาวไทยและชาวต่างชาติ [1] ทั้งนี้ ยังไม่มีการศึกษาเชิงประจักษ์เกี่ยวกับรูปแบบการกระจายตัวของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพูที่แสดงให้เห็นถึงคลัสเตอร์และทำเลที่ตั้งของธุรกิจร้านอาหารภายในย่าน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงลักษณะเฉพาะที่ช่วยบ่งชี้ความสามารถในการแข่งขันของย่านบางลำพูเมื่อเปรียบเทียบกับย่านอื่นๆ ในพื้นที่เมืองเก่ากรุงเทพฯ บริเวณเกาะรัตนโกสินทร์

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ประเภทและรูปแบบการกระจายตัวของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพูรวมถึงมีลักษณะเด่นด้านทำเลที่ตั้ง วิเคราะห์พฤติกรรมทางการตลาดและความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารแต่ละประเภทด้วยแนวคิด Diamond Model ของ Michael E. Porter [2] และวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของย่านบางลำพูด้วยแนวทางการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันตามเกณฑ์ของ UN Habitat [3] เพื่อเข้าใจถึงศักยภาพในการแข่งขันของธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู และข้อเสนอแนะเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู ทั้งต่อภาคประชาสังคมและหน่วยงานด้านนโยบายที่เกี่ยวข้องต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ศึกษากลุ่มธุรกิจร้านอาหาร 4 กลุ่ม ได้แก่ ร้านอาหาร บาร์ คาเฟ่ และธุรกิจผสมผสาน ซึ่งหมายถึงธุรกิจที่ประกอบกิจการหลักมากกว่าหนึ่งประเภท เช่น ร้านอาหารและที่พัก ที่มีที่ตั้งถาวรอยู่ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 2) ที่ตั้งอยู่ในย่านบางลำพู โดยศึกษาคุณลักษณะและทำเลที่ตั้งของแต่ละกลุ่มธุรกิจ เก็บข้อมูลด้วยการสำรวจพื้นที่และแบบสอบถาม



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหาร ใช้แนวคิด Diamond Model [2] เป็นกรอบในการศึกษา ประกอบด้วยปัจจัย 5 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยทางการผลิต ปัจจัยด้านอุปสงค์ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่อง กลยุทธ์องค์กรและโครงสร้างการแข่งขัน และการสนับสนุนจากนโยบายภาครัฐ ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของย่าน ใช้แนวคิดการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของเมืองโดย UN-HABITAT [3] เป็นกรอบในการศึกษา ประกอบด้วยปัจจัย 6 ด้าน ได้แก่ คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม การตอบสนองของภาครัฐ โครงสร้างพื้นฐาน การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ พลวัตของเศรษฐกิจท้องถิ่น และค่าใช้จ่ายในการทำธุรกิจ ดังแสดงในกรอบแนวคิดการวิจัย (รูปที่ 1)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาพบว่ามีธุรกิจร้านอาหารทั้งหมด 109 แห่ง เป็นร้านอาหารร้อยละ 41 ธุรกิจผสมผสานร้อยละ 36 คาเฟ่ร้อยละ 15 และบาร์ร้อยละ 8 ธุรกิจแต่ละประเภทกระจุกตัวอยู่ในระยะไม่เกิน 100 เมตรจากถนนหลัก ทั้งนี้ กลุ่มธุรกิจร้านอารหาร บาร์ และธุรกิจผสมผสาน กระจุกตัวหนาแน่นที่ถนนข้าวสารและถนนรามบุตรี ส่วนคาเฟ่มีลักษณะการกระจุกตัวแตกต่างจากกลุ่มธุรกิจอื่น โดยมักกระจายตัวอยู่ตลอดแนวถนนพระอาทิตย์

รูปที่ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งที่ตั้งธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพู

ผู้วิจัยสำรวจพื้นที่ศึกษาย่านบางลำพู เพื่อศึกษาคุณลักษณะของกลุ่มธุรกิจร้านอาหาร จากร้านอาหารทั้งหมด 109 แห่ง แบ่งกลุ่มธุรกิจร้านอาหารออกเป็น 4 กลุ่มตามประเภทธุรกิจ ประกอบด้วย ร้านอาหาร จำนวน 45 แห่ง บาร์ 9 แห่ง คาเฟ่ 16 แห่ง และธุรกิจผสมผสาน 38 แห่ง โดยสำรวจร้านที่ตั้งอยู่บนถนนหลัก ได้แก่ ถนนพระอาทิตย์ ถนนพระสุเมรุ ถนนดินสอ ถนนจักรพงษ์ ถนนรามบุตรี ถนนข้าวสาร และถนนรอง ได้แก่ ซอยรามบุตรี ตรอกโรงไหม ที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่ย่านบางลำพู ธุรกิจแต่ละ

ประเภทมีทำเลที่ตั้งกระจุกตัวอยู่ในระยะไม่เกิน 100 เมตร จากถนนหลัก ถนนข้าวสารและถนนรามบุตรี เป็นถนนเส้นหลักสายสำคัญที่มีกลุ่มธุรกิจตั้งอยู่หนาแน่นที่สุด โดยเฉพาะกลุ่มธุรกิจร้านอารหาร บาร์ และธุรกิจผสมผสาน อย่างไรก็ดี คาเฟ่มีลักษณะการกระจุกตัวแตกต่างจากกลุ่มธุรกิจอื่น โดยมักกระจายตัวอยู่ตลอดแนวถนนพระอาทิตย์ ด้านเวลาทำการ พบว่า ธุรกิจประเภทร้านอาหาร และคาเฟ่ มักเปิดทำการในช่วงกลางวันถึงช่วงค่ำ ส่วนบาร์จะมีระยะเวลาเปิดที่นานกว่าจนถึง 00:00 น. ในขณะที่ธุรกิจผสมผสาน จะเปิดทำการตลอด 24 ชั่วโมงหากมีที่พักให้บริการด้วย ในย่านบางลำพูพบว่ามีแหล่งท่องเที่ยวภายในย่านประกอบด้วย สวนสันติชัยปราการ ถนนข้าวสาร วัดชนะสงคราม ราชวรมหาวิหาร วัดบวรนิเวศวิหาร ราชวรวิหาร เป็นต้น โดยลูกค้าของกลุ่มธุรกิจทุกประเภทสามารถเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว รวมถึงสวนสาธารณะได้ด้วยการเดินเท้า ด้วยระยะ 220 – 560 เมตร ระยะทางเท้ากว้างเฉลี่ย 2.78 เมตร ภายในย่านมีสถานีตำรวจนครบาลชนะสงครามเป็นผู้ดูแลพื้นที่โดยธุรกิจทุกประเภทมีระยะห่างเฉลี่ย 460 เมตร นอกจากนี้ ผู้ใช้บริการยังสามารถเข้าถึงสถานที่ท่องเที่ยวอื่นๆ ทั้งในย่านบางลำพู และเขตกรุงเทพฯ ชั้นใน ได้ด้วยรถโดยสารประจำทาง จำนวน 51 สาย ซึ่งมีระยะห่างจากร้าน เฉลี่ย 110 เมตร จากการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจร้านอาหารทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า กลุ่มธุรกิจประเภทร้านอาหาร มีความสามารถในการแข่งขันมากที่สุด รองลงมา คือ บาร์ ธุรกิจผสมผสาน ส่วนคาเฟ่มีความสามารถในการแข่งขันน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับธุรกิจประเภทอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มธุรกิจ [1] ร้านอาหารทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า กลุ่มธุรกิจประเภทร้านอาหาร มีความสามารถในการแข่งขันมากที่สุด เพราะว่า ปัจจัยในด้านต่าง ๆ มีความสัมพันธ์และสนับสนุนธุรกิจร้านอาหารในย่านบางลำพูมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นด้านโครงสร้างพื้นฐานที่ตั้งอยู่ใกล้กับถนนใหญ่ และสามารถเดินทางได้ง่ายด้วยรถโดยสารประจำทาง ซึ่งในอนาคตจะมีโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วงที่เข้ามาใกล้ ๆ ภายในย่าน ด้านอุปสงค์ที่นักท่องเที่ยวไทยส่วนใหญ่มองหาร้านที่ได้รับรางวัลจากเว็บไซต์ต่าง ๆ ด้านอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและการสนับสนุนที่มีความได้เปรียบจากการใช้วัตถุดิบที่สามารถหาได้จากท้องถิ่น และความได้เปรียบจากสถานที่ที่มีสัดส่วนของชาวต่างชาติสูง ต้องการการบริการที่พักและร้านอาหารซึ่งพบว่ามีการกระจุกตัวของโรงแรมอย่างหนาแน่น ซึ่งอยู่ในธุรกิจประเภทผสมผสานที่มีที่พักและร้านอาหาร ด้านการแข่งขันและกลยุทธ์ที่ระดับราคามีความหลากหลายและเข้าถึงได้ ในขณะที่กลุ่มธุรกิจประเภทบาร์ มีความได้เปรียบด้านอุปสงค์จากชาวต่างชาติที่ส่วนใหญ่มีความต้องการเข้าบาร์มากกว่าร้านประเภทอื่น ๆ เน้นการบริการหน้าร้านเพียงอย่างเดียว ธุรกิจประเภทบาร์มีอาหารบริการภายในร้าน ซึ่งสามารถหาวัตถุดิบได้จากท้องถิ่น แต่เครื่องดื่มบางประเภทต้องอาศัยการนำเข้าเพื่อให้บริการ ทำให้มีต้นทุนสูงขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีการเสียภาษีมากกว่าธุรกิจอื่น ๆ เนื่องจากมีการเสียภาษีมากกว่าธุรกิจอื่น ๆ คือ ภาษีสรรพสามิต สำหรับธุรกิจประเภทผสมผสาน เป็นธุรกิจที่มีการผสมผสานระหว่างธุรกิจ ร้านอาหาร บาร์ คาเฟ่ และโรงแรม อยู่ในธุรกิจประเภทนี้ซึ่งมีความได้เปรียบรองลงมาจากประเภทร้านอาหารและบาร์ อยู่ติดกับถนนใหญ่ที่สามารถเดินทางได้ด้วยรถโดยสาร หรือต้องเดินเท้าที่ไม่ไกลจากถนนใหญ่มากนัก เนื่องจากมีการกระจายตัวอยู่รอบ ๆ ย่านและพบได้มากสุดในถนนข้าวสาร พนักงานที่มีทักษะด้านภาษาอยู่แล้วซึ่งสามารถสื่อสารได้ทั้ง 3 ภาษา ธุรกิจผสมผสานร้อยละ 20 เป็นทั้งโรงแรมและร้านอาหาร ธุรกิจผสมผสานบางร้านมีไกด์นำเที่ยวอยู่ในแพคเกจที่พักซึ่งตั้งอยู่ บริเวรถนนข้าวสาร และถนนรามบุตรี ส่วนธุรกิจประเภทคาเฟ่มีความสามารถการแข่งขันน้อยที่สุด แม้ว่าด้านวัตถุดิบจะหาได้จากท้องถิ่น แต่เครื่องดื่มบางประเภทอาจจะอาศัยการนำเข้า ส่วนใหญ่จะตั้งอยู่บนถนนดินสอ เป็นผู้ที่สัญจรผ่านส่วนมากเป็นชาวบ้านหรือนักท่องเที่ยวไทย ซึ่งอาจจะบริโภคธุรกิจร้านอาหารใกล้เคียง และมาบริโภคของหวานในคาเฟ่ในพื้นที่ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากการรีวิวจากเว็บไซต์ต่าง ๆ และสินค้ามีราคาเฉลี่ยค่อนข้างที่จะราคาสูงกว่าธุรกิจประเภทอื่น ๆ

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของย่านบางลำพู โดยแนวคิดการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของ UN-HABITAT [2] ที่ผู้วิจัยเลือก 4 ด้าน จากทั้งหมด 6 ด้าน พบว่า ด้านที่ย่านบางลำพูทำได้ดีที่สุด คือ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน รองลงมา คือ ด้านพลวัตของเศรษฐกิจท้องถิ่น ด้านค่าใช้จ่ายในการทำธุรกิจ และด้านการตอบสนองของภาครัฐ ดังนี้ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน เพราะว่า โครงสร้างพื้นฐานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเข้าถึงย่านบางลำพู การมีขนส่งที่ดี โลจิสติกส์ และรถไฟฟ้าสายสีม่วง สถานีบางขุนพรหม ที่กำลังจะเสร็จในอนาคต ความกว้างของขนาดถนน ซอยที่มีธุรกิจต่าง ๆ ล้วนเป็นการดึงดูดนักท่องเที่ยวต่างชาติเข้ามาใช้บริการ และด้านพลวัตของเศรษฐกิจท้องถิ่นของย่านบางลำพู เนื่องจากเป็นตลาดมาตั้งแต่สมัยอดีตพัฒนาจนมาเป็นย่านพื้นที่เศรษฐกิจด้านการค้า รับท่องเที่ยวภายในประเทศและภายนอกประเทศเข้ามาใช้บริการ ความเป็นชุมชนเข้มแข็งที่มีลักษณะเฉพาะของชุมชน มีเครือข่ายพัฒนาชุมชน ด้วยสัดส่วนของนักท่องเที่ยวเข้ามาภายในย่านล้วนเป็นคนต่างชาติ เมนูเป็นภาษาต่างชาติผสมกับภาษาไทย และภาษาจีน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าความเกลียดกลัวชาวต่างชาติน่าจะอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ รองลงมาค่าใช้จ่ายในการทำธุรกิจ ธุรกิจทุกประเภทจ่ายค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ภาษีหัก ณ ที่จ่าย ภาษีป้าย ภาษีที่ดิน ภาษีศุลกากร ธุรกิจประเภทบาร์ต้องเสียภาษีสุราเพิ่มเติม และแอพพลิเคชั่น Delivery ต่าง ๆ มีค่าธรรมเนียมประมาณ 30% ของยอดขาย ราคาการเช่าอาคารพาณิชย์ในบริเวณรอบ ๆ ของย่านบางลำพูอยู่ที่ประมาณ 20,000 ถึง 120,000 บาทต่อเดือน และมีค่าแรงขั้นต่ำของ

กรุงเทพมหานคร 363 บาท ซึ่งน้อยกว่าค่าครองชีพที่ต้องอาศัยอยู่ในย่าน การตอบสนองภาครัฐ เนื่องจากพื้นที่บางลำพูนั้นเป็นตลาดตั้งแต่อดีต และปัจจุบันเป็นพื้นที่เศรษฐกิจอันดับต้น ๆ ของกรุงเทพมหานคร แล้วยังมีเครือข่ายความร่วมมือของเสน่ห์บางลำพูที่สร้างกิจกรรมดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งไทยและต่างชาติเข้ามาทำกิจกรรมในพื้นที่ และยังมีนโยบายสนับสนุนช่วยเหลือธุรกิจที่ได้รับผลกระทบจากโควิด-19 ทั้งนี้ยังมีการส่งเสริมการท่องเที่ยวที่เปิดประเทศ ปรับปรุงขั้นตอนการขอวีซ่า และยกเว้นค่าธรรมเนียมที่จะชักชวนนักท่องเที่ยวต่างชาติเข้ามาในย่าน รัฐบาลมุ่งเน้นสิ่งแวดล้อมที่สะอาดในการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM2.5 และการป้องกันวิกฤตสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในอนาคต

สรุป

ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกลุ่มธุรกิจพบว่า กลุ่มธุรกิจประเภทร้านอาหาร มีความสามารถในการแข่งขันมากที่สุด รองลงมา คือ บาร์ ธุรกิจผสมผสาน ส่วนคาเฟ่มีความสามารถในการแข่งขันน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับธุรกิจประเภทอื่นๆ โดยร้านอาหารมีความได้เปรียบจากโครงสร้างพื้นฐานของย่าน มีความได้เปรียบจากการเข้าถึงด้วยโครงข่ายถนนหลักและรอง รวมถึงทางเดินเท้า และการเข้าถึงโดยรถโดยสารสาธารณะ พนักงานมีทักษะสูง มีความได้เปรียบจากการใช้วัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่น และมีความต้องการของตลาดสูงทั้งผู้บริโภคชาวไทยและต่างชาติ ส่วนความสามารถในการแข่งขันของย่าน พบว่าด้านที่ย่านบางลำพูทำได้ดีที่สุด คือ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน รองลงมา คือ ด้านพลวัตของเศรษฐกิจท้องถิ่น ด้านค่าใช้จ่ายในการ ทำธุรกิจ และด้านการตอบสนองของภาครัฐ

ดังนั้น เพื่อให้ย่านบางลำพูมีความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น ด้านที่ควรดำเนินงานเพิ่มเติม คือ ด้านการตอบสนองภาครัฐ เพราะจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจในระดับย่านที่ชัดเจน ยังไม่มีการสนับสนุนของภาครัฐต่อธุรกิจร้านอาหารโดยเฉพาะ ส่วนมากเป็นนโยบายการส่งเสริมการท่องเที่ยวในภาพรวม แต่เนื่องจากธุรกิจร้านอาหารมีสัดส่วนการเปิดธุรกิจใหม่มากที่สุดในเขตพระนคร โดยเฉพาะย่านบางลำพู ดังนั้น หากรัฐส่งเสริมการพัฒนาแบบมุ่งเป้ามากขึ้น จะช่วยให้ย่านบางลำพูมีความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของย่านค่อนข้างมีความพร้อม ทั้งด้านการเข้าถึง ระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ ตลอดจนแรงงานที่มีทักษะที่จำเป็นสในการดำเนินธุรกิจ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อาจารย์ ดร. มนต์ธัช มะกล่ำทอง และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมอาจารย์ ดร. เกริดา โคตรชารี ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ภายนอก และชี้แนะให้คำปรึกษา ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ และทุนนำเสนอบทความทางวิชาการ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรทุกท่านที่ให้ความรู้ จนเกิดเป็นองค์ความรู้ใน การมาดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาส และให้การสนับสนุนในการศึกษาในระดับปริญญาโทตลอดมา ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการเรียน ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจในการเรียน และฝ่าฟันอุปสรรคร่วมกัน

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปต่อยอดหรือเป็นแนวทางการศึกษาในพื้นที่อื่น ๆ หรืออาจนำไปเป็นข้อมูลให้เพจเสน่ห์บางลำพูนำไปพัฒนาพื้นที่จะเป็นพระคุณยิ่ง หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ปิลันธน์ ไทยสรวง. 2559. “บางลำพูในความทรงจำ” จากย่านตลาดเก่าสู่สวรรค์ราคาถูกของนักท่องเที่ยว. https://lek-prapai.org/home/view.php?id= 662. สืบค้นเมื่อ 18 ธันวาคม 2566.

[2] Porter, M. 1998. Clusters and the New Economics of Competition. Harvard Business Review. 76(6): 77-90.

[3] UN-HABITAT. 2015. Enhancing the Competitiveness of Cities. Urban Economy Branch, Discussion Paper #4, October 2015.

10R2-01

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากงานอิเวนต์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Greenhouse Gas Emissions and Environmental Impact Evaluation of Chulalongkorn University Events

พิสุทธิ์ เพียรมนกุล[1*] พีรวิชญ์ ฐาปนวงศ์เวช[2] คริส เปราธ์มินทร์ บาวเวนส์[2] ปฏิพล ศักดิ์ธนวัฒน์[2] ชนันธร ดีประเสริฐ[2]
ชัญญานุช เมฆาวัชร์[2] นราวิชญ์ สุฐมานนท์[2] นภสินธุ์ จันทร์เพ็ง[2] เมษิณีย์ อินทร์สุวรรณ[2] ภัณฑิรา อุ่นจิตต์[2] ภาวินี พงศ์พันธ์พฤทธิ์[3]
Pisut Painmanakul[1*] Peerawich Thapanawongwech[2] Chris Paramin Bauwens[2] Patipon Saktanawat[2]
Chanuntorn Deeprasert[2] Chanyanuch Mekawat[2] Narawish Sutamanont[2] Noppasin Chanpheng[2]
Maysinee Insuwan[2] Phantira Oonjitt[2] Pavinee Pongpunpurt[3]
[1*] ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 10330
[2] นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 10330; [3]วิศวกรผู้ช่วย
[*]E-mail: pisut.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาให้ความสำคัญกับความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อหาข้อมูลในเชิงลึกในด้านของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การประเมินวัฏจักรชีวิต เพื่อหาปริมาณคาร์บอนเครดิตที่ต้องจัดหาในการได้มาซึ่งความเป็นกลางทางคาร์บอน และพยายามอธิบายสาเหตุของผลที่ได้จากงานอิเวนต์ในมหาวิทยาลัย มีการเก็บข้อมูลของเสียภายในงานอิเวนต์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสามงาน ซึ่งมีข้อมูลหลายด้าน อาทิ ชนิดของเสีย และปลายทางการจัดการของของเสียนั้น ๆ รวมถึงพฤติกรรมการทิ้งขยะของผู้ร่วมงาน ผลการสืบค้นแสดงให้เห็นว่า งานอิเวนต์ที่มีลักษณะเป็นโต๊ะจีนจะเศษอาหารเหลือทิ้งมากกว่างานที่จำกัดปริมาณอาหาร ดังนั้นงานอิเวนต์ประเภทนี้จึงส่งผลเสียในเชิงสิ่งแวดล้อมต่อคนมากกว่า จากโครงการวิจัยนี้สรุปได้ว่า ผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อมของงานอิเวนต์ขึ้นกับปริมาณอาหารที่จัดไว้และเศษเหลือหลังงาน

คำสำคัญ : ความเป็นกลางทางคาร์บอน; การปล่อยก๊าซเรือนกระจก; การประเมินวัฏจักรชีวิต; งานอิเวนต์; ความยั่งยืน

Abstract

Universities and other institutions are continuously becoming more concerned with their own responsibilities in addressing environmental sustainability. This study aims to provide more in-depth information on the carbon footprints and life cycle assessments of different higher education institution events to find the carbon credits needed to attain carbon neutrality. In addition, the causes of each event's differing outcomes were also analyzed. To obtain the results, data on different types of waste sources and destinations were collected and observations on attendees' behaviors were made in three Chulalongkorn University events. The results showed that banquets were more wasteful than other events in which food was more limited. Thus, food waste from these events had more environmental impacts per capita. In conclusion, the environmental impact of an event depends on how much food is served and wasted.

Keywords : carbon neutrality; greenhouse gas emissions; life cycle assessment; events; sustainability

บทนำ

งานอิเวนต์เป็นหนึ่งในกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในงาน โดยเฉพาะก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการจัดการของเสียอย่างไม่เหมาะสม ปัจจุบันผู้จัดงานอิเวนต์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการลดปัญหาโลกร้อนด้วยการจัดงานในรูปแบบ Zero Waste และประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อจัดหาคาร์บอนเครดิตมาชดเชย (offsets) และนำไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ของงานอิเวนต์ [1] งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการจัดงานอิเวนต์ และเสนอแนะแนวทางการจัดงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

รวบรวมข้อมูลจากงานอิเวนต์ 3 งาน ได้แก่ งานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 งาน Intania Music Fest และงาน Chula Intania Run 2024 พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมการแยกขยะของผู้บริโภค และวิเคราะห์การไหลของขยะด้วย การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis) จากนั้นคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) และทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) โดยใช้โปรแกรม SimaPro 9.0.0.35 ด้วยวิธีการ CML–IA baseline V3.05/EU25) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูล และเสนอแนวทางพัฒนาการจัดการขยะสำหรับงานอิเวนต์ต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการลงพื้นที่สำรวจงานอิเวนต์ทั้ง 3 งานพบว่างานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 มีจำนวนคนเข้าร่วมงาน 430 คน งาน Intania Music Fest มีจำนวนคนเข้าร่วมงาน 5,650 คน และงาน Chula Intania Run 2024 มีจำนวนคนเข้าร่วมงาน 5023 คน เมื่อทำการเก็บข้อมูลปริมาณขยะจากงานอิเวนต์ทั้ง 3 งาน พบว่างาน Chula Intania Run 2024 เป็นงานอิเวนต์ที่สร้างปริมาณขยะเยอะที่สุดคือ 810.80 กิโลกรัม รองลงมาคืองาน Intania Music Fest 425.70 กิโลกรัม และงานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 มีปริมาณที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด 195.98 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลขยะที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 งานอิเวนต์จะนำมาจำแนกประเภทขยะ และวิธีการกำจัดด้วยวิธีการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis) ได้ผลดังรูปที่ 1 2 และ 3

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 งาน Intania Music Fest และงาน Chula Intania Run 2024 มีค่าสุทธิ คือ 15.82 21.30 และ 75.20 tCO2e ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละขอบเขต (scope) แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนคนเข้าร่วมงาน (Carbon Intensity) จากงานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 มีค่ามากที่สุด เนื่องจากลักษณะกิจกรรมเป็นรูปแบบงานเลี้ยงโต๊ะจีน ทำให้มีปริมาณเศษอาหารมาก ดังรูปที่ 5

การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของขยะภายในงานอิเวนต์ ดังรูปที่ 6 พบว่างาน Intania Music Fest ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด เนื่องจากมีจำนวนผู้เข้าร่วมงานสูงที่สุด และยังเปิดให้บุคคลภายนอกสามารถเข้าร่วมงานได้ จึงทำให้เกิดขยะปริมาณมาก โดยเฉพาะขยะทั่วไปที่ใช้วิธีการฝังกลบในการกำจัด ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดขยะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

สำหรับผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านแหล่งพลังงานประเภทใช้แล้วหมดไปลดลง การก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และการก่อให้เกิดฝนกรดของงานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์นั้นมีค่าสูงที่สุดเนื่องจากขยะส่วนใหญ่เป็นประเภทขยะเศษอาหาร ซึ่งจะถูกนำไปทำปุ๋ยชีวภาพต่อไป ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการหมักปุ๋ยสูงที่สุด

จากการผลการศึกษาทั้งหมด สามารถนำเสนอแนวทางการจัดการขยะในงานอิเวนต์ ดังนี้

<u>การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง</u>

คณะผู้จัดงานต้องให้ความสำคัญกับการจัดการขยะเป็นปฐมภูมิ มีการสร้างแรงจูงใจในการแยกขยะ และหากพบผู้ที่ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลง ผู้จัดงานต้องมีมาตรการตักเตือน และโน้มน้าว โดยใช้หลักจิตวิทยาเข้ามาช่วยเหลือ เพื่อการปรับพฤติกรรมอย่างยั่งยืน

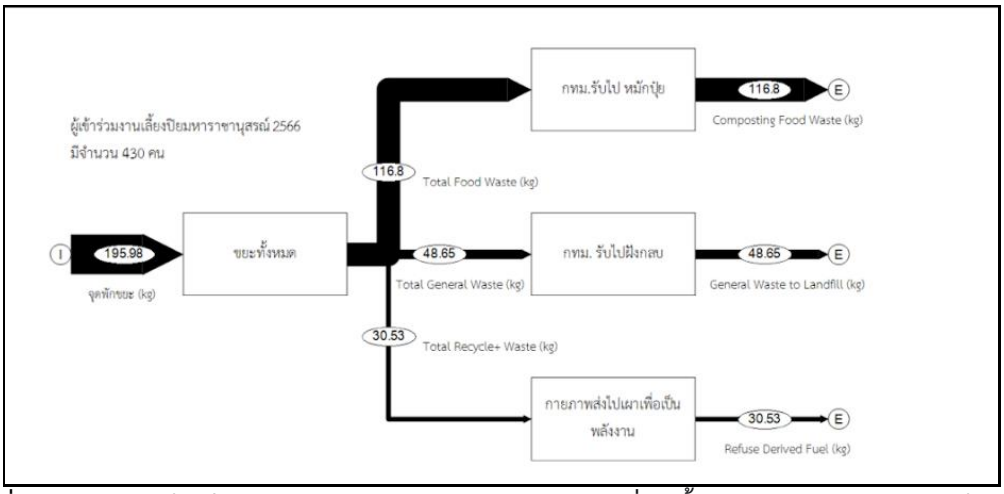
<u>การจัดการขยะภายในงาน</u>

ใช้หลักการ Zero Waste เพื่อลดปริมาณขยะฝังกลบ โดยมีจัดเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้เข้าร่วมงาน จัดประเภทถังขยะ และจุดทิ้งขยะให้สอดคล้องกับประเภทขยะที่คาดว่าจะเกิดในงาน จัดทำนโยบายส่งเสริมการแยกขยะ การ Reuse และ Recycle สำหรับผู้จัดงาน และผู้ร่วมงาน เช่น นโยบายลดหย่อนภาษี การนำระบบ Recycling deposit มาใช้ [2]

เป็นต้น ปรับเปลี่ยนวัสดุบางประเภท เพื่อให้ง่ายต่อการแยกขยะ เช่น การใช้ภาชนะที่ย่อยสลายได้ ที่สามารถทิ้งรวมกับขยะอินทรีย์ได้ [3] รวมถึงสนับสนุนการลดการใช้ผลิตภัณฑ์แบบใช้แล้วทิ้งเพื่อลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด [4] และออกแบบของที่ระลึกหรือผลิตภัณฑ์ภายในงานที่สามารถนำไปใช้งานในกิจกรรมอื่น ๆ ต่อไปได้

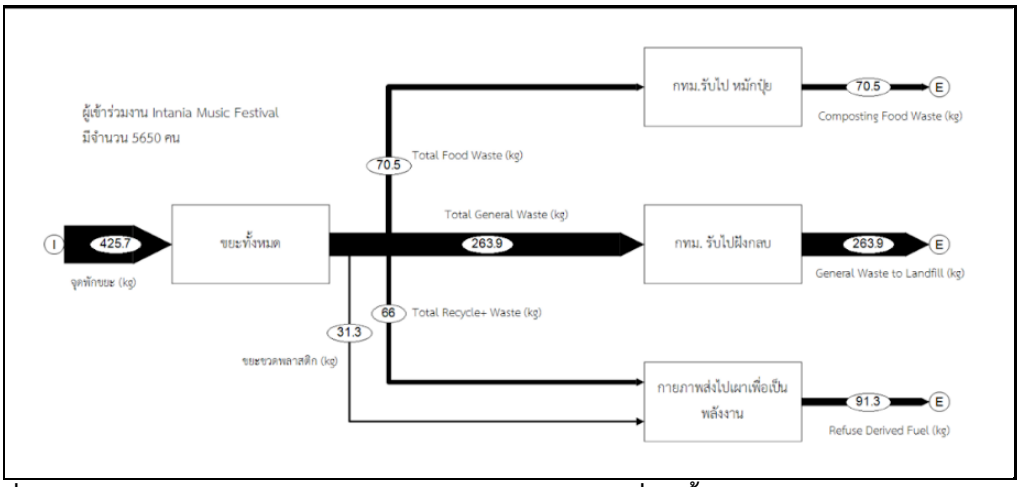
<u>การจัดการขยะปลายทาง</u>

มีการจัดสรรทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดขยะที่จะเกิดขึ้น รวมถึงมีการสร้างความตระหนักรู้ในอนาคต เช่น วิดีทัศน์สั้นให้ความรู้ในเรื่องของการจัดการขยะ มีการนำเทคโนโลยีในการจัดการขยะมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ เช่น เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค (Plasma arc) เทคโนโลยีแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน เป็นต้น



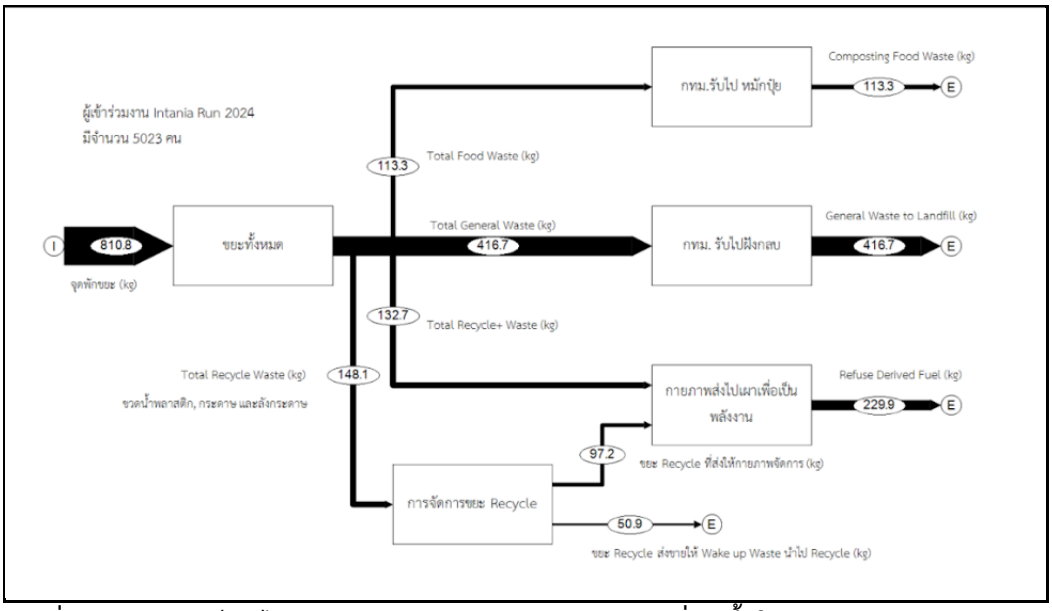
รูปที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุแสดงปริมาณขยะแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในงานปิยมหาราชานุสรณ์ 2566

Figure 1 Material flow analysis shows the amount of each type of waste generated at Piyamaharachanusorn 2023



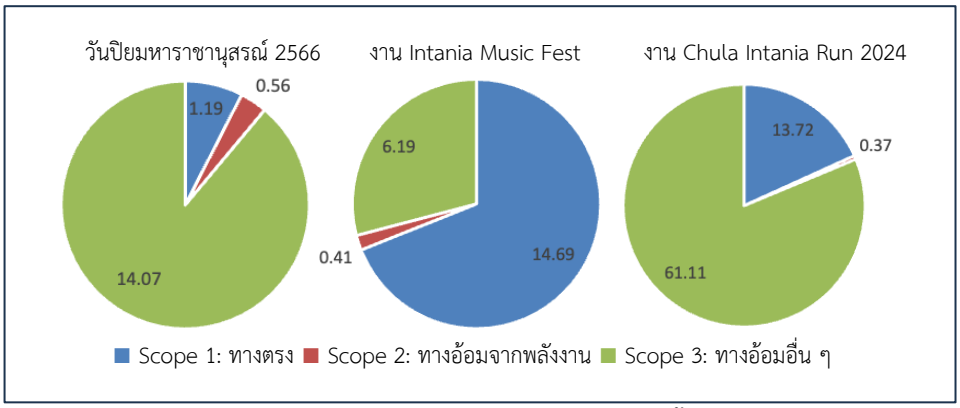
รูปที่ 2 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุแสดงปริมาณขยะแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในงาน Intania Music Festival

Figure 2 Material flow analysis shows the amount of each type of waste generated at Intania Music Festival



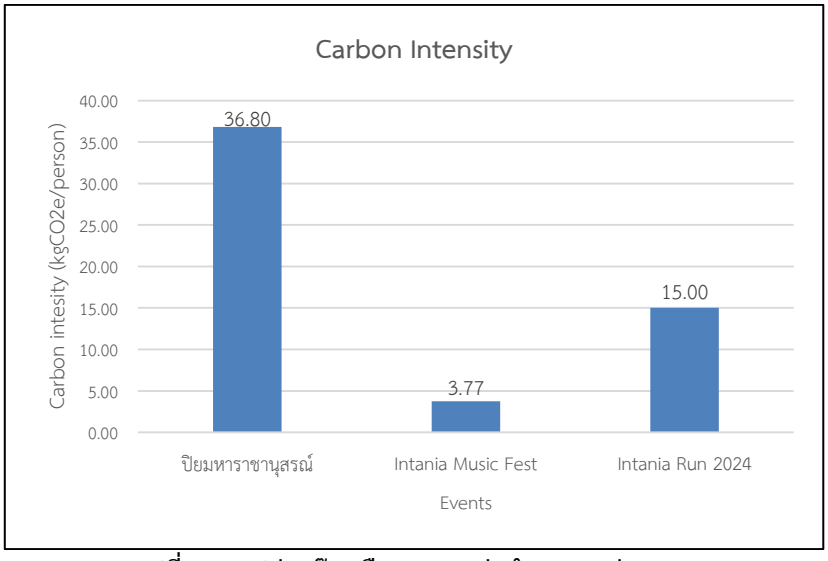
รูปที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุแสดงปริมาณขยะแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในงาน Intania Run 2024

Figure 3 Material flow analysis shows the amount of each type of waste generated at Intania Run 2024



รูปที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ (tCO_2e) ทั้ง 3 งาน

Figure 4 Net greenhouse gas emissions (tCO2e) for all 3 events



รูปที่ 5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อจำนวนคนร่วมงาน

Figure 5 Greenhouse gas emissions per person (Carbon Intensity)

Impact category	Unit	งานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์	Intania Music Fest	Chula Intania Run 2024
Abiotic depletion	kg Sb eq	2.18525E-06	1.29743E-06	1.91035E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.60080	2.08181	-1.02313
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	0.49872	0.33932	0.27332
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.45704E-08	1.86254E-08	1.26206E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0.09551	0.13459	0.05996
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.81302	1.20524	1.01151
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	492.84339	726.85428	511.19682
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.00057	0.00091	0.00067
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.00013	0.00014	8.88316E-05
Acidification	kg SO2 eq	0.00171	0.00126	0.00059
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.00136	0.00165	0.00127

รูปที่ 6 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของทั้ง 3 งาน

Figure 6 Life Cycle Assessment of 3 event

สรุป

โครงการวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดจากกิจกรรมงานอิเวนต์ โดยการสำรวจการจัดกิจกรรมและเก็บข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียจากงานอิเวนต์ที่จัดขึ้นในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งสามงานเป็นตัวอย่าง ได้แก่ งานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566, งาน Intania Music Fest และงาน Chula Intania Run 2024 เมื่อนำข้อมูลจากการจัดกิจกรรมของงานอิเวนต์ทั้งสามงานคำนวนคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรและเปรียบเทียบกับจำนวนผู้เข้างานในแต่ละงานพบว่างานเลี้ยงวันปิยมหาราชานุสรณ์ 2566 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อคนมากที่สุด 36.8 kgCO2e/คน แต่เมื่อเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรสุทธิของทั้งสามงานอิเวนต์เพื่อชดเชยด้วยคาร์บอนเครดิตพบว่างาน Intania Run 2024 เป็นงานที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 75.20 tCO2e เนื่องจากมีผู้เข้าร่วมงานเป็นจำนวนมากที่สุด ประกอบกับมีการเปิดงานให้บุคคลภายนอกเข้ามาในพื้นที่งานอิเวนต์ได้อีกด้วยทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยและของเสียที่เยอะที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามงานอิเวนต์ ด้วยเหตุผลเดียวกันทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต จะได้ว่างาน Intania bon Music Fest เป็นอิเวนต์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด สำหรับแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียในงานอิเวนต์แบ่งเป็นสองหัวข้อ ได้แก่ แนวทางการจัดการขยะภายในงานโดยให้ความสำคัญกับการส่งเสริมการคัดแยกขยะและปริมาณถังขยะให้เพียงพอ และแนวทางการจัดการขยะงานอิเวนต์ที่ปลายทางด้วยการใช้เทคโนโลยีในการจัดการขยะ นอกจากนี้ยังมีแนวทางการ

พัฒนาการประชาสัมพันธ์ และการสร้างแรงจูงใจในการแยกขยะให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องมีการพัฒนาและปรับปรุงพฤติกรรมในการแยกขยะได้อีกด้วย ดังนั้นผลการดำเนินงานของโครงการวิจัยที่กล่าวไปข้างนี้จะสามารถนำไปพัฒนาและต่อยอดให้การจัดงาน อิเวนต์ครั้งต่อไปเป็นอิเวนต์ที่มีการจัดการขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้องเพื่อนำมาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อนำมาชดเชย ทำให้งานอิเวนต์ครั้งต่อไปเป็น Carbon Neutral Event ที่บรรลุผลความเป็นกลางทางคาร์บอนอย่างแท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่ง ในการให้คำปรึกษาการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนได้ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำงานวิจัย ตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็น อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ นางวสาวภาวินี พงศ์พันธ์พฤทธิ์ ที่สละเวลาอันมีค่า คอยให้คำแนะนำ และช่วยวางแผนการดำเนินการรวมทั้งอำนวยความสะดวกในการดำเนินการจัดทำงานวิจัยให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พี่เจ้าหน้าที่ฝ่ายสถานที่ พี่เจ้าหน้าที่ฝ่ายกายภาพ สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงกรรมการนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ดำเนินการจัดกิจกรรมทั้ง 3 กิจกรรม และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลประกอบการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากกรุงเทพมหานคร ที่ให้การช่วยเหลือ แนะนำ และจัดการการแยกขยะภายในงานให้อย่างเหมาะสม รวมทั้งนำไปกำจัดได้อย่างถูกวิธี

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคน บุพการี ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2563. คู่มือการทำกิจกรรมชดเชยคาร์บอนสำหรับการจัดงานอิเวนต์. https://www.tgo.or.th/2023/index.php/th/post/TGO200100019. สืบค้นเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2567.

[2] Shambala. 2024. *Managing stuff – waste & recycling.* https://www.shambalafestival.org/essential-info/sustainability/managing-stuff-waste-recycling/. Retrieved February 17, 2024.

[3] We Love Green. n.d. All our eco-responsible actions - Our sustainable development policy. https://www.welovegreen.fr/charte-green/?lang=en Retrieved February 16, 2024.

[4] Maria Bosser Carenys. 2021. *Environmental implications of zero-waste music festivals* [Master's Thesis, Utrecht University]. https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/41061. Retrieved February 16, 2024.

10R2-02

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปาแบบต่างๆของการประปาส่วนภูมิภาค

Carbon footprint assessment of different water supply systems of Provincial Waterworks Authority

ชัยยงค์ ปึงธนาพิทักษ์[1*] และ ชาติ เจียมไชยศรี[2]
Chaiyong Pungthanapitak[1*] and Chart Chiemchaisri[2]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
*โทรศัพท์ : 02 797-0999 ต่อ 1002-1004, โทรสาร : 02 579-0730, E-mail : chaiyong.pu@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปาระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป เปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงระบบสำหรับลดการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปา โดยรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนกันยายน 2565–สิงหาคม 2566 โดยมีข้อมูลกิจกรรมประกอบด้วย ปริมาณและคุณสมบัติของน้ำดิบ น้ำประปาที่จำหน่าย การใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำดิบ กระบวนการผลิตและการส่งน้ำเข้าสู่ถังเก็บกักน้ำสะอาดภายในพื้นที่ระบบผลิตน้ำของการประปา ข้อมูลประเภทและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตน้ำ และนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากการศึกษานี้พบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนของระบบผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค อยู่ในช่วง 0.2589-0.3321 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร โดยการใช้กระแสไฟฟ้าในกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด อยู่ในช่วง 0.2339-0.2897 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร โดยเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนในการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วพบว่า การสูบน้ำดิบมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด อยู่ในช่วงร้อยละ 55-68

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์; การใช้ไฟฟ้า; การใช้สารเคมี; ระบบผลิตน้ำประปา

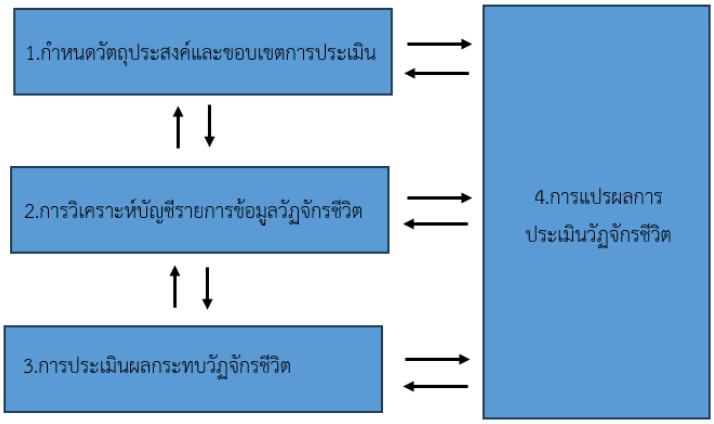
Abstract

This study aims to evaluate the carbon footprint of conventional water supply systems compared to prefabricated mobile water supply system in order to find improvement strategies for reducing their carbon footprint. The activity data, collected during September 2022–August 2023, consist of quantity and properties of raw water, quantity of tap water produced, electricity consumption for raw water conveyance, water treatment and treated water distributed into water storage tank within water supply system boundary, types and quantities of chemicals used in water treatment systems. These data were used for the calculation of indirect greenhouse gas emissions from electricity and chemical production in the form of carbon dioxide equivalent (CO_2e). From the study, it was found that the carbon emissions from the water supply systems of Provincial Waterworks Authority were ranged between 0.2589-0.3321 $kgCO_2e/m^3$, with the use of electricity in the production process having greatest contribution of 0.2339-0.2897 $kgCO_2e/m^3$. When considering the proportion of electrical use, it was found that pumping of raw water consumed major part of total electricity use at 55-68%.

Keywords: carbon footprint; electricity use; chemical use; water supply system

บทนำ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกตามรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change, (2023) [1] เพื่อรักษาสภาพภูมิอากาศให้ยังคงเอื้อต่อการดำรงชีวิต การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิจะต้องลดลงเป็น 0 ภายในปี 2050 ภาครัฐ ภาคเอกชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพยายามที่จะวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อวางแผนลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นที่มาของ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์” (Carbon Footprint) แน่นอนว่าภาครัฐและภาคธุรกิจจะต้องดำเนินการอย่างชัดเจน รวดเร็ว และรอบด้านแต่การเปลี่ยนผ่านสู่โลกคาร์บอนต่ำ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change) การจำกัดไม่ให้อุณภูมิในระยะยาวเพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียสถือว่ามีความสำคัญมาก เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ คือ ฉลากที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านก๊าซเรือนกระจกเท่าไร ซึ่งนำไปสู่การบริหารจัดการ การสร้างนวัตกรรม ออกแบบผลิตภัณฑ์คาร์บอนต่ำ หรือนำไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) โดยการผลิตน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคของชุมชนเป็นส่วนหนึ่งของการกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะจากการใช้พลังงานไฟฟ้า [2] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตน้ำ เป็นเครื่องมือในช่วยให้ทราบข้อมูลเชิงลึกของกระบวนการที่มีการปล่อยคาร์บอนสูง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงให้มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ [3] โดยมีรายงานการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำสะอาดแปรผันตั้งแต่ 0.38 – 2.46 $kgCO_2e/m^3$ ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำดิบ [3] ทั้งนี้ มีรายงานว่าในกระบวนการผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional plant) ขนาด 200,000 ลบ.ม.ต่อวัน โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งในพื้นที่และนอกพื้นที่ผลิตเท่ากับ 70,386 $kgCO_2e$ ต่อวัน [4] การศึกษานี้ทำการประเมินการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional Plant) ซึ่งใช้ถังรวมตะกอนและถังตกตะกอนเป็นโครงสร้างคอนกรีต เปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำประปาสำเร็จรูป (Mobile Plant) ที่ใช้กระบวนการรวมตะกอนและการแยกตะกอนในถังที่มีชั้นตะกอน (Pulsator Clarifier) โดยคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) แบบ Business to Business (B2B) ดังแสดงในรูปที่ 1 ของ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) [5] โดยขอบเขตการประเมินคลอบคลุม การสูบน้ำดิบ การปรับปรุงคุณภาพ การฆ่าเชื้อโรค การสูบน้ำใสเตรียมจ่าย และการกำจัดกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาทั้งสองรูปแบบเพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมการพัฒนาการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคด้านเทคโนโลยีหรือวิธีการผลิตที่ลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำในอนาคตต่อไป



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตามหลัก ISO 14040

อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลของระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional plant) และระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป (Mobile Plant) ในช่วงเดือนกันยายน 2565–สิงหาคม 2566 โดยมีข้อมูลกิจกรรม (Activity data) ประกอบด้วย ปริมาณและคุณสมบัติของน้ำดิบ น้ำประปาที่จำหน่าย การใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำดิบ กระบวนการผลิตและการส่งน้ำเข้าสู่ถังเก็บกักน้ำสะอาดภายในพื้นที่ระบบผลิตน้ำของการประปา ข้อมูลประเภทและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระบบผลิตน้ำ และนำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(CO_2e) โดยใช้ค่าการปล่อย (Emission factor) ของการผลิตไฟฟ้า ตามเกณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตของ INCOPA [6] ซึ่งการจะได้มาของข้อมูลดังกล่าวมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการประเมิน

วิเคราะห์วัฏจักรของกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยกำหนดขอบเขตและเป้าหมายวิเคราะห์วัฏจักรของชีวิต (Life Cycle Assessment) เพื่อเป็นตัวกำหนดแนวทางในการทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional plant) เปรียบเทียบระบบผลิตน้ำประปาสำเร็จรูป (Mobile Plant) ดังนี้

1.1 ขอบเขต และรายละเอียดของระบบผลิต

พิจารณาการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคของการประปาส่วนภูมิภาคแบบมาตรฐานทั่วไป เปรียบเทียบกับแบบสำเร็จรูป โดยพิจารณาเฉพาะคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เริ่มจากสูบน้ำดิบจากแม่น้ำมาทำการเติมสารเคมีและผ่านกระบวนการกรองและสูบจ่ายไปทางเส้นท่อโดยพิจารณาถึงมาตรน้ำจ่ายหลักของสถานีสูบจ่ายน้ำ

1.2 หน่วยของผลิตภัณฑ์

พิจารณาวัฏจักรชีวิตของน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตรมีการใช้พลังงานเท่าใดเพื่อนำมาพิจารณาคาร์บอนฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตของระบบ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปา ประกอบด้วยกระบวนการสูบน้ำดิบ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ กระบวนการสูบจ่าย และกระบวนการกำจัดกากตะกอน โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต แบบ Business to Business (B2B)

1.4 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิต หากระบวนการที่สามารถปรับปรุงและเลือกใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการผลิตน้ำประปาที่ลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

1.5 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการ คือ การรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง และจำเป็นที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า ปริมาณการใช้สารเคมี ค่าความขุ่นน้ำดิบ ปริมาณการสูบน้ำดิบและน้ำจ่าย

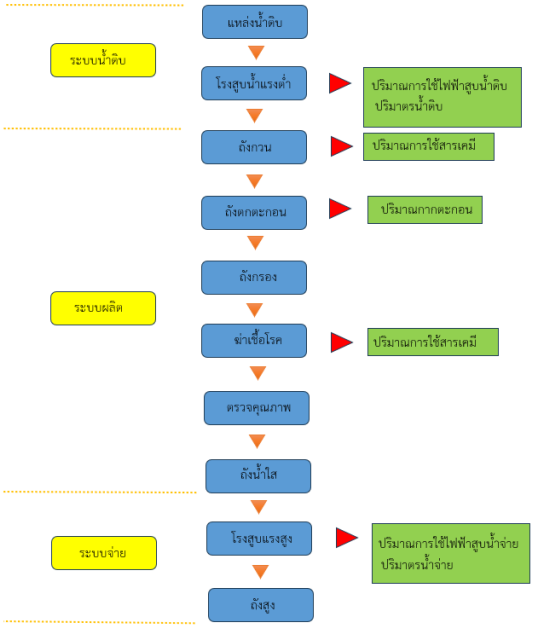
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลวัฏจักรชีวิต

กระบวนการผลิตน้ำประปาจากระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป และระบบผลิตน้ำประปาสำเร็จรูป สามารถแบ่งเป็นกระบวนการใหญ่ๆได้ 3 กระบวนการ ประกอบด้วย รูปที่ 2

2.1 กระบวนการระบบน้ำดิบ เริ่มจากการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินด้วยเครื่องสูบน้ำแรงดันต่ำ โดยจะมีข้อมูลการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้สารเคมี และปริมาตรการสูบน้ำดิบ ก่อนถูกจ่ายสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อกำจัดตะกอนความขุ่น โดยน้ำดิบจะถูกส่ง เข้าสู่ระบบสร้างตะกอน (ระบบกวนเร็ว)

2.2 กระบวนการระบบผลิต ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อกำจัดตะกอนความขุ่น โดยน้ำดิบที่ถูกเติมสารเคมีจะถูกส่งเข้าสู่ระบบสร้างตะกอน (ระบบกวนช้า) โดยปฏิกิริยาจากการเติมสารเคมี เพื่อทำลายเสถียรภาพความขุ่นที่ปนอยู่ในน้ำดิบ จะทำให้เกิดการตกตะกอนและตกลงสู่ก้นถังตกตะกอน และน้ำจะไหลล้นลงสู่รางรับน้ำผ่านถังกรองทราย และถูกเติมสารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อโรค โดยจะมีข้อมูลการวัดปริมาณการใช้สารเคมี และปริมาณกากตะกอน

2.3 กระบวนการระบบจ่าย เมื่อน้ำใสผ่านกระบวนการฆ่าเชื่อโรคแล้วจะถูกสูบส่งขึ้นสู่ถังสูงเพื่อเตรียมจ่ายเข้าสู่เส้นท่อ โดยจะมีข้อมูลการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และปริมาตรการสูบน้ำจ่าย



รูปที่ 2 ไดอะแกรมจุดการเก็บข้อมูลระบบผลิตน้ำประปาผิวดิน

3. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิต

นำข้อมูลทั้งหมดที่เก็บรวบรวมทำการรวมข้อมูลและใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการบันทึกและแปรผล โดยสูตรการคำนวณตาม สมการ (1) และสมการ (2) โดยใช้ค่า Emission Factor จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า Emission Factor

ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)	ไฟฟ้าแบบ grid mix ปี 2016-2018; LCIA method IPCC 2013	kWh	0.5986	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA
Chlorine	Chlorine, gaseous, diaphragm cell, at plant	Kg	1.0548	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007
สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$)	Aluminum sulphate, powder, at plant	Kg	0.5311	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007
Lime ($Ca(OH)_2$)	Lime, hydrated, packed, at plant	Kg	0.782	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007
กากตะกอน	การจัดการตะกอนแหงที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำประปา (Sludge)	Kg	0.0339	แผนงานการวัดและประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ของ การประปาส่วนภูมิภาค

$$CO_{2i} = \text{Activity Data}_i \text{ (AD) X Emission Factor}_i \text{ (EF)} \quad (1)$$

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum_{i=1}^{n} CO_{2i} \quad (2)$$

โดยที่ CO_2 Emissions = รวมปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($kgCO_2e$)
CO_{2i} = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกิจกรรม ($kgCO_2e$)
Activity Data$_i$ (AD) = ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (หน่วย, m^3)
Emission Factor$_i$ (EF) = ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยของกิจกรรม ($kgCO_2e$/หน่วย)

4.การแปรผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

จากการนำข้อมูลที่ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ โดยโปรแกรม Microsoft Excel บันทึกและแปรผล โดยสูตรการคำนวณตามสมการ (1) และสมการ (2) โดยใช้ค่า Emission Factor จากตารางที่ 1 จะทราบถึงปริมาณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เทียบเท่า ของผลิตภัณฑ์น้ำประปา ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อเป็นข้อมูลไว้ในการแปรผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระบบผลิตน้ำประปาต่อไป

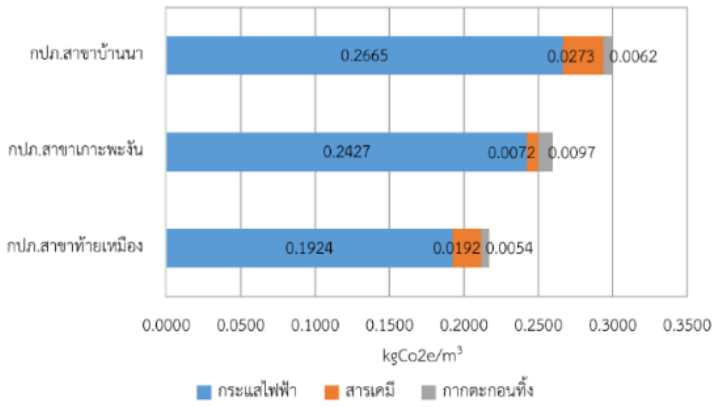
ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระบบผลิตน้ำประปาโดยวิเคราะห์ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระบบผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค 2 รูปแบบ ประกอบด้วย ระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional plant) เปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป (Mobile Plant)

โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไปสามารถแสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3 ซึ่งพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไปมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.2339 $kgCO_2e/m^3$ การใช้สารเคมีมีค่าเท่ากับ 0.0179 $kgCO_2e/m^3$และกากตะกอนทิ้งมีค่าเท่ากับ 0.0071 $kgCO_2e/m^3$ โดยปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม มีค่าเท่ากับ 0.2589 $kgCO_2e/m^3$

ตารางที่ 2 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional plant)

รายการ	ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์			
	พลังงาน ($kgCO_2e/m^3$)	สารเคมี ($kgCO_2e/m^3$)	กากตะกอนทิ้ง ($kgCO_2e/m^3$)	รวม ($kgCO_2e/m^3$)
กปภ.สาขาท้ายเหมือง	0.1928	0.0192	0.0054	0.2169
กปภ.สาขาเกาะพะงัน	0.2478	0.0072	0.0097	0.2597
กปภ.สาขาบ้านนา	0.2673	0.0273	0.0062	0.3000
ค่าเฉลี่ย	0.2339	0.0179	0.0071	0.2589

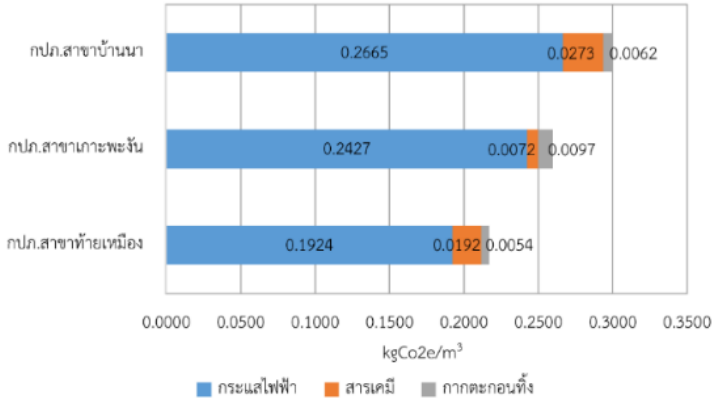


รูปที่ 3 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้ำประปาระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional Plant)

ส่วนปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูปมีผลแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4 โดยมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระบบจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.2897 $kgCO_2e/m^3$ การใช้สารเคมีมีค่าเท่ากับ 0.0300 $kgCO_2e/m^3$ และจากกากตะกอนทิ้งมีค่าเท่ากับ 0.0124 $kgCO_2e/m^3$ โดยปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ รวมของน้ำประปาของระบบผลิตน้ำประปาผิวดินแบบ Mobile Plant มีค่าเท่ากับ 0.3321 $kgCO_2e/m^3$

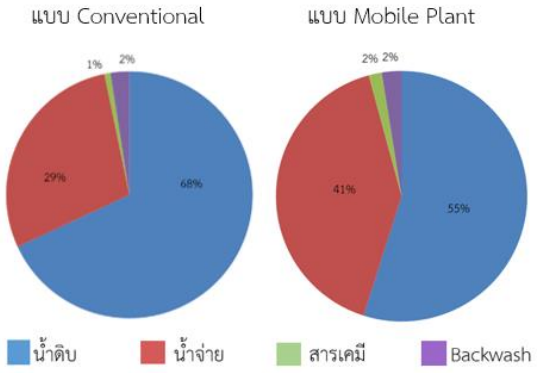
ตารางที่ 3 รวมปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป (Mobile Plant)

รายการ	ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์			
	พลังงาน ($kgCO_2e/m^3$)	สารเคมี ($kgCO_2e/m^3$)	กากตะกอนทิ้ง ($kgCO_2e/m^3$)	รวม ($kgCO_2e/m^3$)
กปภ.สาขาท้ายเหมือง	0.2249	0.0354	0.0070	0.2673
กปภ.สาขาเกาะพะงัน	0.3417	0.0126	0.0244	0.3786
กปภ.สาขาบ้านนา	0.3024	0.0420	0.0059	0.3504
ค่าเฉลี่ย	0.2897	0.0300	0.0124	0.3321



รูปที่ 4 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้ำระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป (Mobile Plant)

จากการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงาน รูปที่ 5 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบผลิตน้ำประปา พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานที่ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดของระบบ ผลิตน้ำประปาผิวดิน เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไปคิดเป็นสัดส่วน 68% ในขณะที่ระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูปมีสัดส่วน 55% รองลงมาคือการใช้ไฟฟ้าในการสูบจ่ายน้ำระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไปมีสัดส่วน 29% และระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูปมีสัดส่วน 41% ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการล้างกรองระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป และ ระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูปใกล้เคียงกันคือ 2% และปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้สารเคมีของระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไปคิดเป็น 1% และ ระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูปเท่ากับ 2%



รูปที่ 5 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบผลิตน้ำประปา

สรุป

การปลดปล่อยคาร์บอนฟุตฟริ้นของระบบผลิตน้ำประปาแบบมาตรฐานทั่วไป (Conventional Plant) มีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตฟริ้นท์ต่ำกว่าระบบผลิตน้ำประปาแบบสำเร็จรูป (Mobile Plant) ประมาณร้อยละ 25 และการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตฟริ้นท์ส่วนใหญ่ในระบบผลิตทั้งสองแบบมาจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำเพื่อการผลิต เมื่อการวิเคราะห์สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าระบบผลิตทั้งสองแบบ พบว่ามีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการสูบน้ำดิบมากที่สุดพลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 55-68 รองลงมาคือการจ่ายน้ำเข้าสู่ถังเก็บกักร้อยละ 29-41 โดยการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำจากการล้างย้อนและการใช้สารเคมีมีสัดส่วนต่ำเพียงร้อยละ 1-2 โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางในการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการประปาส่วนภูมิภาค และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change.2023. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.

[2] Rothausen, S., Conway, D., 2011.Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. Nat. Clim. Change, 1, 210-219.

[3] Biswas, W.K., Yek, P., 2016. Improving the carbon footprint of water treatment with renewable energy: a Western Australian case study. Renewables, 3, 14.

[4] Kyung D., Kim, D., Park, N., Lee W., 2013. Estimation of CO_2 emission from water treatment plant-model development and application. J. Environ. Manag. 131, 74-81.

[5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). 2563. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. https://www.tgo.or.th.

[6] INCOPA. 2014. Life cycle analysis of leading coagulants: executive summary. https://www.incopa.org.

10R2-03

การประเมินคุณภาพน้ำ บริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออก จังหวัดปทุมธานี สู่โปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน

Enhancing youth awareness of local environment and climate change by developing context-based environmental learning program on water quality assessment in East Pathum Thani, Thailand.

สิรีพัชร จีนสิน[1*] ศิรประภา ศรีสุพรรณ[2] อรทัย สุราฤทธิ์[1] วิสูจน์ สุพงษ์[1] และปพิชญา เตียวกุล[3]
Sireepus Jeensin[1*] Siraprapah Srisupan[2] Oratai Surarit[1] Wisoot Supong[1] and Papitchaya Teawkul[3]
[1*]นักวิชาการ สำนักวิชาการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ จ.ปทุมธานี 12120
[2]นักสื่อสารวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ศูนย์พัฒนาความตระหนักแห่งชาติ องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ จ.ปทุมธานี12120
[3]อาจารย์ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์ : 0 2577 9999 ต่อ 1625, E-mail : sireepus@nsm.or.th

บทคัดย่อ

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญ สำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และทรัพยากรน้ำสามารถแสดงออกถึงผลกระทบจากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ร่วมกับการใช้ประโยชน์ของที่ดิน แล้วนำไปจัดทำโปรแกรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานฯ มุ่งเน้นให้เยาวชนในพื้นที่ทราบถึงที่มาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ ก่อให้เกิดความตระหนักต่อพฤติกรรมการใช้ชีวิต ตลอดจนสามารถคิดวิเคราะห์ เชื่อมโยง การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในพื้นที่ กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำร่วมกับการใช้ประโยชน์ของที่ดิน บริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออก จังหวัดปทุมธานี พบว่า การประเมินคุณภาพน้ำกับการใช้ประโยชน์ของที่ดินในบริเวณคลองสามชุมชนและคลองสามเกษตรมีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่มีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องมากที่สุด โดยมีการปนเปื้อนจากการซักล้างของชุมชน และปุ๋ยทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ จากนั้นนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปจัดทำโปรแกรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานฯ มีผู้นำเยาวชนจำนวน 109 คน จาก 3 โรงเรียนในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี โดยมีกระบวนการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรู้จักพื้นที่ รับรู้ปัญหา วิเคราะห์เชื่อมโยง สำรวจปัญหา และขยายผล ผู้นำเยาวชนที่เข้าร่วมมีความรู้ความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมฯ (Pre-test) 57-65% หลังเข้าร่วมโปรแกรมฯ (Post-test) มีความรู้ความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 71-79 %

คำสำคัญ : คุณภาพน้ำ; โปรแกรมการเรียนรู้; การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ; จังหวัดปทุมธานี

Abstract

Water is one of the most essential resources for life; however, climate change has led to critical changes in its quality. This study aims to explore the relation between water quality and usage statistics, then develop an environmental education curriculum for youths based on the findings. The curriculum invites learners to examine the causes of changes in water quality in their communities, which may inspire environmental awareness and hone their critical thinking and analysis skills by making connections between water quality and climate change.

In preliminary studies on water quality and usage in East Pathum Thani, the researchers found that the Klong Sam Residential and Klong Sam Agricultural areas had the highest amount of water usage, as well as domestic wastewater and agricultural runoff from fertilizers. This data was used as a case study for developing an environmental education curriculum for students, designed with a context-based learning framework. A total of 109 youth leaders from three schools in Pathum Thani participated in the curriculum. The program consists of five parts: 1) Understanding the Area, 2) Understanding the Problems, 3) Preliminary Analysis, 4) Investigating the Problem, and 5) Magnifying the Outcomes. The researchers conducted pre- and post-tests to test the learners' environmental awareness on local issues related to climate change. Overall, the pre-test scores had a range of 57–65% and the post-test scores had a range of 71–79%.

Keywords : water quality; learning program; climate change; Pathum Thani

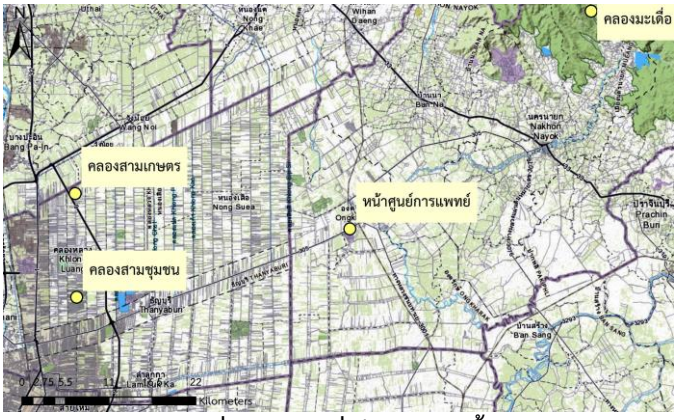
บทนำ

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญ สำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด (Kılıç, Z., 2020. [1]) และน้ำเป็นหนึ่งในทรัพยากรทางธรรมชาติ ที่แสดงออกถึงผลกระทบจากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน จากการสังเกตลักษณะของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะลักษณะทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างของน้ำมาศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะสามารถทราบถึงที่มาของความแตกต่างของคุณภาพน้ำในแต่ละบริเวณ ประกอบกับการนำมาวิเคราะห์ร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์จะทำให้ทราบถึงที่มาของผลกระทบได้อย่างชัดเจน ในปัจจุบันนี้มีงานวิจัยมากมาย ที่แสดงให้เห็นว่าสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรน้ำ และคุณภาพน้ำ (Jacob, et al. ,2013. [2])

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ร่วมกับการใช้ประโยชน์ของที่ดิน แล้วนำไปจัดทำโปรแกรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานฯ (BALABAN, H., 2023. [3]) มุ่งเน้นให้เยาวชนในพื้นที่ทราบถึงที่มาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ ซึ่งล้วนแล้วเกิดจากพฤติกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ก่อให้เกิดความตระหนักต่อพฤติกรรมการใช้ชีวิต ตลอดจนสามารถคิดวิเคราะห์เชื่อมโยง การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในพื้นที่ กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การประเมินคุณภาพน้ำกับการใช้ประโยชน์ของพื้นที่เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี ทั้งหมด 4 บริเวณ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยบริเวณที่ศึกษาทั้งหมดเป็นแหล่งน้ำไหล พารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในรัศมี 1 กิโลเมตร ในแต่ละจุดสำรวจโดยใช้โปรแกรม QGIS



รูปที่ 1 บริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ตรวจวัดภาคสนามด้วย Multiparameter Waterproof Meter (Hanna instruments)
อุณหภูมิ (Temperature)	
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen Demand)	
ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen)	Brucine method by Spectrophotometer Colorimetric Method (United States Environmental Protection Agency, 1971 [4])
ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (Phosphate - Phosphorus)	Ascorbic Method (United States Environmental Protection Agency ,1978 [5])

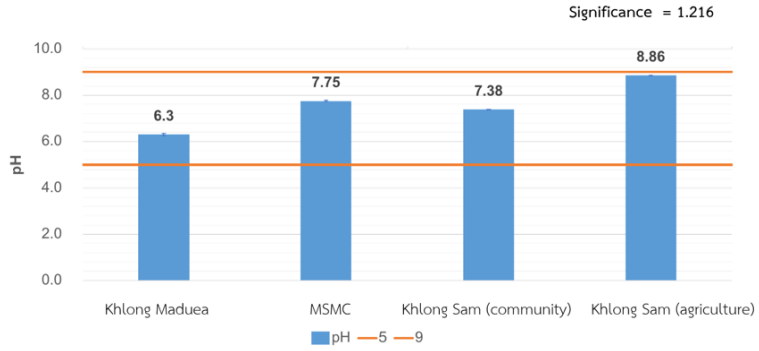
2. โปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน บริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออก จังหวัดปทุมธานี

โดยได้นำไปจัดทำเป็นโปรแกรมการจัดการเรียนรู้ฯ กับเยาวชนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (ม.1-ม.3) เพื่อศึกษาผลความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับเยาวชนในโรงเรียนจำนวน 3 โรงเรียน มีจำนวนผู้นำเยาวชน 109 คนที่เข้าร่วม โดยใช้แบบสอบถาม แบบวัดความรู้ แบบสังเกตและแบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา และทดสอบค่า t-test จากกลุ่มตัวอย่างแบบ One Group Pretest - Posttest Design

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดำเนินการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำทางเคมีทั้งหมด 4 จุด บริเวณคลองมะเดื่อ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก หน้าศูนย์การแพทย์ สมเด็จพระเทพฯ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก และบริเวณคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี คลองสามจะทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ 2 จุด โดยแต่ละจุดจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเดือนกุมภาพันธ์ 2564 และมีการตรวจวิเคราะห์ทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

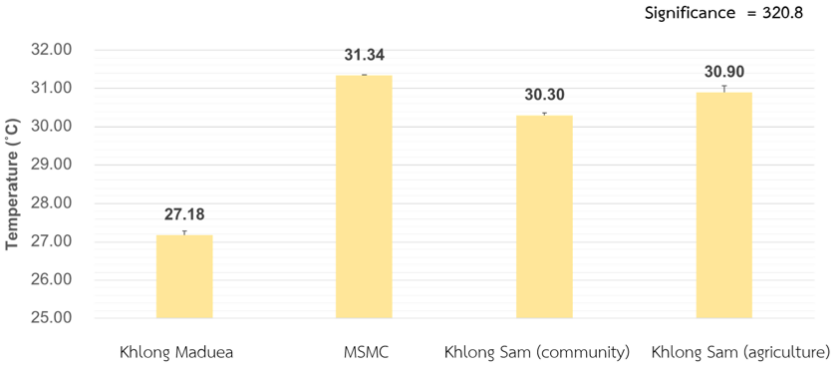
1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ผลการศึกษาแสดงดังกราฟแผนภูมิแท่ง รูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าบริเวณคลองมะเดื่อมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำที่สุด และบริเวณคลองสามฝั่งเกษตรมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างสูงสุด ซึ่งความเป็นกรด-ด่างนี้สามารถเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำ สามารถแสดงถึงสารมลพิษที่ปนเปื้อน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2545 [6]) ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างในน้ำของทุกบริเวณที่ทำการศึกษา 4 จุด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F= 1.21$, $p <.001$) ทั้งนี้ค่าทุกจุดในการสำรวจไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

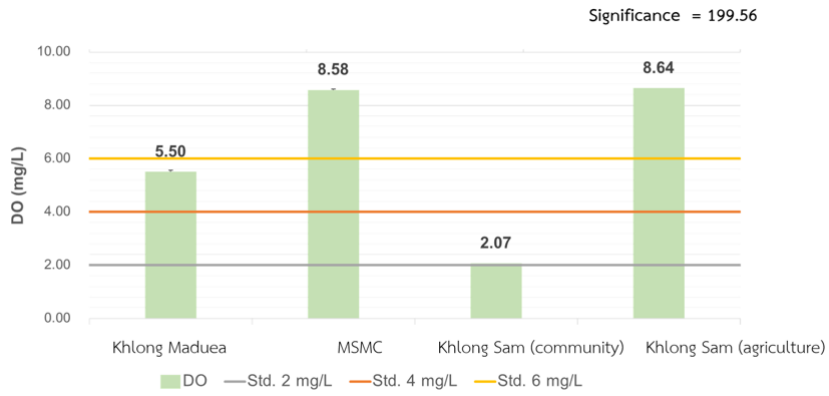
1.2 อุณหภูมิ (Temperature) ผลการศึกษาแสดงดังกราฟแผนภูมิแท่ง รูปที่ 3



รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 3 อุณหภูมิของน้ำในบริเวณที่ศึกษาทั้ง 4 บริเวณมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณคลองมะเดื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F=320.8$, $p <.001$)

1.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen Demand) ผลการศึกษาแสดงดังกราฟแผนภูมิแท่ง รูปที่ 4

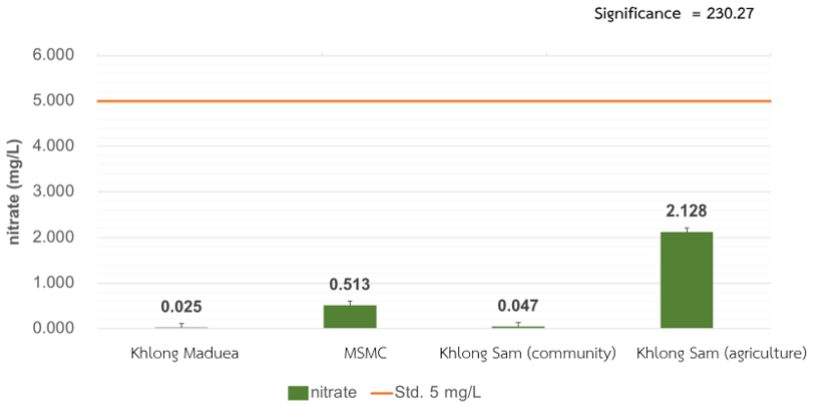


รูปที่ 4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 4 คลองสามฝั่งชุมชนมีปริมาณค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากน้ำในบริเวณดังกล่าวมีกระแสน้ำนิ่ง มีสี กลิ่น และคราบน้ำมัน จากการทิ้งขยะ ส่วนในบริเวณคลองสามฝั่งการเกษตร และหน้าศูนย์การแพทย์ฯ นั้นมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูง อาจเนื่องมาจากกระแสน้ำในบริเวณดังกล่าวเป็นน้ำไหลจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมาก

และบริเวณคลองมะเดื่อ มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 5.5 มิลลิกรัม/ลิตร อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำ น้ำในบริเวณดังกล่าวเริ่มแห้ง เข้าสู่ช่วงปลายฤดูหนาว มีการอัตราการไหลที่น้อย ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563 [7]) พบว่า บริเวณคลองสามฝั่งชุมชนมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 4 คือมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 2.07 มิลลิกรัม/ลิตร บริเวณคลองมะเดื่อมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 5.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนบริเวณคลองสามฝั่งเกษตร และหน้าศูนย์การแพทย์ฯ มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 คือมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย 8.64 และ 8.58 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่สำรวจมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($F = 199.5$, $p < .001$)

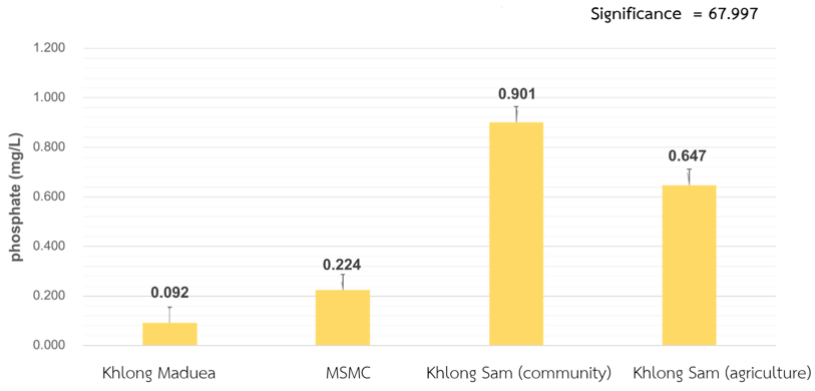
1.4 ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen) ผลการศึกษาแสดงดังกราฟแผนภูมิแท่ง รูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าคลองมะเดื่อมีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน อยู่ในน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือบริเวณคลองสามฝั่งชุมชน ที่พบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน น้อยเป็นอันดับที่ 2 และบริเวณหน้าศูนย์การแพทย์ฯ ที่พบปริมาณปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน น้อยเป็นอันดับที่ 3 ส่วนบริเวณคลองสามเกษตร มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของบริเวณที่ได้ทำการศึกษามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563 [7]) จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่สำรวจมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($F = 230.27$,$p < .001$)

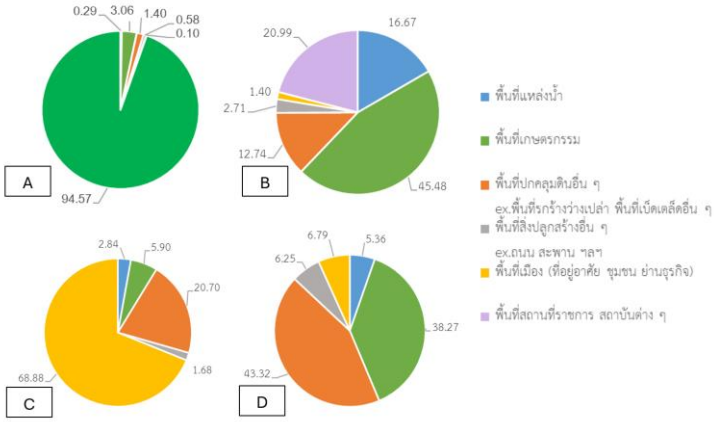
1.5 ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (Phosphate - Phosphorus) ผลการศึกษาแสดงดังกราฟแผนภูมิแท่ง รูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำจากคลองมะเดื่อมีปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสน้อยที่สุด รองลงมาคือบริเวณหน้าศูนย์การแพทย์ฯ บริเวณคลองสามฝั่งเกษตร และบริเวณคลองสามชุมชนตามลำดับ บริเวณจุดสำรวจคลองสามบริเวณใกล้เคียงชุมชนพบปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดสำรวจอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส นั้นยังไม่มีการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563 [7]) ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในแต่ละพื้นที่สำรวจมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($F = 67.7$ $p < .001$)

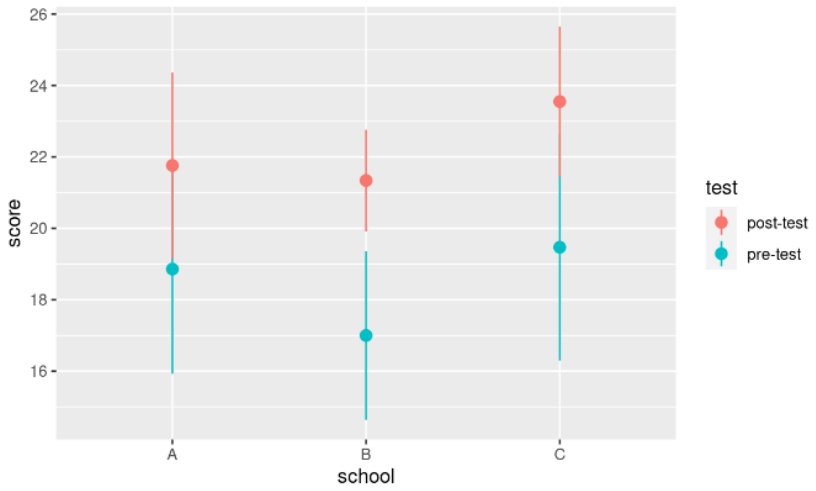
การประเมินคุณภาพน้ำกับการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินในรัศมี 1 กิโลเมตร โดยใช้โปรแกรม QGIS ในการทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ประกอบกับการคำนวณสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ในแต่ละบริเวณแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ที่ดิน A. บริเวณคลองมะเดื่อ B. บริเวณหน้าศูนย์แพทย์ฯ C. บริเวณคลองสามชุมชน D. บริเวณคลองสามเกษตร

จากรูปที่ 7 พบว่าในบริเวณคลองสามชุมชนและคลองสามเกษตรมีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่โดยมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องมากที่สุด จึงส่งผลให้บริเวณคลองสามเกษตร ที่มีเปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร 38.27% มีปริมาณค่าเฉลี่ยของไนเตรท-ไนโตรเจนมากที่สุด และในบริเวณคลองสามชุมชน ที่มีเปอร์เซ็นการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เมือง 68.88% มีปริมาณค่าเฉลี่ยฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมากที่สุด เพราะฉะนั้นการประเมินคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ต่าง ๆ จึงมีความสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ของที่ดิน

2. โปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานฯ เก็บข้อมูลทั้งหมด 3 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา กรุงเทพมหานคร โรงเรียนหนองเสือวิทยาคม และโรงเรียนธัญรัตน์ โดยมีกระบวนการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรู้จักพื้นที่ รับรู้ปัญหา วิเคราะห์เชื่อมโยง สำรวจปัญหา และขยายผล คะแนนผลการทดสอบการเรียนรู้ก่อนและหลังของนักเรียนแสดงดังรูปที่ 8 โดยใช้ทดสอบสมมติฐานสถิติ (T-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยคะแนนผลการรับรู้ก่อนและหลังเข้าร่วมโปรแกรมฯ A โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา กรุงเทพมหานคร B โรงเรียนหนองเสือวิทยาคม C โรงเรียนธัญรัตน์

จากรูปที่ 8 โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา กรุงเทพมหานคร โรงเรียนหนองเสือวิทยาคม และโรงเรียนธัญรัตน์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนการเข้าร่วมโปรแกรมฯ 18.9 , 17.0 และ 19.5 คะแนนตามลำดับจากคะแนนเต็ม 30 คะแนน หลังเข้าร่วมโปรแกรมฯ โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา กรุงเทพมหานคร โรงเรียนหนองเสือวิทยาคม และโรงเรียนธัญรัตน์ มีค่าเฉลี่ยคะแนน 21.7, 21.3 และ 23.5 คะแนนตามลำดับจากคะแนนเต็ม 30 คะแนน ซึ่งพบว่าหลังจากเข้าร่วมโปรแกรมฯ ผู้นำเยาวชนมีความรู้ความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพิ่มขึ้น

จากการเข้าร่วมโปรแกรมฯ มีระยะเวลาการเข้าร่วมทั้งหมด 2 วัน ซึ่งจากการสังเกตการณ์ตอบสนองของการสื่อสารผู้นำเยาวชนพบว่า ในวันที่ 2 ของการเข้าร่วมโปรแกรมฯ ผู้นำเยาวชนจะสามารถยกตัวอย่างปัญหาของคุณภาพในบริเวณที่ตัวเองอยู่อาศัย เชื่อมโยงปัญหาของคุณภาพน้ำที่ไม่ดี กับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้จากการอธิบายในการเข้าร่วมโปรแกรมฯ ในวันที่ 2

สรุป

การจัดทำโปรแกรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานฯ มีผู้นำเยาวชนจำนวน 109 คนเข้าร่วมจากทั้งหมด 3 โรงเรียนในจังหวัดปทุมธานี มีความรู้ความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก่อนการเข้าร่วม (Pre-test) 57-65% หลังเข้าร่วมโปรแกรมฯ (Post-test) มีความรู้ความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 71-79 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ : โปรแกรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริมความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นสัมพันธ์กับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเยาวชน เขตพื้นที่ จังหวัดปทุมธานี ได้รับทุนวิจัยโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ขอขอบคุณคณะอาจารย์และผู้นำเยาวชนจากโรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา กรุงเทพมหานคร โรงเรียนหนองเสือวิทยาคม และโรงเรียนธัญรัตน์

เอกสารอ้างอิง

[1] Kılıç, Z. (2020) The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239-241

[2] Jacob Schewea, Jens Heinkea,b, Dieter Gertena et al. (2013). “Multimodel Assessment of Water Scarcity under Climate Change.” PNAS 111(9): 3245–50

[3] BALABAN, H. (2023). The Effect of Context-Based Approach on Gifted Students’ Understanding the Topic of Global Warming. *Journal of Computer and Education Research*, 11(22), 572-595

[4] United States Environmental Protection Agency (1971). Method 352.1: Nitrogen, Nitrate (Colorimetric, Brucine) by Spectrophotometer. Retrieved May 10, 2023, from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_352-1_1971.pdf.

[5] United States Environmental Protection Agency (1978). Method 365.3: Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent). Retrieved May 10, 2023, from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_365-3_1978.pdf

[6] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

[7] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537). กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งผิวดิน. สืบค้น 5 พฤษภาคม 2566. จาก https://www.pcd.go.th/laws/4168

10R2-04

การออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิด

Design of Hydrocyclone for Suspended Solid Separation from Recirculating Aquaculture System

ณัฐพันธ์ ทวีกสิกรรม[1*] เพ็ญพิชา สท้านวัตร[2] สรวิศ เผ่าทองศุข[3] และวิบูลย์ลักษ์ พึ่งรัศมี[4]
Nattapun Taweegasigum[1*] Penpicha Satanwat[2] Sorawit Powtongsook[3] and Wiboonluk Pungrasmi[4]
[1*]นิสิตบัณฑิตศึกษา; [4]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
[2]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 12120; [3]ผู้อำนวยการ กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพสัตว์น้ำแบบบูรณาการ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ปทุมธานี 12120
*โทรศัพท์ : 087-840-6933, E-mail : 6470028721@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาหลักการออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อประยุกต์ใช้ในการแยกตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดร่วมกับการสร้างตะกอนไบโอฟล็อคด้วยการเติมกากน้ำตาลที่สัดส่วน C:N เท่ากับ 10:1 เป็นเวลา 60 วัน เมื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ออกแบบไฮโดรไซโคลน พบว่าขนาดตัดของอนุภาคแขวนลอยเมื่อกำหนดประสิทธิภาพของไฮโดไซโคลนเท่ากับร้อยละ 95 จากกราฟแจกแจงร้อยละความถี่สะสม มีค่าเท่ากับ 11.2 (วันที่ 45) และ 7.64 (วันที่ 60) ไมครอน ความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย ความหนาแน่นของน้ำ ความหนืดของน้ำ และอัตราการไหลของน้ำขาเข้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,056.16 กก./ลบ.ม., 1,000 กก./ลบ.ม., 8×10^{-4} กก./ม.-วินาที และ 9.89×10^{-4} ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ จากนั้นเมื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้มาคำนวณหาขนาด และความยาวส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลนตามหลักการของ Bradley (1965) พบว่าที่ขนาดตัดอนุภาคเท่ากับ7.64 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน (D_C) ขนาดท่อทางเข้า (D_i) ท่อทางออกด้านบน (D_O) และท่อทางออกด้านล่าง (D_U) มีค่าเท่ากับ 2.36, 0.31, 0.47และ 0.16 ซม.ตามลำดับ ความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน (L) และความยาวท่อทางออกด้านบน (l) มีค่าเท่ากับ 16.14 และ 0.78 ซม. โดยมุมส่วนกรวย (θ) มีค่า 9 องศา ในส่วนของขนาดตัดอนุภาคเท่ากับ11.20 ไมครอน พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน ขนาดท่อทางเข้า ท่อทางออกด้านบน และท่อทางออกด้านล่าง มีค่าเท่ากับ 3.04, 0.40, 0.61 และ 0.21 ซม. ตามลำดับ ขณะที่ความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน และความยาวท่อทางออกด้านบน มีค่าเท่ากับ 20.80 และ 1.00 ซม. โดยมุมส่วนกรวย มีค่า 9 องศา

คำสำคัญ : ไบโอฟล็อค; ไฮโดรไซโคลน; ตะกอนแขวนลอย; ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิด

Abstract

This research investigated the principle design of hydrocyclone for application to separating suspended solid that was occurred from closed recirculating aquaculture systems with generating biofloc by adding molasses at C:N ratio of 10:1 for 60 days. The analysis of crucial parameters used to design hydrocyclone was found that the cut size diameter of suspended particle when defined the efficiency of hydrocyclone equaled to 95% from the cumulative frequency percentage distribution graph, the values were 11.2 (day 45) and 7.64 (day 60) μm. The particle density, liquid density, liquid viscosity, and feed flow rate were 1,056.16 kg/m^3, 1,000 kg/m^3, 8×10^{-4} kg/m-s, and 9.89×10^{-4} m^3/s, respectively. These parameters were calculated by the basis of Bradley's geometry to find diameter and length of hydrocyclone's sections. The

results showed that when the cut size diameter was 7.64 μm, the hydrocyclone diameter (D_C), feed inlet diameter (D_i), vortex finder diameter (D_O), apex diameter (D_U), hydrocyclone length (L), vortex finder length (l) and cone angle (θ) were 2.36, 0.31, 0.47, 0.16, 16.14, 0.78 cm and 9°, respectively. While at the cut size diameter was 11.20 μm, the hydrocyclone diameter, feed inlet diameter, vortex finder diameter, apex diameter, hydrocyclone length, vortex finder length and cone angle were 3.04, 0.40, 0.61, 0.21, 20.80, 1.00 cm and 9°, respectively.

Keywords : Biofloc; Hydrocyclone; Suspended solid; Recirculating aquaculture system

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีไบโอฟล็อค (Biofloc technology; BFT) ได้รับความนิยมในการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Recirculating aquaculture system; RAS) ภายใต้การควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการรวมกลุ่มของตะกอนจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนผ่านกระบวนการดูดซึม (Assimilation) และไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ตลอดจนช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตามการเดินระบบไบโอฟล็อคให้มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องควบคุมปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในรูปปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids; TSS) ให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ โดยทั่วไปมีค่าไม่เกิน 500 มก./ล. [1] เนื่องจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มากเกินไปจะย่อยสลายของเสียอินทรีย์ที่เกิดจากเศษอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำจนทำให้ปริมาณออกซิเจนในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว และส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ นอกจากนี้ตะกอนดังกล่าวอาจสะสมบริเวณเหงือกของสัตว์น้ำจนขัดขวางกระบวนการแลกเปลี่ยนออกซิเจน ทำให้สัตว์น้ำมีความอ่อนไหวต่อการติดเชื้อแบคทีเรียและปรสิตเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการดูดซึมสารอาหาร และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่ลดลง [2]

จากข้อความข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การควบคุมปริมาณไบโอฟล็อคและของแข็งแขวนลอยเป็นปัจจัยสำคัญในการเดินระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยปัจจุบันแนวทางหลักที่นิยมใช้ในการแยกตะกอนประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ (1) การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (2) การกรอง และ (3) การลอยตัวด้วยฟองอากาศ เป็นต้น แต่ละวิธีมีข้อดี-ข้อด้อยแตกต่างกัน แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการ เช่น พื้นที่จำกัดในการติดตั้ง การอุดตันบนวัสดุกรอง และความซับซ้อนในการเดินระบบ [3] ทำให้ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับประยุกต์ใช้ในการควบคุมปริมาณตะกอนไบโอฟล็อคในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เนื่องจากไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแยกอนุภาคแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำงานของไฮโดรไซโคลนจะอาศัยหลักการแยกตามแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) โดยของผสมที่ถูกจ่ายเข้าไปในไฮโดรไซโคลนต้องมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน อนุภาคขนาดใหญ่และ/หรือมีความหนาแน่นมากกว่าจะไหลออกทางท่อทางออกด้านล่าง (Underflow) ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กและ/หรือมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะไหลออกทางท่อทางออกด้านบน (Overflow) [4] สำหรับข้อดีของการแยกตะกอนด้วยไฮโดรไซโคลน ได้แก่ ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบสั้น ประหยัดพื้นที่ติดตั้ง และการติดตั้งง่ายไม่ยุ่งยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาหลักการออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อประยุกต์ใช้ในการแยกตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดด้วยระบบไบโอฟล็อค เพื่อควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

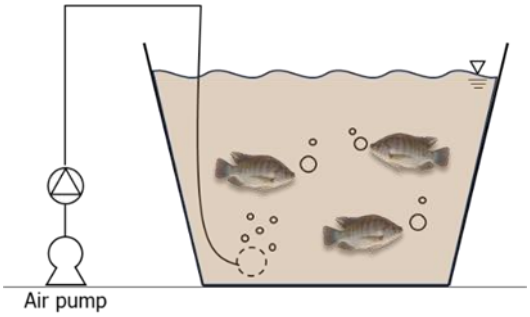
อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาหลักการออกแบบของไฮโดรไซโคลนสำหรับการแยกตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดด้วยระบบไบโอฟล็อค โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การเตรียมปลานิลและสร้างตะกอนไบโอฟล็อคสำหรับบ่อทดลอง

เลี้ยงปลานิล *(Oreochromis niloticus)* ในบ่อพลาสติกปริมาตร 500 ล. ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 1 กก./ลบ.ม. (ดังรูปที่ 1) ให้อาหารปลาที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 16 ในอัตราส่วนร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักปลานิลต่อวัน เติมอากาศภายในบ่อตลอดเวลา โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วง 6–8 มก./ล. ควบคู่กับการควบคุมค่าสภาพด่างในช่วง 100–150 มก./ล.

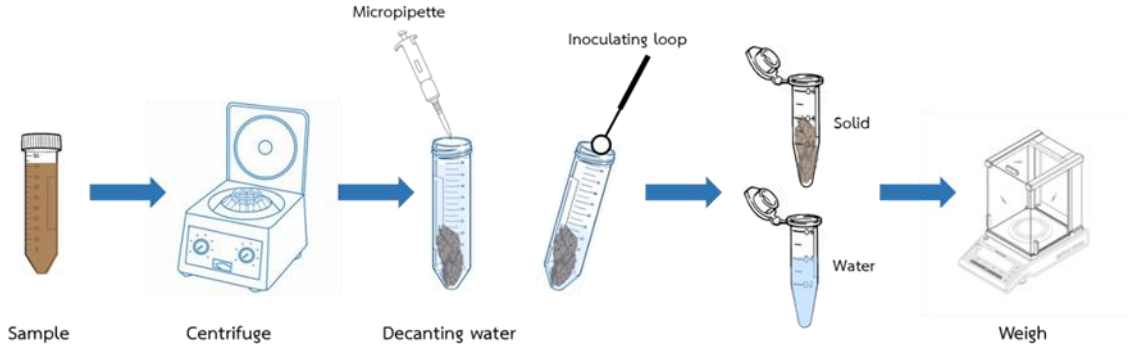
ของแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต หลังจากเลี้ยงปลาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จึงเติมกากน้ำตาลที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 46.33 เพื่อเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนสำหรับกระตุ้นการสร้างตะกอนไบโอฟล็อคในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10:1 เทียบกับปริมาณไนโตรเจนในรูปอาหารปลา และหยุดเติมเมื่อพบว่ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบมากกว่า 500 มก./ล. ทำการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟล็อคต่อเนื่องภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นเวลา 60 วัน



รูปที่ 1 การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟล็อค
Figure 1 Tilapia cultivation in the BFT

การวิเคราะห์พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบไฮโดรไซโคลน

เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนไบโอฟล็อคทุกๆ 15 วันระหว่างการทดลองลงในขวดพลาสติกปริมาตร 600 มล. เพื่อส่งวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนด้วยเครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer; Maztersizer 3000 และทดสอบความหนืดของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยเครื่อง Viscometer รุ่น SV-10 A&D ตามลำดับ สำหรับความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอยทำการวิเคราะห์ดังรูปที่ 2 ด้วยเทคนิค 2710F. Specific Gravity ตามวิธีมาตรฐานใน Standard Methods 23rd Edition (2017) [5] โดยบรรจุน้ำตัวอย่างลงในหลอดแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 30 นาที กำหนดความเร็วรอบการหมุนเท่ากับ 12,000 รอบ/นาที [6] ทิ้งส่วนน้ำใสและบรรจุชั้นตะกอนลงในหลอดเซนติฟิวก์ให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 0.5 มล. แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับหลอดที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เพื่อวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะด้วยการเทียบมวลของตะกอนแขวนลอยต่อน้ำหนักของน้ำกลั่นที่ปริมาตรเท่ากับตะกอน นำค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย สำหรับการทดสอบอัตราการไหลของน้ำขาเข้าไฮโดรไซโคลนจะทำการต่อท่อพีวีซี วาว์ล และข้อต่อต่างๆ เข้ากับเครื่องสูบน้ำขนาด 5,000 ล./ชม. โดยหาอัตราการไหลเฉลี่ยที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที จากนั้นรายงานผลค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี One-way analyses of variance (ANOVA) และDuncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS (Version 22; IBM, New York, USA)



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของตะกอนแขวนลอย
Figure 2 The analysis of particle density

การคำนวณร้อยละความถี่สะสมและสร้างกราฟแจกแจงความถี่สะสม

จากผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของตะกอนไบโอฟล็อค นำค่าร้อยละความถี่ของขนาดอนุภาคนั้นๆ มาสร้างชั้นร้อยละความถี่สะสมลำดับที่ 1 นำค่าความถี่ลำดับที่ 1 บวกกับค่าความถี่ลำดับที่ 2 จะได้เป็นค่าร้อยละความถี่สะสมลำดับที่ 2 สำหรับร้อยละความถี่สะสมของลำดับชั้นถัดไปให้บวกสะสมกับค่าร้อยละความถี่สะสมของชั้นก่อนหน้าไปเรื่อยๆ จนได้ค่าความถี่สะสมที่มีค่าเข้าใกล้ร้อยละ 100 จากนั้นนำค่าร้อยละความถี่สะสม (แกน Y) และขนาดอนุภาค (แกน X) มาสร้างกราฟแจกแจงความถี่สะสม กราฟดังกล่าวจะใช้กำหนดประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลนในการแยกอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดตัด (Cut size diameter; X_{50}) [7] ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน

การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน

นำขนาดตัดเชิงอนุภาค ความหนาแน่นอนุภาคแขวนลอย ความหนาแน่นของน้ำ ความหนืดของน้ำ และอัตราการไหลของน้ำขาเข้า มาคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนตามหลักการของ Bradley (1965) [8] ดังสมการที่ (1)

$$X_a = \left[\frac{D_C^3 \mu}{Q\left(\rho_p - \rho_l\right)}\right]^{0.5} \quad (1)$$

โดย x_a คือ ขนาดตัดของอนุภาค (ไมครอน) C คือ ค่าคงที่ในการออกแบบไฮโดรไซโคลนของ Bradley (1965) มีค่าเท่ากับ 17.6×10^{-3} D_C คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน (มม.) μ คือ ความหนืดของน้ำ (กก./ม.-วินาที) Q คืออัตราการไหลของน้ำขาเข้าไฮโดรไซโคลน (ลบ.ม./วินาที) ρ_p คือ ความหนาแน่นของตะกอนแขวนลอย (กก./ลบ.ม.) และ ρ_l คือความหนาแน่นของน้ำ (1,000 กก./ลบ.ม.)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย ความหนืดของน้ำ และอัตราการไหลของน้ำขาเข้า

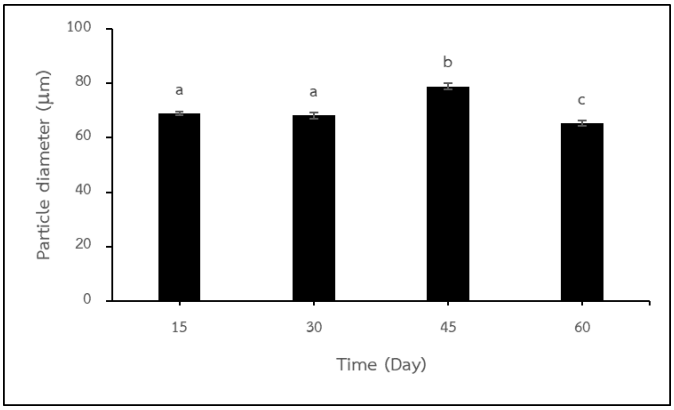
ผลของการวิเคราะห์ความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย และความหนืดของน้ำ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลานิลทั้งหมด 60 วัน พบว่าความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,056.16±237.16 กก./ลบ.ม. และความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 25 °ซ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8×10^{-4}±0.00 กก./ม.-วินาที สำหรับอัตราการไหลของน้ำขาเข้าที่ได้จากการวัดปริมาตรน้ำที่ไหลออกจากเครื่องสูบน้ำ พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.89×10^{-4}±0.00 ลบ.ม./วินาที แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบไฮโดรไซโคลน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความหนาแน่นของอนุภาคแขวนลอย (กก./ลบ.ม.)	1,056.16±237.16
ความหนืดของน้ำ (กก./ม.-วินาที)	8×10^{-4}±0.00
อัตราการไหลของน้ำขาเข้า (ลบ.ม./วินาที)	9.89×10^{-4} ±0.00
ความหนาแน่นของน้ำ (กก./ลบ.ม.)	1,000

ขนาดตัดของอนุภาคแขวนลอย

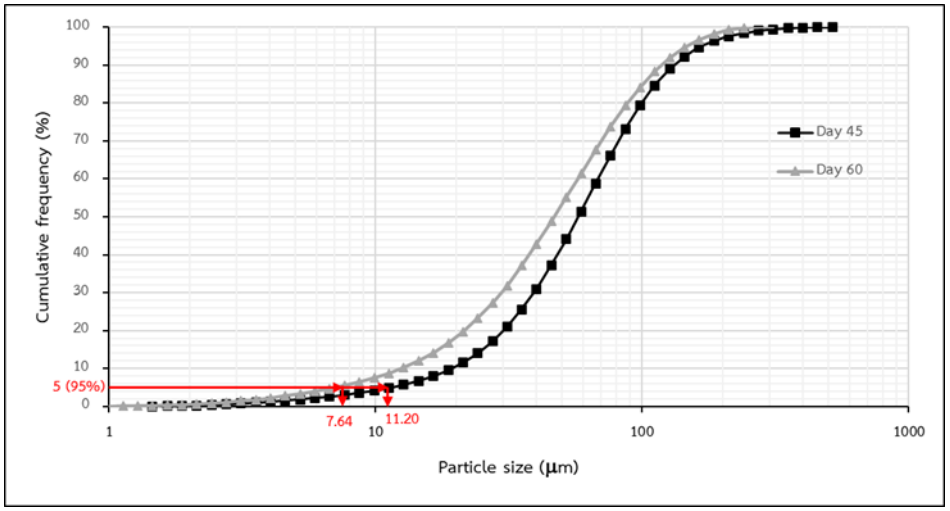
เมื่อวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคแขวนลอยภายในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟล็อคในวันที่ 15, 30, 45 และ 60 พบว่าอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 68.90±1.2, 68.17±1.01, 78.90±0.98, และ 65.37±0.15 ไมครอน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดของอนุภาคแขวนลอยในวันที่ 15, 30, 45 และ 60 ของการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟล็อค โดยตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อ $p < 0.05$

Figure 3 Particle size of suspended particles at day 15, 30, 45, and 60 of Tilapia cultivation in the BFT. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$.

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของอนุภาคแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 65–80 ไมครอน ซึ่งมีขนาดต่ำกว่าที่รายงานไว้ในงานวิจัยของ สุตา คุณวงศ์ (2559) [9] ที่พบว่าอนุภาคแขวนลอยภายในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟล็อคส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 100–150 ไมครอน ซึ่งขนาดของอนุภาคแขวนลอยที่แตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากชนิดของแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้ในการสร้างตะกอน และความหนาแน่นของปลานิล เป็นต้น นอกจากนี้ผลงานวิจัยนี้พบว่า ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคแขวนลอยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในวันที่ 45 และ 60 (78.90±0.98 และ 65.37±0.15 ไมครอน ตามลำดับ) ในขณะที่งานวิจัยของสุตา คุณวงศ์ (2559) [9] พบว่าอนุภาคแขวนลอยมีขนาดเฉลี่ยใกล้เคียงกันในวันที่ 45 และ 60 (106.67±4.51 และ 106.00±2.00 ไมครอน ตามลำดับ) ด้วยเหตุนี้การสร้างกราฟแจกแจงร้อยละความถี่สะสมของอนุภาคที่ขนาดต่างๆ จึงเลือกใช้ข้อมูลขนาดและการกระจายของตะกอน ณ วันที่ 45 และ 60 เพื่อให้ได้ช่วงการออกแบบไฮโดรไซโคลนที่ครอบคลุมขนาดอนุภาคแขวนลอยที่พบในบ่อเลี้ยงปลานิลร่วมกับระบบไบโอฟล็อค ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดตัดของอนุภาค 2 ขนาด เมื่อกำหนดให้ร้อยละความถี่สะสมหรือประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลนทั้งสองกราฟมีค่าเท่ากันคือร้อยละ 95ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขนาดตัดของอนุภาคแขวนลอยที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้ไฮโดรไซโคลนมีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนร้อยละ 95

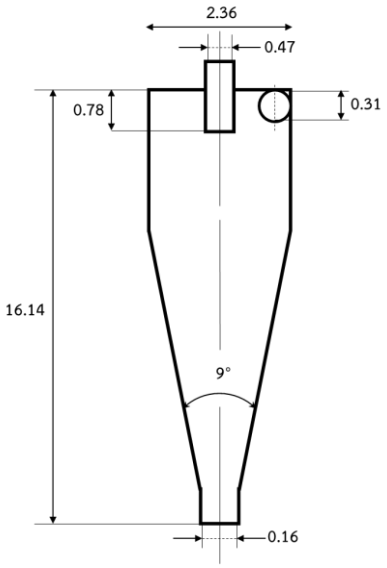
Figure 4 Cut size diameter used in the design of the hydrocyclone for a separation efficiency of 95%.

ขนาด และความยาวส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลน

จากรูปที่ 4 ขนาดตัดของอนุภาคแขวนลอยในวันที่ 45 และ 60 ที่ประสิทธิภาพรวมของไฮโดรไซโคลนร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 11.20 และ 7.64 ไมครอน เมื่อนำขนาดตัด ความหนาแน่นของอนุภาค ความหนืดของน้ำ อัตราการไหลของน้ำขาเข้า และความหนาแน่นของน้ำ (จากตารางที่ 1) มาแทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนเท่ากับ 3.04 และ 2.36 ซม. จากนั้นนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้มาคำนวณหาขนาด และความยาวส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลนด้วยอัตราส่วนของ Bradley (1965) [8] ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 5 แสดงภาพตัดขวางของการออกแบบไฮโดรไซโคลนซึ่งประกอบด้วยส่วนบนที่เป็นทรงกระบอกเชื่อมเข้ากับส่วนล่างที่เป็นทรงกรวย โดยอนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในของเหลวจะถูกจ่ายเข้าไปตามแนวสัมผัสเส้นรอบวงที่ช่องทางเข้า (Inlet opening) บริเวณส่วนบนของทรงกระบอก เกิดการหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลน อนุภาคขนาดเล็ก (Fine particle) จะไหลออกผ่านท่อทางออกด้านบน (Overflow pipe or vortex finder) ที่ติดอยู่ตรงกลางด้านบนของทรงกระบอก ขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่ (Coarse particle) จะไหลผ่านช่องเปิดที่เป็นวงกลมบริเวณปลายกรวย (Apex of cone) ซึ่งเรียกว่า ท่อทางออกด้านล่าง (Underflow orifice) [10]

ตารางที่ 2 ขนาดและความยาวส่วนต่างๆ ของไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบตามหลักการของ Bradley (1965) [8]

Geometries		Dimension	Values (cm.)	
			X_{95} = 7.64 (μm)	X_{95} = 11.20 (μm)
		DC	2.36	3.04
Di/DC	0.1333	Di	0.31	0.40
DO/DC	0.2	DO	0.47	0.61
DU/DC	0.07	DU	0.16	0.21
l/DC	0.33	L	16.14	20.80
L/DC	6.85	L	0.78	1.00
Cone angle	9°	θ	9°	9°



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงขนาดและความยาวของไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบโดยใช้ขนาดตัดเท่ากับ 7.64 ไมครอน
Figure 5 The diagram shows the size and length of hydrocyclone which a cut size diameter of 7.64 μm.

สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาหลักการออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อประยุกต์ใช้ในการแยกตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดด้วยระบบไบโอฟล็อค โดยผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนแขวนลอย และพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบไฮโดรไซโคลน พบว่าขนาดของอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบไบโอฟล็อคที่มีการเลี้ยงปลานิลเป็นเวลา 45 และ 60 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.90±0.98 และ 65.37±0.15 ไมครอน ความหนาแน่นของตะกอนแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 1,056.16±237.16กก./ลบ.ม. ความหนืดของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8×10^{-4}±0.00 กก./ม.-วินาที และอัตราการไหลของน้ำขาเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ9.89×10^{-4} ±0.00 ลบ.ม./วินาที จากนั้นนำข้อมูลขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค มาสร้างกราฟแจกแจงความถี่สะสม ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความถี่สะสมกับขนาดอนุภาค โดยกำหนดประสิทธิภาพรวมในการแยกตะกอนแขวนลอยของไฮโดรไซโคลนเท่ากับร้อยละ 95 จากร้อยละความถี่สะสม (แกน Y) เมื่อลากเส้นหาจุดตัดของกราฟจะได้ขนาดตัดของอนุภาค(แกน X) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.64 (วันที่ 45) และ 11.20 ไมครอน (วันที่ 60) นำขนาดตัดและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัดแทนค่าในสมการของ Bradley (1965) [7] เพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน และนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้มาหาขนาดและความยาวส่วนต่างๆของไฮโดรไซโคลนตามหลักการของ Bradley (1965) [7] โดยที่ขนาดตัดอนุภาคเท่ากับ 7.64 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน (D_C) ขนาดท่อทางเข้า (D_i), ท่อทางออกด้านบน (D_O) และท่อทางออกด้านล่าง (D_U) มีค่าเท่ากับ 2.36, 0.31, 0.47 และ 0.16 ซม. ตามลำดับ ความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน (L) และความยาวท่อทางออกด้านบน (l) มีค่าเท่ากับ 16.14 และ 0.78 ซม. โดยมุมส่วนกรวย (θ) มีค่า 9 องศา ในส่วนของขนาดตัดอนุภาคเท่ากับ 11.20 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน (D_C) ขนาดท่อทางเข้า (D_i), ท่อทางออกด้านบน (D_O) และท่อทางออกด้านล่าง (D_U) มีค่าเท่ากับ 3.04, 0.40, 0.61 และ 0.21 ซม. ตามลำดับ ความยาวทั้งหมดของไฮโดรไซโคลน (L) และความยาวท่อทางออกด้านบน (l) มีค่าเท่ากับ 20.80 และ 1.00 ซม. โดยมุมส่วนกรวย (θ) มีค่า 9 องศา

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานพื้นฐาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Fundamental Fund; FF67) โดยขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัย และเอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ รวมทั้ง ขอขอบคุณ ดร.วรินธร สงคศิริ และ ดร.กาญจนา แสงจันทร์ จากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ (BIOTEC) ที่ได้ให้คำปรึกษา ตลอดจนแนะนำแนวทางในการออกแบบไฮโดรไซโคลนเพื่อประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการแยกตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับตะกอนไบโอฟล็อค

เอกสารอ้างอิง

[1] Avanimelech, Y. 2006. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. Aquaculture engineering. 34(3): 172–178.

[2] Noble, A. C. and Summerfelt, S. T. 1996. Diseases encountered in rainbow trout cultured in recirculating systems. Annual Review of Fish Diseases. 6: 65-92.

[3] Timmons M.B., E. J. M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., and Vinci B.J. 2002. Recirculating aquaculture system. 2nd ed. New York: Cayaga Aqua Ventures, Ithaca.

[4] Vincent, Y. 2006. Use of gill condition to assess welfare of tilapia raised in two intensive production systems. Master's Thesis, University of Stirling.

[5] APHA, AWWA, and WEF. 2005 Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. American

[6] Shulin Chen, Michael B. Timmons, Daniel J. Aneshansley and James J. Bisogni, Jr. 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. Aquaculture. 112: 143–155.

[7] Svarovsky, L. 2000. Hydrocyclone. Solid-Liquid Separation. 4 th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.

[8] Bradley, D. 1965. The hydrocyclone. 1 st ed. 4. Oxford: Pergamon Press.

[9] สุตา คุณวงศ์. 2559. ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ไบโอฟล็อคแบบแยกส่วนในการควบคุมคุณภาพน้ำ ของการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียนระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[10] Saengchan, K., Nopharatana, A. and Songkasiri, W. 2009. Enhancement of tapioca starch separation with a hydrocyclone: effects of apex diameter, feed concentration, and pressure drop on tapioca starch separation with a hydrocyclone. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 48(1): 195-202.

10R2-05

ระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นระดับห้องปฏิบัติการสำหรับอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็ก

Lab-scale Coolant-mixing Control System For Steel Pipe Industry

สุนันท์ ดาวกระจาย[1] นาตยา โมราวรรณ[2] และ ชดชนก อัฑฒพงศ์[3*]
Sunun Daokrajai[1] Nattaya Morawan[2] and Chodchanok Attaphong[3*]
[1*]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา; [3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
[2]นักศึกษาบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
[*]โทรศัพท์ : 02 329 8334, โทรสาร : 02 329 8335, E-mail : sunun.da@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตท่อเหล็กโดยทั่วไปแล้วจะมีการเติมน้ำหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของท่อเหล็กตั้งแต่ขั้นตอนการรีดขึ้นรูปท่อ โดยน้ำหล่อเย็นมักถูกเติมและวัดความเข้มข้นด้วยรีเฟรคโตมิเตอร์โดยบุคคล ทำให้อาจมีการเติมน้ำหล่อเย็นในปริมาณที่มากเกินไปและอาจไม่คงที่ สิ่งนี้นำไปสู่ปริมาณน้ำหล่อเย็นซึ่งเป็นของเสียที่อาจถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผสมน้ำหล่อเย็นในการผลิตท่อเหล็ก 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กคาร์บอน (Cs) และเหล็กชุบสังกะสี (Gs) โดยใช้สารหล่อเย็นที่ต่างชนิดกัน โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในส่วนนี้คือการพัฒนาระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นสำหรับอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็กและเพื่อทดสอบระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นในระดับห้องปฏิบัติการ โดยคำนวณอัตราส่วนและปริมาตรของสารหล่อเย็นและน้ำ RO เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นโดยใช้รีเฟรคโตมิเตอร์กับวิธีการคำนวณค่าความเข้มข้น ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นที่ได้จากทั้งสองวิธีนั้นใกล้เคียงกัน ซึ่งผลลัพธ์นี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการผสมน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็กที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ : การผลิตเหล็ก; สารหล่อเย็น; เหล็กคาร์บอน; เหล็กชุบสังกะสี; การลดของเสีย; น้ำ RO

Abstract

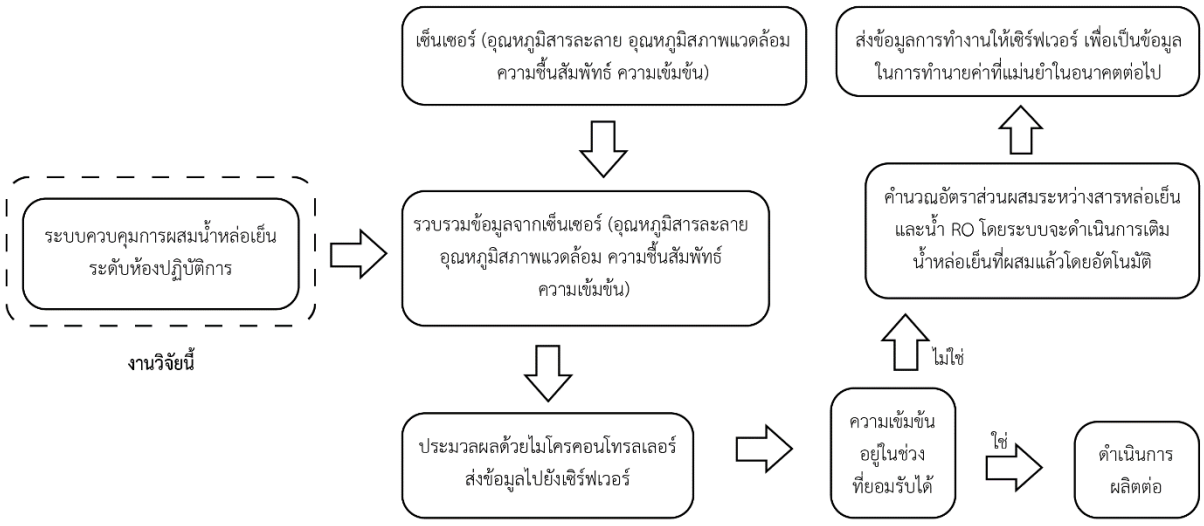
In the steel pipe production process, coolant mixture is generally added to reduce the temperature of the steel pipe in the pipe extrusion process. It is usually added and measured manually by a refractometer. However, this manual measurement often leads to excessive and unconstraint coolant usage, resulting in a release into the environment. This research focuses on studying the mixing process of coolant of two steel pipe types: carbon steel (Cs) and galvanized steel (Gs), which use different types of coolants. The objectives in this study are to develop a coolant-mixing control system for the steel pipe industry and test the system in a laboratory scale. This involved calculating the appropriate ratio and volume of coolant and RO water to achieve the desired concentrations. This research also compared the results of coolant concentration measurement between from a refractometer and from the calculation. The results from both methods showed similar values. This findings will be useful guide for a development of an effective coolant-mixing control system in the steel pipe production process.

Keywords : steel production process; coolant; carbon steel; galvanized steel; reduce waste; RO water

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าในประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเหล็กกึ่งสำเร็จรูปและเหล็กสำเร็จรูปในปริมาณเฉลี่ย 0.37 และ 0.16 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันเหล็ก (tCO_2eq/t) ตามลำดับ โดยมีการคาดการณ์ว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอาจเพิ่มขึ้นถึง 7.05 เท่าในปีค.ศ. 2050 เมื่อเทียบกับปีค.ศ. 2010 [1] การประกาศเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้ผู้ประกอบการทุกภาคส่วนเห็นถึงความสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็ก ซึ่งต้องมีมาตรการที่เป็นไปได้ในการลดการปลดปล่อยมลพิษและของเสีย [2] ซึ่งกระบวนการผลิตท่อเหล็กจำเป็นต้องใช้น้ำหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของท่อเหล็กตั้งแต่ขั้นตอนการรีดขึ้นรูป โดยน้ำหล่อเย็นมักถูกเติมและวัดความเข้มข้นด้วยรีเฟรคโตมิเตอร์โดยบุคคล [3] ซึ่งอาจส่งผลให้มีการเติมน้ำหล่อเย็นในปริมาณมากเกินไปและอาจไม่คงที่ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพท่อเหล็ก และเกิดเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตท่อเหล็ก

คณะวิจัยจึงมีแนวความคิดในการใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสม เพื่อให้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นได้อย่างถูกต้อง มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของมนุษย์ ดังรูปที่ 1 ซึ่งงานวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นสำหรับอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็ก และเพื่อทดสอบระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นในระดับห้องปฏิบัติการ ทำให้การผสมน้ำหล่อเย็นมีความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดก่อนจะพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ในงานวิจัยส่วนต่อไป เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับการใช้งานในกระบวนการผลิตท่อเหล็กแต่ละประเภทและป้องกันการเติมน้ำหล่อเย็นมากเกินความจำเป็น ลดการสูญเสียน้ำหล่อเย็นและลดการรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมได้



รูปที่ 1 แนวคิดของขั้นตอนการตรวจวัดคุณภาพน้ำหล่อเย็นทั้งกระบวนการโดยใช้เซ็นเซอร์

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตงานวิจัยจะพิจารณาน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการรีดขึ้นรูปเหล็ก 2 ชนิด คือ เหล็กชุบสังกะสีและเหล็กคาร์บอน [4,5] โดยขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมอุปกรณ์วัดค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็น คือ รีเฟรคโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ (% บริกซ์) และอุปกรณ์ผสมสารหล่อเย็น ได้แก่ เครื่องกวนแม่เหล็ก แท่งแม่เหล็กและบีกเกอร์ โดยส่วนผสม คือ สารหล่อเย็น 2 ชนิด ดังรูปที่ 3 ตามประเภทของท่อเหล็ก และน้ำ Reverse Osmosis (RO)

รูปที่ 2 รีเฟรคโตมิเตอร์

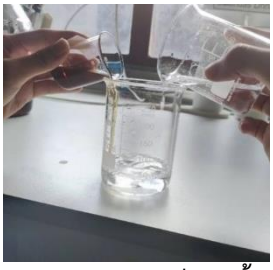
รูปที่ 3 สารหล่อเย็นสำหรับเหล็กชุบสังกะสี (ซ้าย) และสารหล่อเย็นสำหรับเหล็กคาร์บอน (ขวา)

จากนั้นทำการคำนวณอัตราส่วนของสารหล่อเย็นและน้ำ RO และทดลองผสมน้ำหล่อเย็นตามอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการคำนวณที่ความเข้มข้น 3-6% บริกซ์ ณ อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 4 ถึง 7 การคำนวณใช้สมการการเจือจาง ด้วยการเติมตัวทำละลายลงในสารละลายในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งสารหล่อเย็นและน้ำ RO จะผสมกันโดยใช้อัตราส่วนจากการคำนวณดังสมการ (1) แสดงค่าความเข้มข้นต้องการ สมการ (2) เพื่อให้ได้สารละลายที่เจือจางให้มีค่าความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ [6]

ความเข้มข้นเริ่มต้น (โมลต่อลิตร) x ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร) = ความเข้มข้นต้องการ (โมลต่อลิตร) x ปริมาตรสารละลายที่ต้องการ (มิลลิลิตร) (1)

$$\text{ความเข้มข้นต้องการ (โมลต่อลิตร)} = \frac{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น (โมลต่อลิตร)} \times \text{ปริมาตรสารละลายที่ต้องการ (มิลลิลิตร)}}{\text{ปริมาตรเริ่มต้น (มิลลิลิตร)}} \quad (2)$$

รูปที่ 4 การเตรียมสารหล่อเย็นและน้ำ RO ของเหล็กชุบสังกะสี (ซ้าย) และเหล็กคาร์บอน(ขวา)

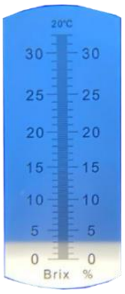


รูปที่ 5 การผสมสารหล่อเย็นกับน้ำ RO

รูปที่ 6 การใส่แท่งคนแม่เหล็กลงในบีกเกอร์

รูปที่ 7 การผสมด้วยเครื่องคนแม่เหล็ก

รูปที่ 8 การตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นลงบนรีเฟรคโตมิเตอร์



รูปที่ 9 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากรีเฟรคโตมิเตอร์

การวัดค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นด้วยรีเฟรคโตมิเตอร์และเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ 8 และ 9 ผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบควบคุมการผสมน้ำหล่อเย็นและการตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็กต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในกระบวนการผลิตท่อเหล็กระดับอุตสาหกรรมมีการใช้น้ำหล่อเย็นในการผลิตท่อเหล็กคาร์บอนและท่อเหล็กชุบสังกะสี โดยมีชนิดน้ำหล่อเย็นและความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยเหล็กคาร์บอนใช้น้ำหล่อเย็นที่ความเข้มข้นสูงกว่า เนื่องจากเหล็กคาร์บอนเกิดสนิมง่ายกว่าเหล็กชุบสังกะสี

ความเข้มข้นที่กำหนดไว้ของเหล็กคาร์บอน 3-6% บริกซ์ ความเข้มข้นที่วัดได้ 2.9, 3.4, 3.8, 4.2, 4.9, 5.4 และ 5.9% บริกซ์ ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนสารหล่อเย็นต่อน้ำ RO ที่เติมอยู่ในช่วง 1.85:1 ถึง 1.76:1 ตามตารางที่ 1 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.07 - 0.21 ดังรูปที่ 10

ความเข้มข้นที่กำหนดไว้ของเหล็กคาร์บอน 3-6% บริกซ์ ความเข้มข้นที่วัดได้ 2.9, 3.4, 3.9, 4.5, 5.0, 5.4 และ 6.0% บริกซ์ ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนสารหล่อเย็นต่อน้ำ RO ที่เติมอยู่ในช่วง 2.08:1 ถึง 1.98:1 ตามตารางที่ 2 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.00 - 0.07 ดังรูปที่ 11

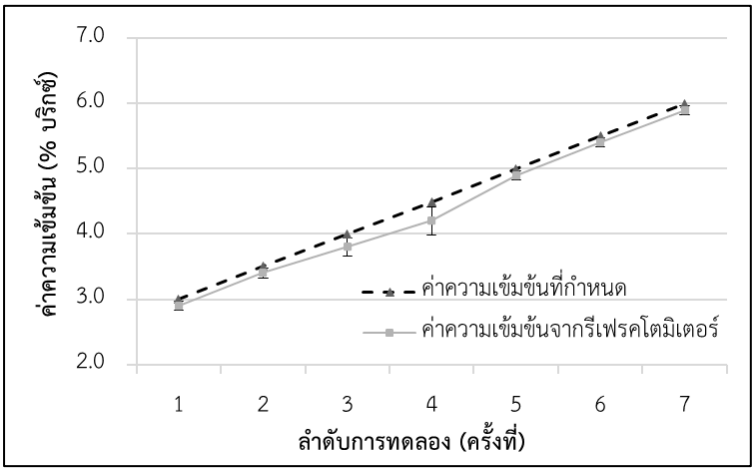
ดังนั้น จากการทดลองในส่วนนี้จะพบว่าการทดสอบความเข้มข้นที่กำหนด(จากการคำนวณ) และความเข้มข้นจากรีเฟรคโตมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.21 % บริกซ์ ซึ่งทำให้การผสมสารหล่อเย็นสำหรับเติมในแต่ละความเข้มข้นนั้นเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นสำหรับท่อเหล็กคาร์บอน

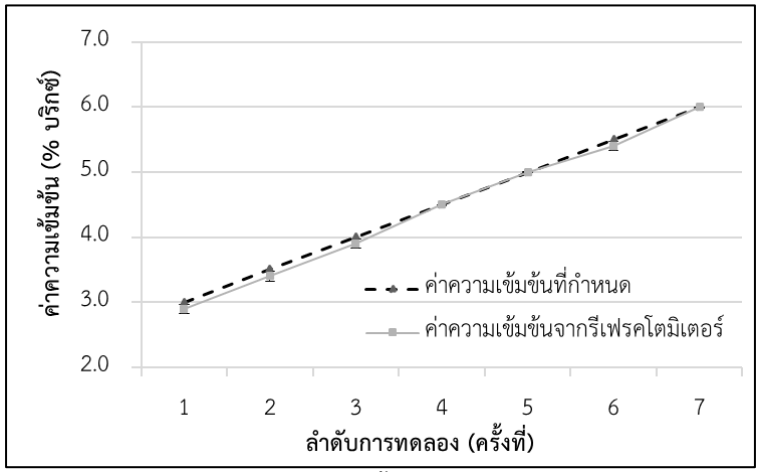
ลำดับการทดลอง	ค่าความเข้มข้นที่กำหนด	ค่าความเข้มข้นจากรีเฟรคโตมิเตอร์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัดส่วนสารหล่อเย็นต่อน้ำ RO (ที่เติม)
1	3.0	2.9	0.07	-
2	3.5	3.4	0.07	1.85:1
3	4.0	3.8	0.14	1.84:1
4	4.5	4.2	0.21	1.82:1
5	5.0	4.9	0.07	1.79:1
6	5.5	5.4	0.07	1.79:1
7	6.0	5.9	0.07	1.76:1

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการตรวจวัดความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นสำหรับท่อเหล็กชุบสังกะสี

ลำดับการทดลอง	ค่าความเข้มข้นที่กำหนด	ค่าความเข้มข้นจากรีเฟรคโตมิเตอร์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัดส่วนสารหล่อเย็นต่อน้ำ RO (ที่เติม)
1	3.0	2.9	0.07	-
2	3.5	3.4	0.07	2.08:1
3	4.0	3.9	0.07	2.07:1
4	4.5	4.5	0.00	2.05:1
5	5.0	5.0	0.00	2.03:1
6	5.5	5.4	0.07	1.98:1
7	6.0	6.0	0.00	1.98:1



รูปที่ 10 ค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นของเหล็กคาร์บอน



รูปที่ 11 ค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นของเหล็กชุบสังกะสี

สรุป

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบวิธีการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นด้วยรีเฟรคโตมิเตอร์ กับค่าจากการคำนวณความเข้มข้นของสารหล่อเย็นที่กำหนด ณ ความเข้มข้นต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน โดยผลจากงานวิจัยนี้จะสามารถเป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณสารหล่อเย็นและน้ำ RO ที่เหมาะสม และสามารถป้องกันการเติมน้ำหล่อเย็นเข้าไปในระบบในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น รวมถึงสามารถนำแนวทางนี้ไปปรับปรุงและพัฒนาระบบบการผสมน้ำหล่อเย็น เพื่อสามารถใช้ได้จริงในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็กต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการเรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตออฟติงส์ และการพัฒนาแผนที่นำทางด้านเทคโนโลยี เพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตท่อเหล็ก (N25A660712) และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Sirintip J., Sirintornthep T., Siriluk C. 2014. Energy and carbon dioxide intensity of Thailand's steel industry and greenhouse gas emission projection toward the year 2050. Resources, Conservation and Recycling. 46-56.

[2] International Energy Agency (IEA). 2021. World Energy Outlook 2021.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษพลังงาน. 2547. เอกสารเผยแพร โครงการศึกษาเกณฑการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก. กระทรวงพลังงาน.

[4] วีรศักดิ์ สมิทธิพงศ์. 2559. ความมหัศจรรย์ของวัสดุ (Magic of Materials). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์วัชรินทร์ พี.พี.

[5] ลดา มัทธุรศ. 2561. สารหล่อเย็น : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีการบำบัด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 23, หน้า 222-223.

[6] Goya V. 2023. C1V1 = C2V2, Equation, Examples, where to use. [Online] Available: https://topblogtenz.com/c1v1-c2v2-equation/ (เข้าถึงวันที่ 1 พฤศจิกายน 2566)

10R2-06

การนำขยะประเภทขวดและถุงพลาสติกนำไปจัดการเพื่อนำไปใช้วัสดุในคอนกรีตบล็อกเชิงตัน

Converting Plastic Bottles and Bags to be Used in Solid Concrete Masonry Units

นรารัชต์พร นวลสวรรค์[1*] สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ[1] และ ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์[2]
Nararatchporn Nuansawan[1*] Sumol Sae-heng Pisitsungkakarn[1] and Chayanid Witthayaphirom[2]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
[2]อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240
[*]โทรศัพท์ : 02-5552000 ต่อ 6511, E-mail : Nararatchporn.n@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำขยะประเภทถุงพลาสติกและขวดพลาสติกโดยรอบวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทั้งนี้รหัสของเสียประเภทถุงพลาสติกซึ่งไม่ใช่ของเสียอันตรายคือ 15 01 02 มาใช้ประโยชน์โดยทำเป็นอิฐบล็อกก่อผนังเชิงตันไม่รับน้ำหนัก โดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกเชิงตันก่อผนังขนาดมาตรฐาน ขนาด 39 x 7 x 19 ซม. พิจารณากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ทั้งนี้อัตราส่วนของส่วนผสม ซีเมนต์ ต่อทราย ต่อน้ำ เท่ากับ 1: 2 : 0.5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 แปรผันระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างที่ 3 และ 7 วัน ทำการหล่อก้อนตัวอย่างต่อตัวอย่าง 12 ก้อน และเลือกสุ่มวัด 3 ก้อน ค่ากำลังรับแรงอัด ของอิฐบล็อกที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วันมีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 141.54 กก./ตร.ซม. และ 7 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 169.77 กก./ตร.ซม. โดยมากกว่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกเชิงตันไม่รับน้ำหนัก 4 เท่า ค่าความหนาแน่น 1 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 1.95 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในด้านส่วนผสมพบว่าการผลิตอิฐบล๊อคก่อผนังไม่รับน้ำหนักจากถุงพลาสติก 1 ก้อน เมื่อแทนที่ของเสียพลาสติกในปริมาณ 0.258 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายราคาต่อ 1 ก้อน เท่ากับ 8.8 บาท

คำสำคัญ : ขยะพลาสติก; คอนกรีตบล็อกเชิงตัน; การจัดการขยะ

Abstract

The study utilizes plastic bag and bottle waste from around the College of industrial technology at King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The non-hazardous plastic waste code is 15 01 02 and is utilized to make lightweight concrete blocks for load-bearing walls. Standard-sized blocks measuring 39 x 7 x 19 cm are cast, considering compressive strength, density, and water absorption. The mix ratio of cementitious material to sand to water is 1:2:0.5 by weight, with water content at 0.5 relative to the cementitious material. Curing time varies for samples at 3 and 7 days. Twelve blocks are cast per sample, with 3 blocks randomly selected for testing. The average compressive strength for blocks cured for 3 days is 141.54 kg/cm², and for 7 days is 169.77 kg/cm², exceeding the standard lightweight concrete block by a factor of 4 in compressive strength, with a density of 1 gram per cubic centimeter and an average water absorption of 1.95%. Initial cost analysis on the mix reveals that replacing plastic waste of 0.258 kilograms with one block incurs a cost of 8.8 Baht per block.

Keywords : Plastic waste; solid concrete masonry; waste management.

บทนำ

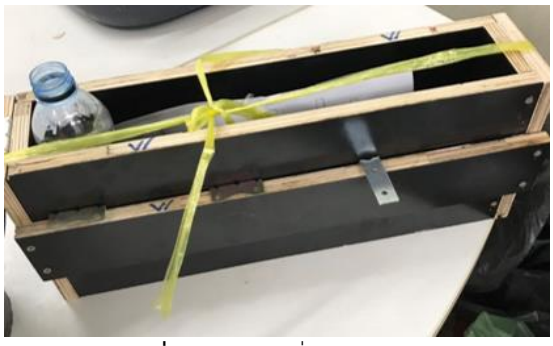
จากการคาดการณ์แนวโน้มปริมาณขยะจะเกิน 1 พันล้านตันต่อปี ภายในปี 2603 พบว่าการผลิตพลาสติกจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะมีปริมาณ 1.2 พันล้านตันในแต่ละปี ซึ่งทั่วโลกมีความพยายามเชิงรุกในการลดปริมาณการใช้พลาสติกอย่างจริงจัง รวมถึงการพัฒนาการผลิตพลาสติกด้วยการรีไซเคิลหรือผลิตจากวัสดุทางชีวภาพ แต่การผลิตพลาสติกจะยังคงเพิ่มขึ้นในปริมาณกว่า 300% ในเวลาไม่ถึง 40 ปี [1] ในปัจจุบันมีนโยบายการทำให้ขยะพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้สำเร็จในระดับหนึ่ง โดยมีสัดส่วนขยะรีไซเคิลจากพลาสติกเพิ่มจาก 12% เป็น 40% ได้แก่ 1) การลดหรือคัดแยกขยะต้นทางแต่ละประเภท 2) ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 3) การบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวด 4) การนำขยะที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่

การศึกษานี้ทำการนำถุงพลาสติกและขวดพลาสติกเพื่อนำขยะประเภทพลาสติกโดยรอบวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยประยุกต์การทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตบล็อกผนังไม่รับน้ำหนัก และเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

แบบหล่ออิฐบล็อกก่อผนังศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ แบบหล่อคอนกรีตบล็อกเชิงตันก่อผนังขนาดมาตรฐาน ขนาด 39x7x19 ซม. ในการเตรียมวัสดุทำการนำขวดพลาสติกที่มีจะทำการการล้างและตากแดดขยะที่เกิดจากถุงขนมถุงพลาสติกที่รีไซเคิ้ลได้โดยรอบวิทยาลัย โดยทำการล้างทรายด้วยน้ำสะอาดและตากทรายให้แห้งโดยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ส่วนหนึ่งวิเคราะห์การกระจายขนาดคละ โดยทรายที่นำมาใช้ทดลองเตรียมโดยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อนำมาแทนที่ในมวลรวมละเอียด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C136-95a โดยใช้เครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve analysis) ที่มีขนาดตะแกรงได้แก่ ขนาดเบอร์ 3/8 นิ้ว ขนาดเบอร์ 4 (4.76มิลลิเมตร) เบอร์ 10 (3.2 มิลลิเมตร) เบอร์ 20 (1.18 มิลลิเมตร) เบอร์ 30 (0.6 มิลลิเมตร) เบอร์ 50(0.3 มิลลิเมตร) เบอร์ 100 (0.15 มิลลิเมตร) ทดสอบการหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของวัสดุตามตามมาตรฐาน ASTMC 127 ASTMC128 แบบหล่ออิฐบล็อกก่อผนังศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุอัตราส่วนของส่วนผสม ซีเมนต์ ต่อทราย ต่อน้ำ 1: 2 : 0.5 น้ำหนักของปูนซีเมนต์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ทำการยัดขวดพร้อมขยะพลาสติก 4 ขวด เว้นระยะขอบ แปรผันระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างที่ 3 และ 7 วัน นำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สมบัติความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C29 [2] กำลังรับแรงอัด พิจารณาผลตามเกณฑ์ในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังเชิงตันไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2895-2561 (ไม่ต่ำกว่า 35.2 กก./ตร.ซม. หรือ 3.45 เมกะปาสคาล [3]

ศึกษาสมบัติของอิฐบล็อกก่อผนังเชิงตัน โดยทำการหล่อก้อนตัวอย่างทั้งหมด 12 ก้อน และเลือกสุ่มวัด 3 ก้อน ตามข้อกำหนด [3] ตรวจวัดกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำโดยใช้แบบหล่องานวิจัยดังรูปที่ 1 ขวดพลาสติกและขยะดังรูปที่ 2



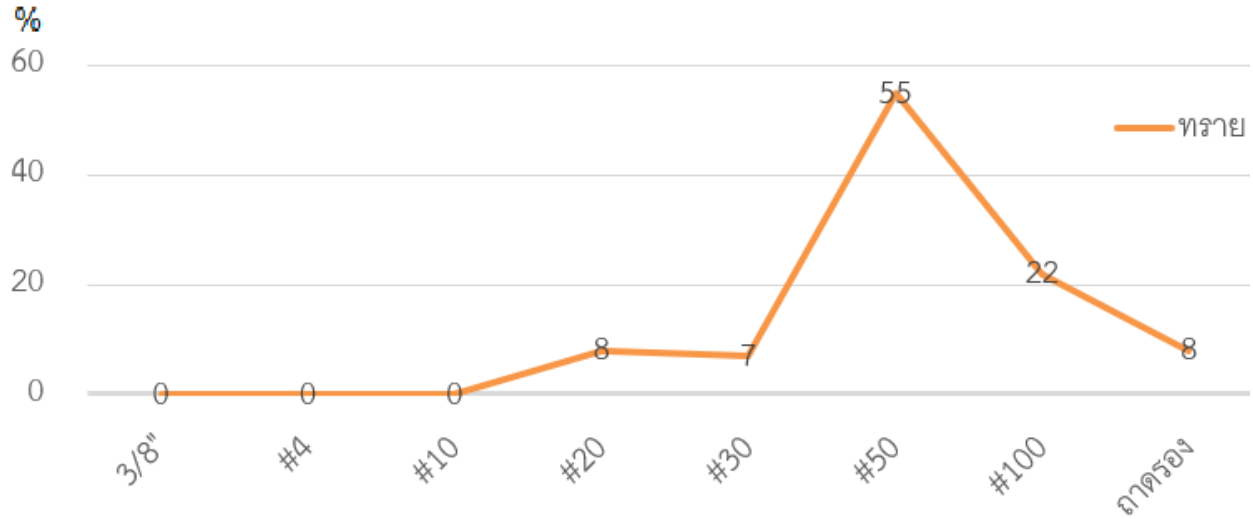
รูปที่ 1 แบบหล่อที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 2 ขวดน้ำพลาสติกที่ยัดไส้ถุงพลาสติก

รูปที่ 3 มอร์ตาร์เข้าแบบหลังกระทุ้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

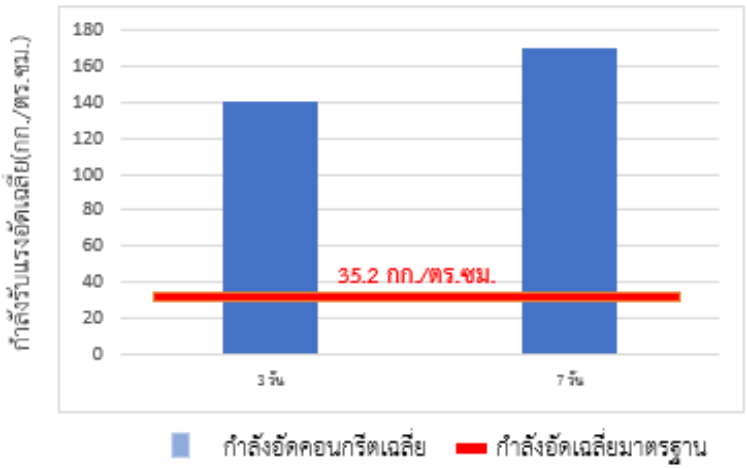
จากการวิเคราะห์รหัสของเสียประเภทบรรจุภัณฑ์และถุงพลาสตติกซึ่งไม่ใช่ของเสียอันตรายมีรหัสของเสียคือ 15 01 02 เลข 2 รหัสแรกคือ 15 ของเสียประเภทบรรจุภัณฑ์ วัสดุดูดซับ ผ้าสำหรับเช็ด วัสดุตัวกรอง และชุดป้องกัน (Waste packaging; absorbents, wiping cloths, filter materials and protective clothing not otherwise specified) รหัส 15 01 คือ บรรจุภัณฑ์ (Packaging) ดังนั้นรหัส 15 01 02 คือ บรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติก (Plastic packaging)การวิเคราะห์การกระจายขนาดคละของวัสดุผสม เพื่อที่จะให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้เพื่อลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ และป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของส่วนผสม พบว่าทรายที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกผนัง พื้นมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) เท่ากับ 1.85 รายละเอียดของการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4



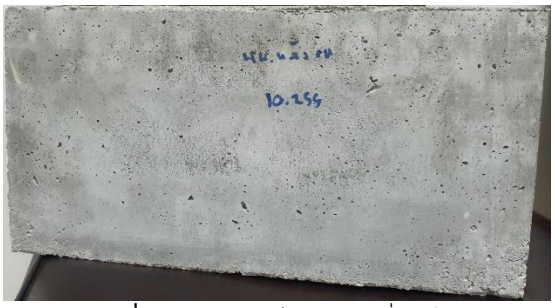
รูปที่ 4 การกระจายขนาดคละของทราย

เมื่อสมอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่ 1 : 2 โดยน้ำหนัก และแปรผันค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.4 และ 0.5 ระยะเวลาในการ บ่มที่ 3 และ 7 วัน โดยทำการทดลองครั้งละ 3 ซ้ำ เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดเป็นเกณฑ์ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ร้อยละ 0.5 พบว่ากำลังรับแรงอัดที่มีค่ามากที่สุดเนื่องจากไม่มีสิ่งเจือปนของวัสดุผสมแสดงดังรูปที่ 5

ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่มที่ 3 และ 7 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัด ของอิฐบล็อกที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วันมีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 141.5 กก./ตร.ซม. และของอิฐบล็อกที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 169.8 กก./ตร.ซม. ทำให้อิฐบล็อกผนังจากถุงพลาสติก ผ่านค่ามาตรฐานของมอก.2895-2561 (ไม่ต่ำกว่า 35.2 กก./ตร.ซม. หรือ 3.45 เมกะปาสคาล [3] แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ยะเวลาบ่มที่แตกต่างกันผลการศึกษาพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะมีค่าสูงขึ้น ตามระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น เนื่องจากเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตหรือ ซิเมนต์เจล ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสานที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์ โดยอิฐบล็อกที่ผลิตได้ดังรูปที่ 6 มีความหนาแน่นที่ 3 และ 7 วัน เท่ากับ 1.97 และ 1.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.91 และ 2.02 และมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 10.2 กิโลกรัมต่อก้อน ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมอยู่ที่ 10.5 กิโลกรัมต่อก้อน [4]



รูปที่ 5 ค่ากำลังอัดแรงเฉลี่ยที่แปรผันระยะเวลาบ่มที่ 3 วัน และ 7 วัน



รูปที่ 6 คอนกรีตบล็อกเชิงตันที่ผลิตได้

สรุป

อัตราส่วนของซีเมนต์เพลสที่เหมาะสมคือ ปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 1 : 2 โดยน้ำหนัก โดยใช้น้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน อิฐบล็อกก่อผนังที่มีการใช้ขยะผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ต้องการค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 35.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 169.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าความหนาแน่น 1 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 1.95 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานอิฐบล็อคก่อผนังไม่รับน้ำหนักได้ ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักจากขยะพลาสติก ขนาด 7 x39 x 19 ซม. ใช้ปริมาณขยะพลาสติก(ขวดพลาสติกรวมกับขยะถุงพลาสติก) 0.258 กิโลกรัมต่อก้อน ทั้งนี้ต้นทุนของอิฐบล็อกรวมค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำและ

ไฟฟ้าพบว่าราคาของอิฐบล็อกก่อผนัง เท่ากับ 8.8 บาทต่อก้อน ในขณะคอนกรีตบล็อกเชิงตันภาคอุตสาหกรรมพบว่าราคาอยู่ที่ 20 บาทต่อก้อน [5]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรศ.ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และงานประลองคอนกรีต ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ปริมาณการใช้พลาสติกและขยะพลาสติกทั่วโลก ภายในปี 2603. https://www.thaipost.net/abroad-news/154844/. สืบค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2567.

[2] ASTM C29 ASTM C29/C29M-23 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate https://www.astm.org/c0029_c0029m-23.html. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2567.

[3] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกเชิงตันไม่รับน้ำหนัก. 2561. https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2895-25xx.pdf. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2567.

[4] ข้อมูลผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก. https://ptg.co.th/PTGProducts/PTGProducts?gid=PG02-02&Gpd=PG02. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2567.

[5] ราคาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกเชิงตัน. https://www.lazada.co.th/products/-i2848980053.html. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2567.

10R2-07

การใช้ผงเหล็กจากกระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณเพื่อนำไปผลิตคอนกรีตบล็อก

Using Iron Powder from the Steel Fabrication Process for The Production of Concrete Blocks

ชญานิษฐ์ วิทยาภิรมย์[1*] ดนยภรณ์ พรรณสวัสดิ์[1] และ นรารัชต์พร นวลสวรรค์[2]
Chayanid Witthayaphirom[1*] Donyaporn Panswad[1] and Nararatchporn Nuansawan[2]
[1*]อาจารย์; [1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
[*]โทรศัพท์ : 02-3108392, E-mail : chayanid.w@ru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำผงเหล็กจากกระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยการแทนที่ทรายเพื่อกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยนำมาเพิ่มคุณค่าและลดของเสียในกระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณ ในการทดลองมีการศึกษาการจำแนกประเภทของเสีย และทางกายภาพตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม พบว่ารหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูล คือ 12 01 17 ซึ่งไม่เป็นของเสียอันตราย ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด คือ 1: 1.2: 1.8 โดยน้ำหนัก ซึ่งแปรผันอัตราส่วนผสมโดยใช้ผงเหล็กแทนที่ในทราย ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40และ 50 โดยน้ำหนักของทราย และทำการแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.3, 0.4 และ0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ผลการศึกษา พบว่าการแทนที่ผงเหล็กที่ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.4 และระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีค่า 41.8 เมกะปาสคาลผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : กากอุตสาหกรรม; คอนกรีตบล็อกประสารปูพื้น; ผงเหล็ก

Abstract

This research focused on utilizing iron powder obtained from the steel production process to benefit the production of concrete paving block, replacing sand to reduce waste in the steel production process and add value. In the experiments, waste materials were classified and evaluated according to the standards of the Ministry of Industry. It was determined that the specific waste code was 12 01 17, indicating non-hazardous waste. In this study, the cement-to-sand-to-aggregate ratio was 1:1.2:1.8 by weight, and different percentages of iron powder were used as a replacement for sand at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight of sand. Various water cement ration of 0.3, 0.4, and 0.5 were employed. Curing was carried out for 7 and 28 days. The results revealed that a combination of 50% by weight of sand, a water-to-binder ratio of 0.4, and a curing period of 28 days resulted in concrete blocks for floor paving with a compressive strength of 41.8 megapascals, meeting the standard criteria for Ministry of Industry concrete block products for floor paving

Keywords : Industrial waste; Concrete paving block; Iron powder

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ของเสียอุตสาหกรรมเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเป้าหมายหลักของการจัดการของเสียอย่างยั่งยืน โดยนำหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนเข้ามาร่วม เป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และลดปริมาณของเสียให้มากที่สุด ซึ่งผงเหล็กจากกระบวนการเหล็กรูปพรรณที่ทิ้งจากโรงงาน บางกระบวนการที่มีของเสียเกิดขึ้นจัดเป็นของเสียอันตราย ในขณะที่พื้นที่สำหรับฝังกลบมีอย่างจำกัด วิธีการกำจัดดังกล่าวจึงไม่ใช่วิธีที่เหมาะสม แนวคิดการนำของเสียกลับมานำใช้ประโยชน์ใหม่จะช่วยลดปริมาณของเสียที่จะนำไปกำจัด ทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดจากการกำจัดผลิตภัณฑ์ เป็นการควบคุมปัญหามลพิษในระยะยาว ดังนั้นหากนำของเสียชนิดนี้มาใช้แทนการจัดการรูปแบบเดิม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตคอนกรีต บล็อก ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกำจัดกากอุตสาหกรรมโดยนำมาผสมแทนที่ทรายและซีเมนต์ เช่น เศษเหล็ก ฉลากกระดาษ ขยะทางการแพทย์ เป็นต้น [1-2] มาผลิตคอนกรีต เป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์และช่วยลดปริมาณของเสียทางเลือกหนึ่ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าโดยใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก

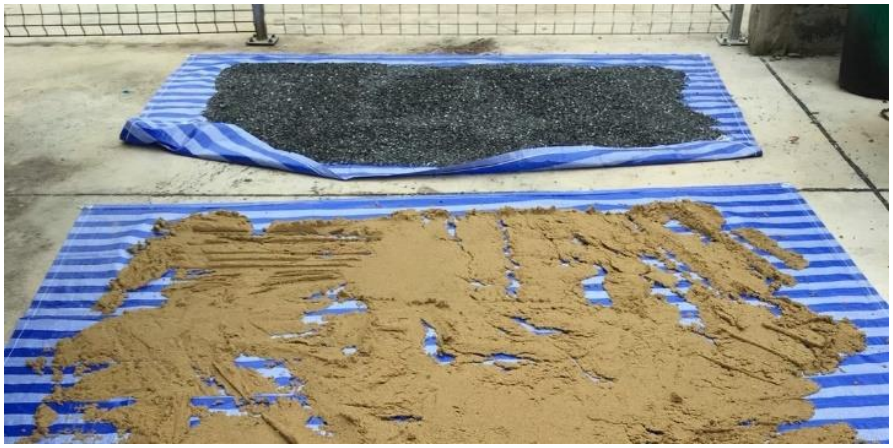
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ตลอดจนแนวทางในการนำผงเหล็กจากการกระบวนการเหล็กรูปพรรณจากอุตสาหกรรม มาเป็นวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทดลองคือผงเหล็กที่ได้จากกระบวนการขัดเพื่อผลิตเหล็กรูปพรรณ รูปที่ 1 ในขั้นตอนนี้จะได้ฝุ่นเหล็ก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ตลอดจนแนวทางในการนำผงเหล็กมาใช้เป็นวัสดุร่วมเพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อก ในส่วนของทรายและหินเกล็ด จะทำการล้าง ด้วยน้ำสะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะได้ควบคุมปริมาณน้ำ ของส่วนผสม และเป็นการกำจัดฝุ่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการยึดหดตัวของคอนกรีตบล็อก แสดงดังรูปที่ 2

งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบสมบัติของผงเหล็กที่ผลิตด้วยการวิเคราะห์สมบัติลักษณะสารกัดกร่อนในของเสีย โดยทดสอบค่าความเป็นกรดด่าง เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการวิเคราะห์ว่าเป็นของเสียอันตราย ทำโดยวัดด้วย pH meter ตามวิธีทดสอบโดย U.S.EPA. 9040 จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผงเหล็ก ด้วยการนำผงเหล็กมาทดสอบการชะละลายโลหะหนัก เพื่อหาการชะละลายทั้งหมดของสาร ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นตามมาตรฐานของ U.S.EPA.3050 จากนั้นการทดสอบสิ่งปฏิกูลที่จะนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกินค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) โดยจะถือว่าเป็นของเสียอันตราย ก็ต่อเมื่อค่าปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของสารอันตรายในของเหลวที่ผ่านการกรองมีค่ามากกว่าค่า Soluble Threshold Concentration (STLC) ที่ระบุไว้สำหรับสารนั้นแล้วนำมาพิจารณาเพื่อจัดหมวดหมู่ประเภทของเสีย และทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดคละของวัสดุผสม ทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดคละของหินเกล็ด และทราย และทดสอบวัสดุ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C136-33 การกระจายขนาดคละของหินเกล็ด และทราย และส่วนที่ 2 ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น และประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกจากผงเหล็ก โดยทดลองทำการแปรผันของเสียผงเหล็ก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน สัดส่วนวัสดุผสม ระยะเวลาการบ่ม โดยใช้แบบหล่อคอนกรีตขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแปรผันอัตราส่วนผงเหล็ก ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 โดยน้ำหนักของทราย ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด เท่ากับ 1: 1.2: 1.8 โดยน้ำหนัก โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วัดค่าหน่วยน้ำหนักตามมาตรฐาน ร้อยละการดูดซึมน้ำ (ASTM C127 – C128) [3-4] และพิจารณากำลังรับแรงอัด (ASTM C109) [5] และเมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมจากการทำศึกษาที่แล้วจะนำมาศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยพิจารณากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำ ทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวม และวัสดุตามตามมาตรฐาน ASTM C127, ASTM C128 เพื่อหาความต้องการน้ำของวัสดุเพื่อเป็นการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 1 ผงเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 2 การเตรียมวัสดุ

ผลการทดลองและวิจารณ์

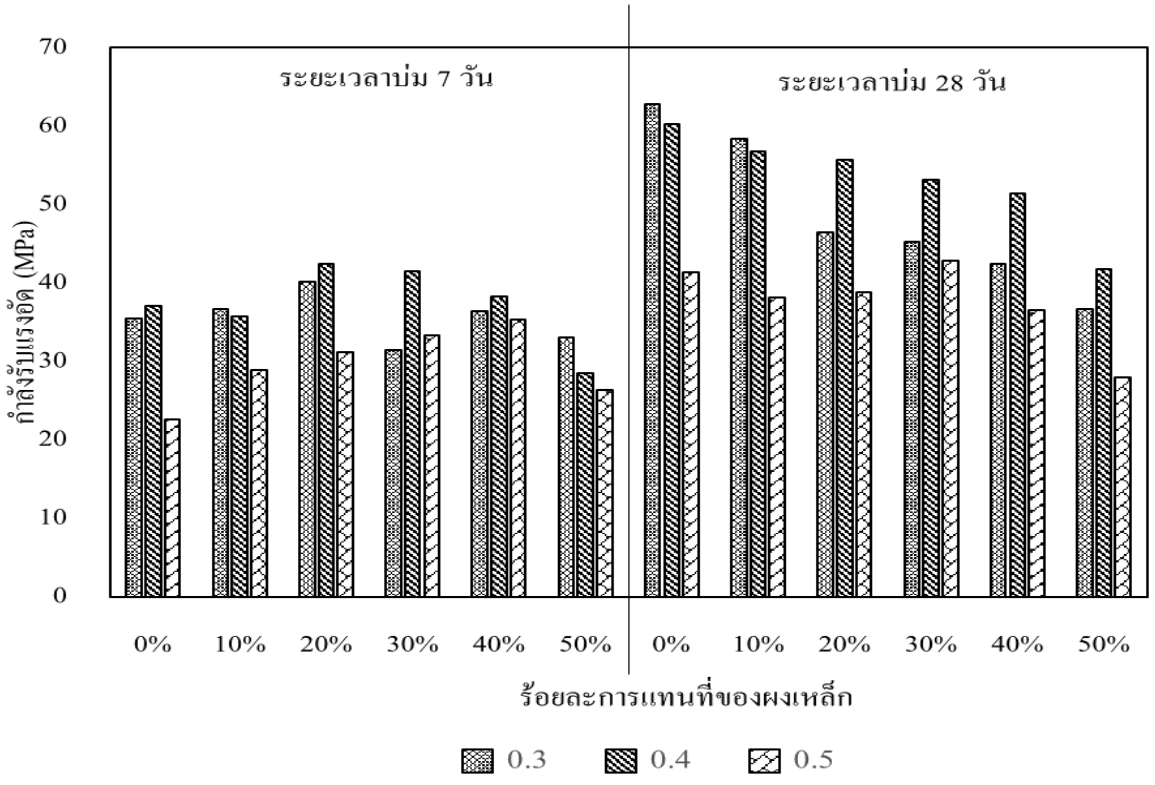
จากการวิเคราะห์สมบัติผงเหล็ก พบว่าผงเหล็กมีค่าความหนาแน่น 2.66 กรัมต่อลูกบาศก์ต่อเซนติเมตร ปริมาณโลหะหนักในผงเหล็ก เมื่อวิเคราะห์การชะละลาย STLC/TTLC พบว่าปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน TTLC แสดงดังตารางที่ 1 สำหรับสมบัติการกัดกร่อนในของเสียพบว่าค่าพีเอช มีค่า 7.35 จึงไม่จัดอยู่ในประเภทสารกัดกร่อน นอกจากนี้รหัสของเสียตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566 [6] พบว่าของเสียประเภทผงเหล็กไม่ใช่ของเสียอันตราย จัดหมวดหมู่ได้เป็นวัสดุพ่นขัดผิวที่ไม่ใช่ 12 01 16 (รหัส 12 01 17) ซึ่งรหัส 12 01 16 คือวัสดุพ่นขัดผิวที่มีสารอันตรายดังนั้นของเสียผงเหล็ก คือของเสียจากการตัดแต่ง และปรับสภาพผิวโลหะ พลาสติก และวัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ได้ระบุในรหัสอื่น ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือเชิงกล ประเภทวัสดุพ่นขัดผิวที่ไม่ใช่ 12 01 16

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในผงเหล็ก

ปริมาณโลหะหนัก	ค่าที่ตรวจพบ: มาตรฐาน STLC มิลลิกรัม/ลิตร	ค่าที่ตรวจพบ: มาตรฐาน TTLC มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ตะกั่ว	n.d. :5.0	125 :1000
ซีลีเนียม	n.d. :1.0	2.46: 100
โครเมียม	0.0249 :5.0	128: 500 (+6) และ 247: 2500 (+3)
สารหนู	n.d. :5.0	1.55: 500
นิกเกิล	0.058 :20.0	1.27: 2000
ทองแดง	0.093 :25.0	12.7: 2500
โมลิบดีนัม	0.0211 :350.0	27.3: 3500
โคบอลต์	0.071 :80.0	55: 8000
วาเนเดียม	0.0134 :24.0	72: 2400
สังกะสี	0.0103 :250.0	84: 5000

n.d. = non detectable

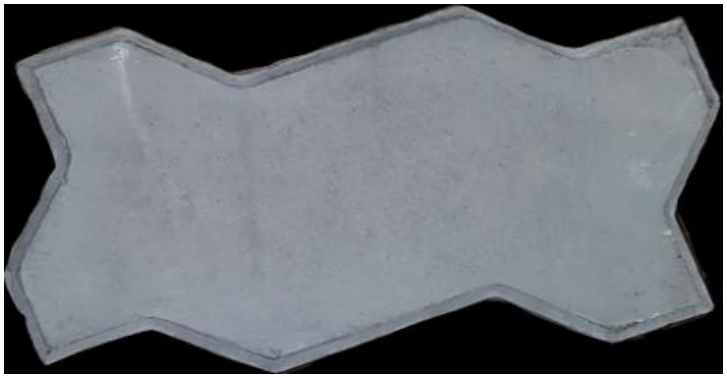
การศึกษาความเหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก จากรูปที่ 3 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณผงเหล็กที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวขวางกั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้น้อยลง เมื่อแทนที่ผงเหล็กในส่วนผสมของทรายที่ร้อยละ 50 น้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.4 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีสมบัติทางกายภาพโดยมีกำลังรับแรงอัด 41.8 เมกะปาสคาล ผ่านค่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนัก (40 เมกะปาสคาล) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมเดียวกัน แต่เพิ่มระยะเวลาบ่มเป็น 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มที่นานขึ้น เนื่องจากเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต



รูปที่ 3 ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน

การประมาณค่าใช้จ่ายในการนำผงเหล็กมาผลิตอิฐบล็อกประสานปูพื้น

จากการคิดราคาค่าใช้จ่ายของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปตัวหนอน (รูปที่ 4) ราคาต่อหน่วยกิโลกรัมของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน มอก.827-2531 [7-8] เท่ากับ 40 เมกะปาสคาล จากการทดลองได้อัตราส่วนผงเหล็กร้อยละ 50 โดยน้ำหนักทราย ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 และใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์: ทราย: หินเกล็ด เท่ากับ 1: 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนักมีกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน การประเมินราคาวัสดุสามารถประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนัก



รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น “รูปตัวหนอน”

โดยคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของของเสียจากกระบวนการขัดผิวเหล็กรูปพรรณใช้แล้วร้อยละ 50 โดยแทนที่น้ำหนักของทรายโดยเฉลี่ยมีน้ำหนักประมาณ 3.36 กิโลกรัมต่อก้อน พบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตตัวหนอน 1 ก้อน มีค่าเท่ากับ 5.06 บาท ส่วนต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกในอัตราส่วนเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 6.12 บาท

สรุป

การวิจัยศึกษาแนวทางในการนำผงเหล็กมาใช้ประโยชน์ในการเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำของเสียจากกระบวนผลิตเหล็กรูปพรรณ ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์: ทราย: หิน เท่ากับ 1: 1.2: 1.8 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงเหล็กแทนที่ในส่วนผสมของทรายร้อยละ 50 มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนักที่ต้องการค่ากำลังรับแรงอัด 40 เมกะปาสคาล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 41.8 เมกะปาสคาล ค่าความหนาแน่น 2.48 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 3.19 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานปูพื้นที่ต้องการรับกำลังหนักได้ นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในด้านส่วนผสมพบว่าการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนักรูปตัวหนอน 1 ก้อน หนา 6 เซนติเมตร เมื่อแทนที่ผงเหล็ก ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของทราย พบว่ามีราคาเท่ากับ 5.06 บาท ส่วนต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกในอัตราส่วนเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 6.12 บาท ขณะที่ราคาท้องตลาดอยู่ที่ 6-11 บาทต่อก้อน ตามลักษณะของสีผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และบริษัท สยามแคสติ้ง จำกัด ที่อนุเคราะห์วัสดุและข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ismail, Z.Z., and AL-Hashmi, E.A. 2008. Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concrete. Waste Management 28: 2048-2053.

[2] Dalal, S.P., Dalal, P., Motiani, R., and Solanki, V. 2022. Experimental investigation on recycling of waste pharmaceutical blister powder as partial replacement of fine aggregate in concrete. Resources, Conservation & Recycling Advances. 14: 200076.

[3] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. C127. Annual book of ASTM standard. 04.02, 1-7.

[4] American Society for Testing and Materials. 2001, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. C128. Annual book of ASTM standards, 04.02, 69-73.

[5] American Society for Testing and Materials. 2009, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or [50-mm] Cube Specimens. C109/C109M. Annual book of ASTM standards.

[6] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566.

[7] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พ.ศ. 2531 (มอก.827-2531).

[8] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พ.ศ. 2565 (มอก.827-2565).

10R2-08

การนำถุงมือและเศษผ้ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ กรณีศึกษา บริษัท ไดกิ้น คอมเพรสเซอร์ อินดัสทรีส์ จำกัด

Recycling Gloves and Cloth Scraps: Case Study of Daikin Compressor Industries Ltd.

พีรพร พิมพ์งาม[1] สมภพ สนองราษฎร์[2*] วิภาดา เดชะปัญญา[2] เทียมมะณีย์ รัตนวีระพันธ์[2]
สุพัฒน์พงษ์ มัตราช[2] และ กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา[2]
Peeraporn Pimngam[1], Sompop Sanongraj[2*], Wipada Dechapanya[2], Tiammanee Rattanawerapan[2],
Supatpong Mattaraj[2] and Karnika Ratanapongleka[2]
[1]นักศึกษา; [2]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000
[*]โทรศัพท์: 045-353362, โทรสาร: 045-353333., e-mail : sompop.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณถุงมือและเศษผ้าที่คัดแยกได้ภายในโรงงานและการนำถุงมือและเศษผ้าดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ จากผลการศึกษา พบว่า ถุงมือและเศษผ้าที่สามารถรีไซเคิลได้มีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ 1) NYLON COAT PU GLOVE (ถุงมือไนลอน), 2) TC GLOVES (ถุงมือผ้าสีขาว), 3) PVC GLOVE (ถุงมือยาง), 4) CHEMICAL SHOWA 720 (ถุงมือยางสีน้ำเงิน), 5) CHEMICAL GLOVES (ถุงมือเคมีสีฟ้า) และ 6) เศษผ้าขาว ปริมาณถุงมือและเศษผ้าที่รีไซเคิลได้คิดเป็นประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ของถุงมือและเศษผ้าที่ส่งไปรีไซเคิลทั้งหมด 427 กิโลกรัม ถุงมือไนลอนมีเปอร์เซ็นต์การรีไซเคิลมากที่สุด จากการประเมินข้อมูลการนำถุงมือและเศษผ้ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่สามารถลดปริมาณถุงมือและเศษผ้าปนเปื้อนคราบน้ำมันได้ 5,124 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อถุงมือและเศษผ้าใหม่ และ ลดค่าใช้จ่ายในการส่งไปกำจัดคิดเป็นมูลค่าประมาณ 1.87 ล้านบาทต่อปี

คำสำคัญ : การใช้ประโยชน์ของเสีย; ถุงมือใช้แล้ว; เศษผ้าใช้แล้ว; คอมเพรสเซอร์; รีไซเคิล

Abstract

The objective of this project is to study the amount of gloves and cloth scraps that can be sorted within the factory and to study of the reuse of such gloves and cloth scraps. From the results, it was found that there are 6 types of gloves and scraps that can be recycled: 1) NYLON COAT PU GLOVE (nylon gloves), 2) TC GLOVES (white cloth gloves), 3) PVC GLOVE (rubber gloves), 4) CHEMICAL SHOWA 720 (blue rubber gloves), 5) CHEMICAL GLOVES (blue chemical gloves) and 6) white cloth scraps. For a quantity of gloves and cloth scraps that can be recycled, it represents approximately 88 percent of the 427 kilograms of gloves and scraps sent for recycling. Nylon glove has the highest percentage of recycled content. From evaluating data on reusing gloves and cloth scraps, the amount of gloves and cloth scraps contaminated with oil stains can be reduced by 5,124 kilograms per year. This can reduce the cost of ordering new gloves & cloth scraps and can reduce the cost of sending them for disposal. The value is approximately 1.87 million baht per year.

Keyword : waste utilization; used gloves; used cloth scraps; compressor; recycle

บทนำ

บริษัทไดกิ้น คอมเพรสเซอร์ อินดัสทรีส์ จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตคอมเพรสเซอร์และมอเตอร์พัดลม ของเครื่องปรับอากาศ ลักษณะการดำเนินงาน เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตและจัดจำหน่ายคอมเพรสเซอร์และ มอเตอร์พัดลมของเครื่องปรับอากาศภายในบ้านและอาคาร เครื่องปรับอากาศ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีกระบวนการผลิตหลักๆ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบและกระบวนการประกอบ โดยทั้ง 2 กระบวนการผู้ปฏิบัติงานต้องปฏิบัติงานกับเครื่องจักร , น้ำมันและสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงมีการใช้ถุงมือและเศษผ้าเพื่อป้องกันความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงานและในการสนับสนุนกระบวนการผลิตคอมเพรสเซอร์และมอเตอร์พัดลมเป็นจำนวนมาก โดยถุงมือและเศษผ้ามีการนำไปจับชิ้นงานและเช็ดทำความสะอาดชิ้นงานที่ปนเปื้อนน้ำมันและสารเคมี เมื่อเกิดการปนเปื้อนและมีการนำไปทิ้ง ทำให้เกิดของเสียอันตรายในโรงงานเป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องถูกกำกับดูแลตามกฎหมายด้วยหน่วยงานภาครัฐ [1] และมีกฎหมายเกี่ยวกับการจัดการกากอุตสาหกรรมโดยเฉพาะ [2] โดยโรงงานมีค่าใช้จ่ายในการส่งของเสียเหล่านี้ไปกำจัดและสั่งซื้อถุงมือและเศษผ้าอยู่ราว 22 ล้านบาทต่อปี เมื่อมีการพิจารณาของเสียดังกล่าวที่แหล่งกำเนิดตามหลักการแบบ 3R [3} จึงเป็นที่มาของโครงการ การนำถุงมือและเศษผ้ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของโรงงานย่อยต่าง ๆ ภายในโรงงาน เพื่อลดค่าใช้จ่าย ปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้น

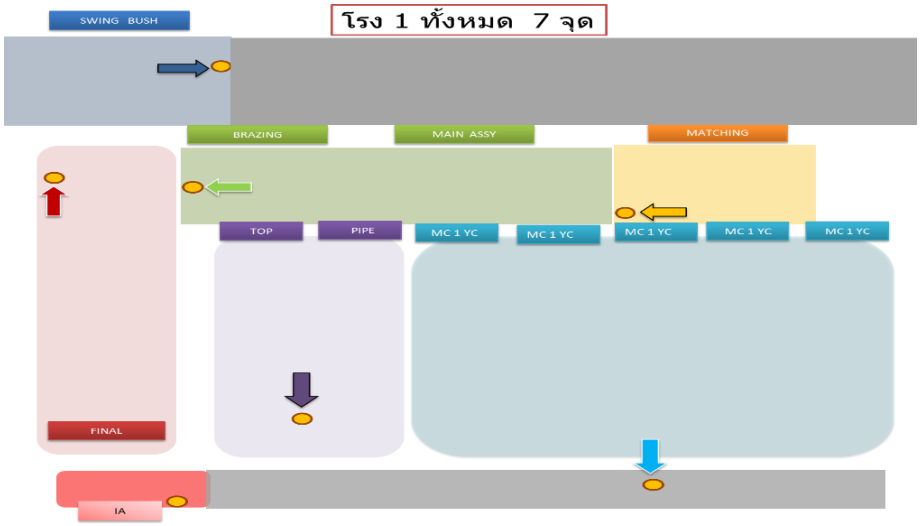
อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการวิจัยจะพิจารณาตั้งแต่การคัดแยกถุงมือและเศษผ้า โดยใช้ถังขยะสำหรับคัดแยกขยะรีไซเคิลตามจุดต่างๆในพื้นที่การทำงาน ซึ่งถังขยะ ในการคัดแยกขยะมีทั้งหมด 4 ถัง ประกอบด้วย 1.) ถังสำหรับทิ้งถุงมือที่จะนำไปรีไซเคิล รับเฉพาะถุงมือ 3 ประเภท ได้แก่ ถุงมือผ้า , ถุงมือไนลอน, ถุงมือยาง 2.) ถังสำหรับทิ้งเศษผ้าขาวและผ้าคอตตอนที่ใช้แล้ว 3.) ถังสำหรับทิ้งถุงมือชำรุดที่ไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้และสำหรับทิ้งถุงมือหนังเพราะไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ 4.) ถังสำหรับทิ้งเฉพาะผ้าเย็บเพราะไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ พร้อมทั้งมีป้ายระบุวิธีการคัดแยกขยะอย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างถังขยะสำหรับคัดแยก

โดยแต่ละโรงงานจะมีจุดสำหรับวางถังขยะคัดแยก ประกอบด้วย ก.) โรงงานผลิตที่ 1 มีจำนวน 7 จุด ข.) โรงงานผลิตที่ 2 มีจำนวน 11 จุด ค.) โรงงานผลิตที่ 3 จำนวน 8 จุด ง.) โรงงาน ODM จำนวน 6 จุด แสดงตัวอย่างผังจุดสำหรับวางถังขยะคัดแยกดังรูปที่ 2

จากนั้นพนักงานตัวแทนในแต่ละโรงงานจะนำถุงขยะที่คัดแยกมาส่งกำจัด และ ส่งรีไซเคิลมาทิ้งที่โรง Scrap มีการติดป้ายบอกอย่างชัดเจนแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ มีการชั่งน้ำหนักเก็บข้อมูลในส่วนของถุงมือและเศษผ้าที่สามารถรีไซเคิลได้บันทึกลงแบบฟอร์มในแต่ละวัน มีการสรุปปริมาณในแต่ละเดือนก่อนส่งออกไปทำการรีไซเคิล มีการขออนุญาตตามกฎหมายก่อนนำของเสีย (ถุงมือและเศษผ้าปนเปื้อน) ออกไปรีไซเคิลโดยการทำความสะอาด มีการประเมินคุณภาพหลังจากการซักทำความสะอาด และการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของถุงมือและเศษผ้า รวมทั้งมีสุ่มตรวจวิเคราะห์น้ำทิ้งจากการซักล้างถุงมือและเศษผ้าเพื่อประเมินผลกระทบที่อาจเกิดจากการทิ้งน้ำซักล้างดังกล่าว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การลดค่าใช้จ่าย การวิเคราะห์การลดค่าใช้จ่ายจะคำนวณจากค่าใช้จ่ายในส่วนการสั่งซื้อถุงมือและเศษผ้า ปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการขนส่งไปกำจัด มาเพื่อประเมินการลดค่าใช้จ่ายของโรงงานในการดำเนินการตลอดทั้งปีงบประมาณ 2023 เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่โรงงานต้องทำการสั่งซื้อถุงมือและเศษผ้า ปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการขนส่งไปกำจัด ปีงบประมาณ 2022



รูปที่ 2 ผังจุดสำหรับวางถังขยะคัดแยกของโรงงาน 1

รูปที่ 3 พื้นที่สำหรับทิ้งขยะส่งไปกำจัด

รูปที่ 4 พื้นที่สำหรับทิ้งขยะส่งไปรีไซเคิล

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณถุงมือและเศษผ้าที่คัดแยกได้ภายในโรงงาน ที่สามารถส่งไปรีไซเคิลของโรงงานย่อยต่างๆภายในโรงงาน แสดงในตารางที่ 1 ถุงมือและเศษผ้าที่ส่งไปรีไซเคิลได้ทั้งหมด 427 กิโลกรัม โดยโรงงานที่ 1 มีปริมาณถุงมือและเศษผ้าส่งไปรีไซเคิลมากที่สุดตามมาด้วย โรงงานที่ 2 , โรงงาน ODM และ โรงงานที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีการดำเนินการขออนุญาตตามกฎหมาย [4] ก่อนนำของเสียออกนอกบริเวณโรงงานและเปลี่ยนแปลงประเภทของรหัสของเสียที่ชัดเจน แสดงดังตารางที่ 2

โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทและปริมาณถุงมือและเศษผ้าที่รีไซเคิลได้ 6 ชนิด ได้แก่ 1) NYLON COAT PU GLOVE (ถุงมือไนลอน), 2) TC GLOVES (ถุงมือผ้าสีขาว), 3) PVC GLOVE (ถุงมือยาง), 4) CHEMICAL SHOWA 720 (ถุงมือยางสีน้ำเงิน), 5) CHEMICAL GLOVES (ถุงมือเคมีสีฟ้า) และ 6) เศษผ้าขาว (ดูรูปที่ 5 ประกอบ) มีค่าเปอร์เซ็นต์ของการรีไซเคิล สรุปแสดงดังตารางที่ 3 จากตารางที่ 3 พบว่า NYLON COAT PU GLOVE (ถุงมือไนลอน) มีเปอร์เซ็นต์การรีไซเคิลกลับมาใช้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามมีถุงมือและเศษผ้าที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้เช่นขยะอื่น ๆ ที่ปะปนหรือถุงมือและเศษผ้าที่ชำรุดที่ถูกส่งกลับมา คิดเป็นประมาณ 12% ของถุงมือและเศษผ้าที่ส่งไปรีไซเคิลทั้งหมด จากข้อมูลทั้งหมด สามารถนำมาประเมินค่าใช้จ่ายต่าง ๆ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเมื่อทำโครงการตลอดทั้งปีงบประมาณ 1,848,000 บาท คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดได้เมื่อเทียบกับปีงบประมาณ 2022 คิดเป็นค่าใช้จ่ายลดลง 14.40% และสามารถลดปริมาณของเสียตลอดทั้งปีงบประมาณได้ 5,124 กิโลกรัม ลดค่าใช้จ่ายในการส่งไปกำจัดประมาณ 22,000 บาทต่อปี ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่สามารถลดลงได้เมื่อทำโครงการตลอดทั้งปีประมาณ 1,870,000 บาทต่อปี (ดูตารางที่ 4 ประกอบ)

ตารางที่ 1 ตารางปริมาณการส่งถุงมือและเศษผ้าไปรีไซเคิลของแต่ละโรงงาน

โรงงาน	ถุงมือ	เศษผ้า	หน่วย
โรงงานที่ 1	134.69	0	กก.
โรงงานที่ 2	108.9	3.2	กก.
โรงงานที่ 3	63.1	18.91	กก.
โรงงาน ODM	98.2	0	กก.
รวม	404.89	22.11	กก.

ตารางที่ 2 ตารางการเปลี่ยนแปลงก่อนขออนุญาต – หลังอนุญาต

ก่อนขออนุญาต	หลังอนุญาต
15 02 02	15 02 02
Contaminate Garbage (ขยะปนเปื้อนน้ำมัน,สารเคมี)	ถุงมือและเศษผ้าปนเปื้อน
042 ทำเชื้อเพลิงผสม (fuel blending)	049 นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (other recycle methods)

ตารางที่ 3 ประเภทและปริมาณถุงมือและเศษผ้าที่รีไซเคิลได้และเปอร์เซ็นต์ของการรีไซเคิล

ชนิดถุงมือและเศษผ้า	ปริมาณการรีไซเคิล	หน่วย	เปอร์เซ็นต์การรีไซเคิล
1.NYLON COAT PU GLOVE (ถุงมือไนลอน)	115	กก.	26.93
2.PVC GLOVES (ถุงมือยาง)	90	กก.	21.08
3.TC GLOVES (ถุงมือผ้าสีขาว)	71	กก.	16.63
4.CHEMICAL SHOWA 720 (ถุงมือยางสีน้ำเงิน)	68	กก.	15.92
5.CHEMICAL GLOVES (ถุงมือเคมีสีฟ้า)	11	กก.	2.58
6.เศษผ้าขาว	22	กก.	5.15

ตารางที่ 4 การประเมินค่าใช้จ่ายที่ลดลง จากการดำเนินการรีไซเคิลถุงมือและเศษผ้าที่ใช้แล้ว

รายการ	**ต่อเดือน**	**ต่อปี**	**ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีงบประมาณ 2022**
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ	154,000	1,848,000	14.40%
ค่าใช้จ่ายในการส่งขยะ Contaminated Garbage ไปกำจัด	1,834	22,000	2.45%
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	155,834	1,870,000	8.5%

LINE/PRODUCT	ก่อนซัก	หลังซัก
TC GLOVES (ถุงมือผ้าสีขาว)		
NYLON COAT PU GLOVE		
PVC GLOVES (ถุงมือยาง)		
CHEMICAL SHOWA 720		
CHEMICAL GLOVES เคมีสีฟ้า		
เศษผ้าขาว		

รูปที่ 5 ตัวอย่างถุงมือและเศษผ้าแต่ละชนิดที่นำไปรีไซเคิล

เมื่อพิจารณาผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการซักทำความสะอาด (Influent) และหลังการบำบัด (Effluent) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า Effluent มีค่าของแต่ละพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้ไม่เกินค่ามาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานตามประกาศจากกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2560

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง (บริษัทรับจ้างซักทำความสะอาดถุงมือและเศษผ้า, กันยายน 2566)

ลำดับ	Parameter	Unit	Method	Influent	Effluent	มาตรฐาน
1	Temperature	°C	Thermometer	-	31.0	ไม่เกิน 40
2	Color (Original pH)	ADMI	ADMI WEIGHTED-ORDINATE SPECTROPHOTOMETRIC	-	15	ไม่เกิน 300
3	Colour (pH 7.0)	ADMI	ADMI WEIGHTED-ORDINATE SPECTROPHOTOMETRIC	-	14	ไม่เกิน 300
4	pH (at 25 °C)	-	Electrometric	8.2	8.2	5.5 – 9.0
5	BOD	mg/l	5-Days BOD Test	102	4.5	ไม่เกิน 20
6	COD	mg/l	Close Reflux	230	30	ไม่เกิน 120
7	Total Suspended Solids	mg/l	Dried at 103-105 °C	67.3	2.7	ไม่เกิน 50
8	Total Dissolved Solids	mg/l	Dried at 180 °C	678	668	ไม่เกิน 3000
9	Grease & Oil	mg/l	Pertition Gravimetric	27	<5	ไม่เกิน 5
10	Total Kjeldahl Nitrogen	mg/l	Kjeldahl	-	1.68	ไม่เกิน 100

สรุปผล

การนำถุงมือและเศษผ้ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่สามารถลดปริมาณถุงมือและเศษผ้าปนเปื้อนคราบน้ำมันได้ 5,124 กิโลกรัมต่อปี และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อถุงมือและเศษผ้าใหม่และลดค่าใช้จ่ายในการส่งไปกำจัด ทั้งหมด 1.87 ล้านบาทต่อปี น้ำที่ระบายทิ้งจากกระบวนการซักล้างมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานตามประกาศจากกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2560

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ทางสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้รับความร่วมมือ ความช่วยเหลือ ตลอดจนข้อมูลต่างๆ เป็นอย่างดี จากบริษัท ไดกิ้น คอมเพรสเซอร์ อินดัสทรีส์ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

[1] มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน.(2556). กฎหมายและองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอันตราย . https://www.saranukromthai.or.th/sub /book/book.php?book=17&chap=5&page=t17-5-infodetail09.html

[2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2556). กฎหมายเกี่ยวกับกากอุตสาหกรรม สำหรับโรงงานก่อกำเนิด. https://www.boi.go.th/upload/content/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E8%A1%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99_94048.pdf.

[3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). คู่มือ 3R กับการจัดการของเสียภายในโรงงาน. http://webintra.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_AD3Rs.pdf

[4] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2567). การขออนุญาตนาสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2). https://www.diw.go.th/manual/waste/waste-28.pdf

10R2-09

การประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำขนาดเล็ก

Application of Porous Concrete in Environmental Engineering for the Nursery of Small Aquatic Animals

ถนัดกิจ ชารีรัตน์[1*] บุศราพร เลิศศรี[2] และ อริสรา ยามสุข[2]
Thanudkij Chareerat[1*] Busaraporn Lertsri[2] and Arisara Yamsuk[2]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์; [2] วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190
[*]โทรศัพท์ : 045-353300 โทรสาร : 045-353333., E-mail : thanudkij.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ปะการังเทียมที่ผลิตจากคอนกรีตพรุนในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เพื่อลดปัญหาการใช้ปะการังเทียมจากวัสดุในรูปแบบเดิมที่อาจก่อทำให้เกิดมลภาวะต่อแหล่งน้ำ มีการทดสอบคุณภาพน้ำของบ่อสำหรับอนุบาลสัตว์เล็กและการเจริญเติบโตของปลาที่ใช้ปะการังคอนกรีตพรุนเปรียบเทียบกับปะการังพีวีซี จากการทดลอง พบว่า ปะการังคอนกรีตพรุนที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่จะมีค่าความเป็นด่างสูง ผู้วิจัยได้ทดลองนำภูมิปัญญาชาวบ้านมาประยุกต์ใช้เพื่อลดความเป็นด่างของปะการังคอนกรีตพรุน พบว่า การใช้ต้นกล้วยหั่นสามารถปรับค่าความเป็นด่างของปะการังคอนกรีตพรุนจนได้ค่าที่เหมาะสมกับการนำไปทดลองเลี้ยงปลานิลได้ดีที่สุด กล่าวคือ ให้ค่า pH อยู่ที่ 6-9 ทั้งนี้ การใช้น้ำประปาอย่างเดียวไม่สามารถลดความเป็นด่างของปะการังคอนกรีตพรุนได้ ขณะที่การใช้ใบหูกวางบดให้ค่า pH ที่มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ โดยให้ค่า pH อยู่ที่ 4-6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมกับการทดลองเลี้ยง จากการทดลองเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ 1 โดยใช้ปะการังพีวีซีและบ่อที่ 2 ทดลองเลี้ยงโดยใช้ปะการังคอนกรีตพรุน พร้อมกับการเติมออกซิเจนลงในบ่อ และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตด้วยการวัดขนาดปลานิลจำนวน 3 ครั้ง ในระยะเวลาการเลี้ยง 1 เดือน พบว่า บ่อที่ทดลองเลี้ยงด้วยปะการังคอนกรีตพรุนมีขนาดตัวที่ใหญ่กว่าบ่อที่ใช้ปะการังพีวีซีและการเติมออกซิเจนสามารถชะลอการเน่าเสียของน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นสรุปได้ว่า การเลี้ยงปลานิลโดยการใช้ปะการังคอนกรีตพรุนเจริญเติบโตได้ดี ปะการังคอนกรีตพรุนมีรูปร่างที่ดึงดูดให้ปลานิลเข้าไปหลบซ่อนตัว โดยนอกจากจะเป็นที่หลบซ่อนตัว ที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำแล้ว ปะการังคอนกรีตพรุนยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ทำลายระบบนิเวศ สามารถลดการใช้พลาสติกได้ มีต้นทุนต่ำกว่าปะการังพีวีซี แข็งแรงทนทาน มีน้ำหนักมากพอที่จะต้านการไหลของน้ำได้ เหมาะแก่การนำมาอนุบาลสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : คอนกรีตพรุน; ปะการังเทียม; การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Abstract

This research aims to study the application of artificial corals from porous concrete in environmental engineering to reduce the problem of using artificial corals from traditional materials that may cause pollution to water sources. Water quality of nursery ponds and fish growth were tested using porous concrete corals compared to PVC corals. From the test, it was found that the newly synthesized porous concrete coral had a high alkalinity. The local wisdom was then applied to reduce the alkalinity of porous concrete corals and was found that the use of sliced banana trunk can adjust the alkalinity of porous concrete corals. The most proper pH value of water for Tilapia farming was found at 6-9. Using of tap water alone cannot reduce the alkalinity of corals whereas the use of ground Indian almond leaves revealed mildly acidic, pH of 4-6 which is

not proper for Tilapia farming experiments. In comparison between the farming of Tilapia in the 1st pond using PVC corals, and the 2nd pond, using porous concrete corals with oxygenation in the both experimental ponds. By measuring the size of Tilapia for 3 times in a 1-month period, it was found that the pond fed with porous concrete corals were larger than those using PVC corals. In addition, the use of oxygenation can slow down the spoilage of water very well. It can be, therefore, concluded that Tilapia grows well by using porous concrete corals. This owing to porous concrete corals has an attractive shape for Tilapia to hide. Not only being a hiding habitat for aquatic animals, porous concrete coral is also environmental friendly material. Furthermore, it does not destroy the ecosystem, reduce the use of plastic and has a lower cost than PVC corals, strong, durable and itself has enough weight to resist the flow of water, therefore, proper for using in further aquatic animals farming.

Keywords : porous concrete; artificial corals; aquatic animals farming

บทนำ

จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้น ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรสัตว์น้ำตามธรรมชาติที่มีปริมาณลดน้อยลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการในการบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้น อาชีพการเพาะเลี้ยงปลาสัตว์น้ำจึงยังเป็นอาชีพที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่สามารถยึดเป็นอาชีพหลักหรืออาชีพเสริมได้ จากการศึกษาพบว่าปลานิลในวัยอ่อนหรือสัตว์น้ำอื่นๆ มักจะหาที่หลบซ่อนตัวเพื่อวางไข่หรือซ่อนตัวจากสัตว์อื่นที่จะมากินไข่หรือลูกปลาในวัยอ่อนได้ ที่อยู่อาศัยจึงจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำขนาดเล็กเพื่อการอยู่รอดและเป็นแหล่งสะสมอาหารที่มีความอุดมสมบูรณ์อีกด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการเลือกใช้คอนกรีตพรุน [1] มาประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมในรูปแบบปะการังเทียม [2] ใช้เป็นที่อยู่อาศัยและที่หลบซ่อนตัวสำหรับสัตว์น้ำด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนหลากหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาการใช้ปะการังเทียมจากวัสดุในรูปแบบเดิมที่อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ อาทิ เศษซากโลหะเก่าจากโบกี้รถไฟ ซากรถถัง ซากรถยนต์ และซากยางรถยนต์ เป็นต้น

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การผลิตปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุน

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้หินบะซอลต์ขนาด ¾ นิ้วในพื้นที่ จ.อุบลราชธานี เป็นมวลรวมหยาบ [3-4] สำหรับผลิตคอนกรีตพรุนที่อัตราส่วนโพรงอยู่ในช่วง 30 - 35% (การผลิตคอนกรีตพรุนและวัดค่าอัตราส่วนโพรง ดำเนินการตามข้อแนะนำที่ได้ให้ไว้โดย Committee for Eco-concrete research [2]) และใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. สำหรับเป็นโมลในการอนุบาลสัตว์น้ำขนาดเล็ก บล็อกไม้รูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 15x15x15 ซม.^{3} และรูปทรงหกเหลี่ยม ขนาดด้านละ 15 ซม. การผสมคอนกรีตพรุนและการทำตัวอย่างให้แน่น ทำได้โดยผสมซีเมนต์เพสต์จนเนื้อซีเมนต์เพสต์เข้ากันได้ดี 4-5 นาที ใส่มวลรวมหยาบในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (รูปที่ 2) ลงในส่วนผสมต่อไปอีก 3 นาที แล้วนำส่วนผสมที่ได้เทลงในแบบหล่อ ปาดหน้าให้เรียบและทิ้งให้แข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบ

รูปที่ 1 โครงสร้างที่ได้ออกแบบสำหรับผลิตปะการังเทียม

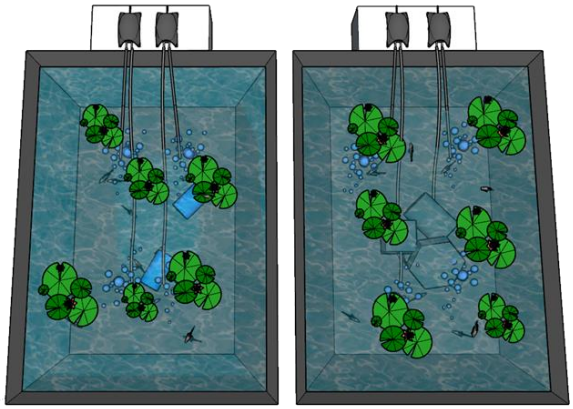
รูปที่ 2 ตัวอย่างมวลรวมหยาบในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

การศึกษาคุณภาพน้ำของบ่อสำหรับอนุบาลสัตว์เล็ก

เนื่องจากคอนกรีตพรุนที่ผลิตได้มีความเป็นด่างสูง จึงต้องมีการปรับสภาพน้ำในบ่อเพื่อลดค่าความเป็นด่างสูงดังกล่าวลง ด้วยต้นกล้วยหั่นเปรียบเทียบกับใบหูกวางบดในถังที่มีน้ำปริมาตร 60 ลิตร (แยกถัง) เพื่อให้มีสภาพ pH ที่เหมาะกับการดำรงชีพของสัตว์น้ำขนาดเล็ก บ่อที่ใช้จะเป็นบ่อรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความจุ 200 ลิตร ก่อนทำการเพาะเลี้ยงจะมีการวัดค่า pH และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ก่อนปล่อยปลาขนาดเล็กลงไปจำนวนบ่อละ 20 ตัวเท่ากัน

การศึกษาการเจริญเติบโตของปลา

มีการวัดขนาดการเจริญเติบโตของปลาตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยง 1 เดือน ทั้งนี้มีการใช้เครื่องผลิตออกซิเจน [5] จำนวน 4 เครื่อง พร้อมหัวฟู่/หัวทราย สายออกซิเจนและวาล์วปรับลม รูปแบบการจัดบ่อแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่ บ่อที่ใช้ท่อ PVC และบ่อที่ใช้ปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุนมาใช้ในการเลี้ยง



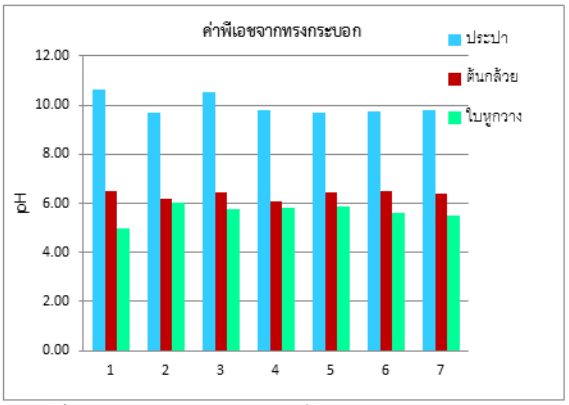
ก) บ่อที่ 1 ใช้ PVC ข) บ่อที่ 2 ใช้คอนกรีตพรุน

รูปที่ 3 รูปแบบการจัดบ่อสำหรับอนุบาลสัตว์น้ำ

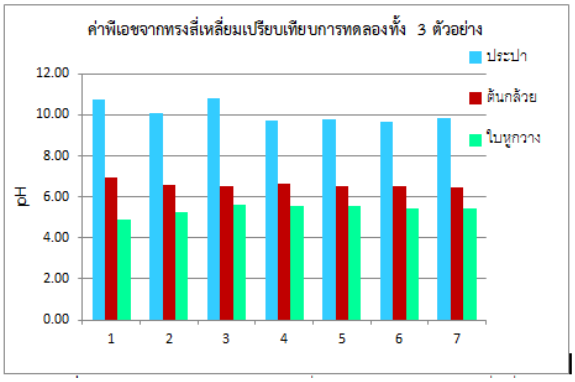
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำของบ่อสำหรับอนุบาลสัตว์เล็ก

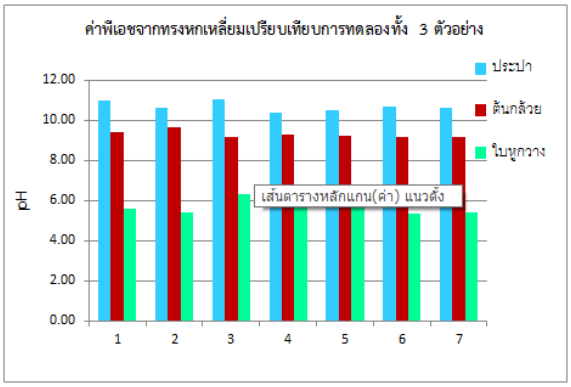
จากกราฟในรูปที่ 4 5 และ 6 จะเห็นว่า การใช้ต้นกล้วยหั่นในการทดลองได้ผลดีที่สุด เนื่องจากค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับอัตราการอยู่รอดของปลา โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 6-9 ซึ่งเป็นช่วงที่ปลาสามารถดำรงชีวิตได้โดยไม่เกิดอันตรายและเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำที่สุด ค่า pH ที่ได้จากน้ำประปานั้นยังมีสภาพความเป็นด่างสูงเกินไป ขณะที่ค่า pH ที่ได้จากน้ำใบหูกวางบดมีสภาพความเป็นกรดอ่อนๆ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เช่นกัน เนื่องจากค่า pH ของน้ำที่ต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้ครีบของปลาเกิดการกร่อน เกิดการระคายเคืองขึ้นที่เหงือกและตายได้ในที่สุด



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH ของคอนกรีตพรุนรูปทรงกระบอกเทียบกับระยะเวลา (วัน)

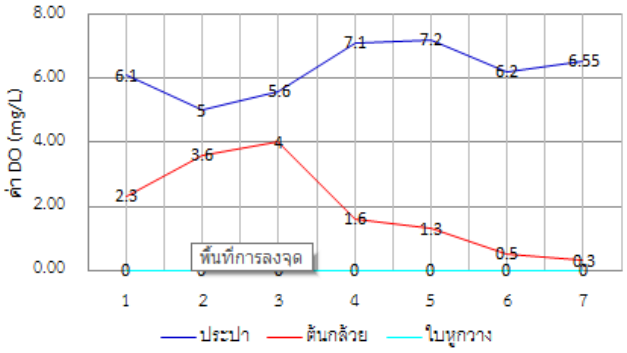


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH ของคอนกรีตพรุนรูปทรงสี่เหลี่ยมเทียบกับระยะเวลา (วัน)



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH ของคอนกรีตพรุนรูปทรงหกเหลี่ยมเทียบกับระยะเวลา (วัน)

จากรูปที่ 7 พบว่า ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) จากการทดลองแช่ต้นกล้วยหั่นและใบหูกวางบดทิ้งไว้ 7 วันพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตได้และเกิดการเน่าเสียในที่สุด แต่เมื่อนำไปใช้จริง ผู้วิจัยไม่ได้ทำการใส่ต้นกล้วยหั่นหรือใบหูกวางบดลงไปในบ่อที่ทำการปรับสภาพ pH อีกต่อไปเพื่อเริ่มการทดลองเลี้ยง โดยภายหลังจากการใช้เครื่องออกซิเจนในการเติมอากาศร่วมด้วย ทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ในบ่อทดลองเลี้ยงกลับมาอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารถอาศัยอยู่ได้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้น้ำที่เตรียมจากต้นกล้วยหั่นซึ่งมีค่า pH ที่เหมาะสมและมีค่าอัตราการอยู่รอดของปลานิลที่มากกว่าการใช้น้ำประปาและการใช้น้ำที่แช่ใบหูกวางบด



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบของค่า DO ของน้ำประปา น้ำที่แช่ด้วยต้นกล้วยหั่นและน้ำที่แช่ใบหูกวางบดที่มีคอนกรีตพรุนรูปทรงสี่เหลี่ยมแช่อยู่ที่ระยะเวลา 1-7 วัน ตามลำดับ

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลา

จากการทดลองเลี้ยงปลาจากฟาร์มในอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ทั้งหมดจำนวน 40 ตัว โดยแบ่งเป็น 2 บ่อ คือ บ่อที่ใช้ปะการังเทียมจากท่อ PVC จำนวน 20 ตัว และบ่อที่ใช้ปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุนจำนวน 20 ตัว และใช้เครื่องออกซิเจนในการเติมอากาศ [5] จำนวน 4 เครื่อง แบ่งเป็นบ่อละ 2 เครื่อง ระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยง 1 เดือน

ผลการวัดการเจริญเติบโตของปลา พบว่า การใช้ปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุนให้ผลผลิตดีกว่าปะการังเทียมจากท่อ PVC เนื่องจากลักษณะของปะการังเทียมที่สร้างเพื่อดึงดูดฝูงปลามักนิยมสร้างให้มีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อนต่างจากปะการังเทียมจากท่อ PVC ที่มีโครงสร้างเรียบง่ายและมีเพียงรูกลวง ไม่เหมาะสมต่อการหลบซ่อนและพรางตัวของสัตว์น้ำขนาดเล็ก ดังนั้นการสร้างปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุนที่มีโครงสร้างซับซ้อนสำหรับสัตว์น้ำขนาดเล็กจำพวกปลาเพื่อเข้าไปอยู่อาศัย ดำรงชีพและใช้เป็นที่หลบภัยจึงมีความเหมาะสมมากกว่าและให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ดังแสดงในรูปที่ 8

ครั้งที่	ปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุน		ปะการังเทียมจากท่อPVC	
	ขนาด (cm.)	รูปประกอบ	ขนาด (cm.)	รูปประกอบ
1 วัดขนาดก่อนปล่อยลงบ่อ	3.8		3.8	
2 วัดขนาดหลังจากปล่อยลงบ่อ 2 สัปดาห์	6		5.5	
3 วัดขนาดหลังจากปล่อยลงบ่อ 5 สัปดาห์	10		7.5	

รูปที่ 8 ผลการเจริญเติบโตของปลาที่ระยะเวลาเลี้ยง 1 เดือน

การเพิ่มออกซิเจนเพื่อปรับค่าค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

วิธีการเติมออกซิเจนโดยใช้เครื่องเติมอากาศ เป็นวิธีเพิ่มออกซิเจน โดยใช้เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ เพื่อปรับปริมาณออกซิเจนในน้ำให้สม่ำเสมอเหมาะกับการเจริญเติบโตของปลา ช่วยให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลาสามารถอาศัยอยู่ได้ ผู้วิจัยได้ทำการเปิดเครื่องออกซิเจนเพื่อเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 9

ระดับการเปิด	บ่อปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุน		บ่อปะการังเทียมจากท่อ PVC	
	ระยะเวลาการเน่าเสียของน้ำ(วัน)	ค่า D.O. (mg/L)	ระยะเวลาการเน่าเสียของน้ำ(วัน)	ค่า D.O. (mg/L)
ระดับกลาง	9	6.4	9	7.2
ระดับสูงสุด	13	6.7	15	8

หมายเหตุ หากไม่ทำการเปิดเครื่องผลิตออกซิเจน น้ำในบ่อทดลองจะเน่าเสียภายในระยะเวลา 5-7 วัน

รูปที่ 9 ผลการทดลองเพิ่มออกซิเจนเพื่อปรับค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

สรุปผล

จากผลการทดลอง พบว่า คอนกรีตพรุนที่นำมาใช้ในการสร้างปะการังเทียมมีฤทธิ์ความเป็นด่างสูง การลดความเป็นด่างของคอนกรีตพรุนลง ทำได้โดยการใช้ต้นกล้วยหั่น เนื่องจากหยวกต้นกล้วยมีฤทธิ์เป็นกรดจะทำให้ปะการังเทียมคอนกรีตพรุนมีสภาพเป็นกลางได้ เมื่อได้ปะการังเทียมที่ค่า pH เป็นกลาง และได้ทำการทดลองเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเปรียบเทียบกับท่อ PVC ที่ระยะเวลา 1 เดือน พบว่า การใช้ปะการังเทียมจากคอนกรีตพรุนให้ผลผลิตที่ดีกว่าปะการังเทียมจากท่อ PVC

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ถนัดกิจ ชารีรัตน์ ปริญญา จินดาประเสริฐ และ Shigemitsu Hatanaka, คอนกรีตพรุน: คอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551. 14-16 พฤษภาคม 2551, โรงแรมจอมเทียน ปาล์มบีช พัทยา, จ.ชลบุรี, หน้า 296

[2] Proceedings of the JCI Symposium on Design, Construction and Recent Applications of Porous Concrete, Japan Concrete Institute. 2004

[3] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล: คู่มือการทดสอบคุณภาพของปูนซีเมนต์ มวลรวมและคอนกรีต. กรุงเทพฯ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี. 2556

[4] วันชัย สะตะ: การใช้เศษวัสดุเป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตพรุน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. 2556

[5] พงษ์พันธ์ ราชภักดี และคณะ: รายงานการวิจัยเครื่องเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2562

10R2-10

การประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมของร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลระดับชุมชน

Assessment of Environmental Sanitation of the Recyclable Waste Shop in the Community

กุลวรรณ โสรัจจ์[1]* อนุวัฒน์ ยินดีสุข[1] และ ธีรวรรณ บุญโทแสง[1]

Kunlawan Sorach[1]* Anuwat Yindeesuk[1] Teerawan Boonthosaeng[1]

[1]อาจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

*โทรศัพท์ : 045 352000 ต่อ 1412, โทรสาร : 045 352070, E-mail : sorach.k@gmail.com

บทคัดย่อ

การประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมของร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลระดับชุมชน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ พื้นที่ในการวิจัยคือตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี โดยทำการสำรวจระยะดำเนินกิจการ ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 – ตุลาคม พ.ศ. 2563 ประชากรกลุ่มตัวอย่าง คือ ร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิล จำนวน 61 ราย ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ขยะรวมทุกประเภท 7 ราย ขยะพลาสติก 20 ราย ขยะอิเล็กทรอนิกส์ 13 ราย ซากรถจักรยานยนต์ 9 ราย และ ซากรถยนต์ 11 ราย และขยะถุงน้ำยาล้างไต 1 ราย พบว่ามีใบอนุญาตขายทอดตลาดและค้าของเก่า ร้อยละ 87.61 แต่มีใบอนุญาตประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ร้อยละ 37.70 โดยส่วนใหญ่เริ่มดำเนินการมากกว่า 10 ปี ร้อยละ 55.74 และมีพื้นที่ 1-5 ไร่ ร้อยละ 65.57 โดยส่วนใหญ่ดำเนินกิจการกระจายในชุมชนรัศมี 1 กิโลเมตร การประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการคัดแยกและรีไซเคิลขยะโดยรวมพบว่าผ่านมาตรฐานมากที่สุดในหมวดเครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ (ร้อยละ 79.78), หมวดสุขลักษณะสถานประกอบการ (ร้อยละ 77.23) และหมวดการจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ (ร้อยละ 75.96) และ ผ่านมาตรฐานต่ำสุดในหมวดการจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง (ร้อยละ 63.93) และ หมวดความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน (ร้อยละ 64.68) เมื่อพิจารณาประเภทของกิจการพบว่า ประเภทขยะพลาสติก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสูงสุด (ร้อยละ 76.53) สรุปผลการประเมินเฉลี่ยของร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลในพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ดี

คำสำคัญ : ร้านรับซื้อของเก่า; ขยะรีไซเคิล; สุขาภิบาล; สิ่งแวดล้อม

Abstract

The environmental sanitation of the recycle waste shops in Ban Kok Subdistrict Khueang Nai District Ubon Ratchathani was studied from October 2019 to October 2020. An evaluation of the environmental sanitation of the workplaces was carried out in 61 locations which were divided into 6 categories as follows: 7 whole recyclable waste, 20 plastic waste, 13 Electronic waste, 9 Motorcycle wreckage, 1 Car wreckage, and 1 dialysis solution bag waste. They were found that 87.61% had an authorized license. However, 37.70 % were found to have a harmful to health business license. Most businesses had been operating for over 10 years (55.74%) and had an area between 1 to 5 rai (65.57%); Most were located within a 1-kilometer radius of the community. The environmental sanitation assessment of the workplace regarding the overall separation and recycling of waste found that the highest standards were in the categories of machinery, tools, appliances, and equipment (79.78%). The sanitation establishments were evaluated at 77.23%, with drinking water

management at 75.96%, and the lowest standards for pollution management were for air and noise pollution at 63.93% along with safety, occupational health and hygiene of the workers which was measured at 64.68%. Regarding the type of waste found to have the highest standard was plastic waste at 76.53 %. In summary, the environmental sanitation assessments of the recyclable waste shops in this area were considered 'good'.

Keywords : Junk shops; Recyclable waste; Sanitation; Environment

บทนำ

จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษในปี 2566 พบว่าขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีปริมาณสูงถึง 25.7 ล้านตัน ขยะมูลฝอยมีการคัดแยก และนำกลับไปใช้ประโยชน์ จำนวน 8.8 ล้านตัน (ร้อยละ 34 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น) โดยการนำขยะ ของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้โดยนำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เช่น แก้ว กระดาษ กระป๋อง พลาสติก โลหะ เป็นต้น [1] ซึ่งปริมาณการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรม ปี 2560 พบว่ามีปริมาณขยะที่นำมาใช้ประโยชน์ 11.872 ตัน โดยมาจากการซื้อขายในชุมชน 7.16 ตัน และการแลกเปลี่ยนระหว่างอุตสาหกรรม 4.71 ตัน โดยชนิดของขยะรีไซเคิลที่นำมาแปรรูปกลับมาใช้ใหม่แยกตามประเภท ได้แก่ กระดาษ อะลูมิเนียม พลาสติก แก้ว โลหะ และ ยาง เป็นปริมาณร้อยละของขยะที่เกิดขึ้นเท่ากับ 82, 77, 70, 65, 46, 42 ตามลำดับ การซื้อขายขยะในชุมชนนั้นเป็นกระบวนการนำขยะมาใช้ประโยชน์ผ่านทางร้านรับซื้อของเก่าซึ่งเป็นกิจการที่แพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากไม่ต้องใช้ต้นทุนสูงมากและดำเนินการได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง นอกจากนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งในการลดปัญหาขยะ ใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าตามหลัก 3R (Reduce, Reuse, Recycle) [2]

อย่างไรก็ตามร้านรับซื้อของเก่านับว่าเป็นการประกอบกิจการการสะสมวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้ว หรือเหลือใช้ หมายถึงสถานที่ที่เก็บสะสมวัตถุหรือสิ่งของเก่าที่ชำรุดหรือเหลือใช้ ซึ่งหมายความถึงการค้าขายของเก่าที่เหลือทิ้ง เช่น เศษเหล็ก ขวดแก้ว หนังสือพิมพ์เก่า กล่องกระดาษ เป็นต้น ซึ่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535 โดยหมายถึงกิจกรรมที่มีกระบวนการผลิตหรือกรรมวิธีการผลิตที่ก่อให้เกิดมลพิษหรือสิ่งที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงนั้นๆ [3] ไม่ว่าจะเป็นเรื่องมลพิษทางอากาศ น้ำ ดิน เสียง แสง ความร้อน ความสั่นสะเทือน เป็นต้น โดยกิจการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ พลาสติก, แก้ว, โลหะ/กระดาษ, ขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าในปี 2550 มีร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศ 10,200 ร้าน จำนวนร้านรับซื้อของเก่าเมื่อจำแนกตามภูมิภาคพบว่า กรุงเทพและปริมณฑล ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกและภาคใต้ มีจำนวน 3,060 1,836 1,632 1,623 และ 816 ราย ตามลำดับ [4] ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตชุมชน

ในจังหวัดอุบลราชธานีมีชุมชนหนึ่งที่ประชาชนในพื้นที่ส่วนใหญ่มีอาชีพรับซื้อและคัดแยกขยะรีไซเคิลเนื่องจากมีรายได้ดี โดยชุมชนบ้านนาแก้วและบ้านกอก ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน เป็นแหล่งรับซื้อและคัดแยกขยะรีไซเคิลขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในภาคอีสานตอนใต้ซึ่งมีการซื้อและขายขยะรีไซเคิลหลายประเภทตั้งแต่พลาสติก เศษโลหะ ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าไปจนถึงเครื่องยนต์ โดยทำการรับซื้อและคัดแยกเพื่อนำส่งไปรีไซเคิล เนื่องกิจการดังกล่าวลงทุนต่ำและทำกำไรได้มาก จึงมีการเปิดกิจการการรับซื้อของเก่ามากขึ้นตั้งแต่เป็นโรงงานขนาดใหญ่และย่อยไปถึงระดับครัวเรือน ด้วยเหตุนี้จึงมีความแตกต่างของการจัดการสิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการรีไซเคิลทั้งการเก็บ การขนส่ง การคัดแยก รวมไปถึงการกำจัด ทั้งนี้สถานประกอบการรับซื้อของเก่านั้นมีของเก่าหลากหลายประเภทซึ่งประกอบไปด้วยสารพิษต่าง ๆ ที่สามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งดิน น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิต อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ประกอบอาชีพ ประชาชนในชุมชน รวมไปถึงสิ่งแวดล้อมโดยรอบ การจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องตามมาตรฐานเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยจำกัดมลสารจากแหล่งกำเนิดไม่ให้แพร่กระจายและการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการได้ตรงเป้าหมาย วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้คือศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมในสถานประกอบการเพื่อนำไปสู่การจัดการกิจการรับซื้อของเก่าและขยะรีไซเคิลที่ได้มาตรฐาน ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาวิจัยและประชากร

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยกำหนดพื้นที่ในการวิจัย บริเวณพื้นที่ชุมชนบ้านนาแก้วและบ้านกอก ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ประชากรกลุ่มตัวอย่าง คือ ร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิล ในชุมชนบ้านกอก

ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 61 ราย โดยทำการสำรวจระยะดำเนินกิจการ ระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ.2562 – ตุลาคม พ.ศ. 2563

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสำรวจข้อมูลพื้นฐานและแบบประเมินมาตรฐานสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอ้างอิงจากคู่มือประเมินความเสี่ยงด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เพื่อควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535[5] ซึ่งจำแนกออกเป็น 9 หมวด ได้แก่ 1) สุขลักษณะสถานประกอบการ จำนวน 9 ข้อ, 2) ความปลอดภัยของ เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ จำนวน 3 ข้อ, 3) การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ จำนวน 3 ข้อ, 4) การจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง จำนวน 1 ข้อ, 5) การจัดการน้ำเสีย มูลฝอย ของเสียอันตราย และสิ่งปฏิกูลจำนวน 10 ข้อ, 6) การป้องกันเหตุรำคาญ จำนวน 1 ข้อ, 7) ความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน จำนวน 11 ข้อ, 8) การป้องกัน ควบคุม สัตว์และแมลงพาหะนำโรค จำนวน 2 ข้อ และ 9) มาตรการอื่นๆ เช่น การบันทึกข้อมูลปริมาณขยะที่ขายได้และขายไม่ได้ จำนวน 2 ข้อ รวมทั้งหมด 42 ข้อ โดยมีเกณฑ์การประเมินและการแปลผล ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินและการแปลผล

ร้อยละ	ผ่านเกณฑ์ประเมิน (ข้อ)	การแปลผล
>80-100	35-42	ดีมาก
>70-80	30-34	ดี
>60-70	25-29	ปานกลาง
>50-60	21-24	พอใช้
<50	<20	ต้องปรับปรุง

ผลการทดลองและวิจารณ์

สถานประกอบการกิจการร้านรับซื้อของเก่า คัดแยกและรีไซเคิลในพื้นที่บ้านกอก ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี มีทั้งหมด 61 ราย แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ขยะรวมทุกประเภท 7 ราย ขยะพลาสติก 20 ราย ขยะอิเล็กทรอนิกส์ 13 ราย ซากรถจักรยานยนต์ 9 ราย และ ซากรถยนต์ 11 ราย และขยะถุงน้ำยาล้างไต 1 ราย โดยส่วนใหญ่มีที่ตั้งกระจายอยู่ในพื้นที่ชุมชนในรัศมี 1 กิโลเมตร

สถานการณ์ของกิจการรับซื้อของเก่าคัดแยกและรีไซเคิลในพื้นที่

สถานประกอบการในพื้นที่ เปิดทำการทั้งหมด 78 ราย ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล 61 ราย ผลการสำรวจข้อมูลสถานประกอบการคัดแยกขยะรีไซเคิล ส่วนใหญ่เป็นลักษณะสถานประกอบการขนาดใหญ่ ร้อยละ 48.38 ขนาดกลาง ร้อยละ 30.64 และขนาดเล็ก ร้อยละ 20.96 พบว่า เป็นกิจการประเภทโรงงาน ร้อยละ 69.35 และประเภทครัวเรือน ร้อยละ 30.64 ระยะเวลาที่เปิดกิจการ 1-5 ปี ร้อยละ 38.70 รองลงมาคือ 6-10 ปี, น้อยกว่า 1 ปี, 11-15 ปี และ 16-20 ปี ร้อยละ 29.03, 12.90, 12.90 และ 8.06 ตามลำดับ สภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งสถานประกอบการรีไซเคิล ภายในรัศมี 1 กิโลเมตร ได้แก่ โรงเรียน, สถานีอนามัย, ตลาดสด สถานที่จำหน่ายอาหารสด ร้านอาหาร, สถานรับเลี้ยงเด็ก, ลานกีฬา ลานสาธารณะ, แหล่งชุมชน, พื้นที่ทางการเกษตร ร้อยละ 33.9, 33.9, 32.2, 32.2, 35.5, 35.5, และ 51.6 ตามลำดับ ปริมาณการรับซื้อขยะรีไซเคิลโดยเฉลี่ยมากที่สุดที่ 1,501-2,000 กิโลกรัม ร้อยละ 25.80 รองลงมาคือ มากกว่า 2,000 กิโลกรัม, 101-500 กิโลกรัม, 1,001-1,500 กิโลกรัม, น้อยกว่า 100 กิโลกรัม และ 501-1,000 กิโลกรัม ร้อยละ 24.19, 16.12, 16.12, 9.67 และ 8.06 ตามลำดับ และพบประเภทขยะที่รับซื้อมากที่สุดคือ พลาสติก ร้อยละ 56.45 รองลงมาคือ อิเล็กทรอนิกส์, จักรยานยนต์, กระดาษ/ลัง, แก้ว, เหล็ก/โลหะ/อลูมิเนียม, รถยนต์ และขยะประเภทถุงน้ำยาล้างไต ร้อยละ 32.25, 29.03, 17.74, 17.74, 16.12, 6.45 และ 3.22 ตามลำดับ พบวิธีการจัดการขยะก่อนจำหน่ายมากที่สุดคือ การแยกประเภท ร้อยละ 48.38 รองลงมาคือ การแยกชิ้นส่วน, การแปรรูป (ย่อย/แพ็คใหม่) และซื้อ-ขาย ร้อยละ 41.93, 29.03 และ 1.61 ตามลำดับ และพบขยะประเภทที่ไม่สามารถจำหน่ายได้มากที่สุดคือ ฉลากพลาสติกอ่อน ร้อยละ 48.38 รองลงมาคือโฟม ร้อยละ 32.25 และกระจกจอทีวี ร้อยละ 19.35 โดยพบปริมาณเฉลี่ยต่อวันมากที่สุดคือ 101-500 กิโลกรัม, ร้อยละ 40.32 รองลงมาคือ น้อยกว่า 100 กิโลกรัม, 501-1,000 กิโลกรัม, และ 1,001-1,500

กิโลกรัม ร้อยละ 30.64, 24.19 และ 4.83 ตามลำดับ การกำจัดซากขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหลือ (ส่วนที่ไม่สามารถขายได้) โดยทิ้งในบ่อขยะที่ทางเทศบาลตำบลบ้านกอกจัดไว้ ร้อยละ 92 ทิ้งรวมกับขยะทั่วไป ร้อยละ 8 สำหรับของเสียที่เหลือจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ ประเภทน้ำมันหล่อลื่น สารหล่อเย็น จะแยกเก็บในภาชนะเพื่อรอจำหน่าย ร้อยละ 64 ทิ้งรวมกับขยะทั่วไป ร้อยละ 16 และไม่มีของเสียประเภทน้ำมันหล่อลื่น สารหล่อเย็น ร้อยละ 20

ผลการศึกษาการประเมินมาตรฐานสิ่งแวดล้อม

จากผลการศึกษาการประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม 9 หมวด ได้แก่1) สุขลักษณะสถานประกอบการ 2) ความปลอดภัยของ เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ 3) การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ 4) การจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง 5) การจัดการน้ำเสีย มูลฝอย ของเสียอันตราย และสิ่งปฏิกูล 6) การป้องกันเหตุรำคาญ 7) ความปลอดภัย อาชีว อนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน 8) การป้องกัน ควบคุม สัตว์และแมลงพาหะนำโรค 9) มาตรการอื่น ๆ พบว่า มีสถานประกอบการที่ผ่านมาตรฐานตามหมวดหมู่ ร้อยละ 77.23, 79.78, 75.96, 63.93, 71.15, 72.13, 64.68, 73.77 และ 69.67 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 72.03) ในภาพรวม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลสรุปตามเกณฑ์ประเมิน

เกณฑ์ประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
หมวดที่ 1 สุขลักษณะสถานประกอบการ	77.23	4.86	ดี
หมวดที่ 2 เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์	79.78	5.11	ดี
หมวดที่ 3 การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้	75.96	5.18	ดี
หมวดที่ 4 การจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง	63.93	5.36	ปานกลาง
หมวดที่ 5 การจัดการน้ำเสีย มูลฝอย ของเสียอันตราย และสิ่งปฏิกูล	71.15	4.87	ดี
หมวดที่ 6 การป้องกันเหตุรำคาญ	72.13	5.05	ดี
หมวดที่ 7 ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน	64.68	4.29	ปานกลาง
หมวดที่ 8 การป้องกัน ควบคุม สัตว์และแมลงพาหะนำโรค	73.77	5.32	ดี
หมวดที่ 9 มาตรการอื่นๆ	69.67	5.11	ปานกลาง
สรุป	72.03	5.38	ดี

การประเมินมาตรฐานสิ่งแวดล้อมสถานประกอบกิจการรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิล แยกตามหมวดหมู่ หมวดที่ 1 สุขลักษณะสถานประกอบการ พบว่า สถานประกอบการมีการแบ่งพื้นที่เก็บสะสมวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้ให้เป็นสัดส่วนไม่ปะปนกับที่อยู่อาศัย และให้มีพื้นที่อย่างเพียงพอต่อการเก็บสะสมวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้ ผ่านมาตรฐาน ร้อยละ 90.16 และใน หมวดที่ 1.2 มีการจัดเก็บวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้เป็นหมวดหมู่ตามประเภทของวัตถุ ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 90.16 รองลงมา คือ การจัดเก็บวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้ที่ติดไฟได้ง่ายและวัตถุที่มีสารกัดกร่อนเป็นสารประกอบ, จัดให้มีความเข้มของแสงสว่างที่เพียงพอและเหมาะสมกับลักษณะงานตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง, วัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้ ทั้งเป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย ให้แยกเป็นสัดส่วนและมีป้ายแสดงประเภทของวัตถุอันตรายที่เก็บไว้, วางวัตถุหรือสิ่งของชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้ให้เป็นระเบียบ และวางไม่สูงเกินไปจนอาจก่อให้เกิดอันตราย, ไม่เก็บวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้จนเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์นำโรคหรือสัตว์อันตรายและมีการรักษาความสะอาดเพื่อไม่ให้เป็นแหล่งแพร่เชื้อโรค, การขนย้ายวัตถุสิ่งของที่ชำรุดใช้แล้วหรือเหลือใช้โดยใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมและปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ กำหนดแบ่งเขตพื้นที่ควบคุมความสะอาด และมาตรการป้องกัน หรือรักษาความสะอาด ร้อยละ 83.61, 75.41, 73.77,70.49 และ 68.85 ตามลำดับ หมวดที่ 2 ความปลอดภัยของ เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ พบว่าเครื่องมือที่ใช้เหมาะสมกับการใช้งานและมีการตรวจสอบบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพดี ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 85.25 รองลงมาคือ การระบุประเภท จำนวน และขนาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการคัดแยก บด อัด หรืออื่นๆ, การจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงาน เช่น อุปกรณ์ยกวัตถุ รถเข็น ร้อยละ 80.33, 68.85 ตามลำดับ หมวดที่ 3 การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ พบว่ามีน้ำใช้ที่สะอาดและมีปริมาณเพียงพอต่อกิจกรรมการใช้น้ำในแต่ละวัน ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 80.33 รองลงมา การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ มีน้ำดื่มสะอาดไว้บริการสำหรับผู้ปฏิบัติงานอย่างเพียงพอ, สถานที่ตั้งน้ำดื่มควรอยู่คนละบริเวณกับวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุด ร้อยละ 75.41 ตามลำดับ หมวดที่ 4 การจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง พบว่าจัดให้มีระบบป้องกัน ควบคุม บำบัด และกำจัด มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และเหตุรำคาญอื่นๆ ที่เกิด

จากการปฏิบัติงาน ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 60.66 หมวดที่ 5 การจัดการน้ำเสีย มูลฝอย ของเสียอันตราย และสิ่งปฏิกูล พบว่า ดูแลรักษาความสะอาดห้องน้ำและห้องส้วมเป็นประจำทุกวันที่ปฏิบัติงาน ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 80.33 รองลงมา ภายในห้องน้ำและห้องส้วมควรมีวัสดุอุปกรณ์ตามความจำเป็นและเหมาะสมเช่น สบู่, ห้องน้ำ ห้องส้วม ที่ปัสสาวะ และอ่างล้างมือ ตามลักษณะและจำนวนที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารและกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง, จัดให้มีการระบายน้ำที่เหมาะสมไม่มีน้ำท่วมขัง ในกรณีที่มีการระบายน้ำลงสู่สาธารณะให้มีตะแกรงสำหรับดักมูลฝอยและต้องมีการดูแลไม่ให้เกิดการอุดตันและมีวิธีการบำบัดน้ำเสียให้เป็นไปตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ควรมีบ่อดักไขมัน และดูแลมิให้เกิดการหมักหมมของไขมันในบ่อดักหรือใช้การกำจัดไขมันโดยวิธีอื่นใดที่มีผลเช่นเดียวกับบ่อดักไขมัน ร้อยละ 73.77, 68.85, 67.21, 62.30 และ 45.90 ตามลำดับ ไม่ผ่านมาตรฐานเนื่องจากไม่มีบ่อดักไขมัน และขาดการดูแลมิให้เกิดการหมักหมม ร้อยละ 54.10 หมวดที่ 5.7 มีภาชนะบรรจุหรือภาชนะรองรับที่เหมาะสมและเพียงพอกับปริมาณประเภทของขยะที่เกิดขึ้น ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 77.05 รองลงมาคือการกำจัดขยะด้วยตนเอง ซึ่งต้องเป็นวิธีที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลและได้รับความเห็นชอบจากเจ้าพนักงานท้องถิ่นและต้องดำเนินการให้ถูกต้องตามข้อกำหนดของท้องถิ่น

ด้านการจัดการขยะปนเปื้อนสารพิษหรือวัตถุอันตรายที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต้องจัดให้มีระบบป้องกันควบคุมบำบัด และมีวัตถุอันตรายต้องมีสถานที่ที่ปลอดภัยสำหรับเก็บรักษาวัตถุอันตรายหรือสิ่งของที่อาจก่อให้เกิดอันตรายหรืออัคคีภัยได้ง่ายโดยเฉพาะตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ร้อยละ 73.77 และ 68.85 ตามลำดับ ไม่ผ่านมาตรฐาน คือ การมีขยะปนเปื้อนสารพิษหรือวัตถุอันตรายหรือสิ่งอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต้องจัดให้มีระบบป้องกันควบคุมบำบัด และมีวัตถุอันตรายต้องมีสถานที่ปลอดภัยสำหรับเก็บรักษาวัตถุอันตรายหรือสิ่งของที่อาจก่อให้เกิดอันตรายหรืออัคคีภัยได้ง่ายโดยเฉพาะตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ร้อยละ 31.15 หมวดที่ 6 การป้องกันเหตุรำคาญ พบว่า รำคาญ จัดให้มีการควบคุมป้องกันผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของสถานประกอบกิจการ มิให้มีกลิ่นเหม็น เขม่าควัน เสียง และฝุ่น ที่จะทำให้เกิดผลกระทบจนเป็นเหตุรำคาญหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ผู้อยู่อาศัย ใกล้เคียงและผู้ผ่าน ร้อยละ 68.85 ไม่ผ่านมาตรฐาน ร้อยละ 31.15 หมวดที่ 7 ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน ห้ามดำเนินการเผา หลอม สกัด หรือดำเนินกิจกรรมอื่นใดเพื่อการคัดแยกชิ้นส่วนของซากผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นอันตราย ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 78.69 รองลงมา ห้ามพนักงานรับซื้อวัสดุที่ผิดกฎหมายหากปรากฏว่าสิ่งของเก่าที่รับซื้อไว้ต้องสงสัยว่าได้มาจากการกระทำผิด ให้หมายเหตุแจ้งเจ้าหน้าที่ตำรวจพร้อมผลการตรวจสอบ, จัดให้มีการตรวจสุขภาพประจำปีให้แก่พนักงาน/ลูกจ้าง, จัดให้มีและใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลให้เพียงพอและเหมาะสม ตามลักษณะการปฏิบัติงาน, ผู้ประกอบการกิจการและผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับความรู้ด้านสุขอนามัยความปลอดภัยในการประกอบอาชีพ, ผู้ประกอบกิจการควรดูแลให้ผู้ปฏิบัติงานแต่งกายรัดกุมเหมาะสม ปลอดภัยต่อกิจกรรมที่ปฏิบัติในขณะทำงาน จัดให้มีการอบรมให้ความรู้แก่พนักงานเกี่ยวกับการรับซื้อและการคัดแยกของเก่าเพื่อป้องกันอันตรายจากวัสดุที่มีสารอันตรายหรือปนเปื้อนสารอันตราย, จัดให้มีการตรวจสอบระบบไฟให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยปลอดภัยอยู่เสมอและควรติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟดูดหรือลัดวงจร จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันและระงับอัคคีภัย ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารและกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้จะต้องมีการบันทึกการบำรุงรักษาเครื่องดับเพลิงอย่างน้อยทุก 6 เดือน, จัดให้มีตู้ยาพร้อมเวชภัณฑ์ในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา และจัดให้มีป้ายเตือนภัยและข้อปฏิบัติงานติดตั้งตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่สำคัญ ร้อยละ 77.05, 68.85, 65.57, 63.93, 60.66, 59.02, 50.82 และ 40.98 ตามลำดับ ไม่ผ่านมาตรฐานด้านการจัดให้มีป้ายเตือนภัยและข้อปฏิบัติงานติดตั้งตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่สำคัญ ร้อยละ 59.02 หมวดที่ 8 การป้องกัน ควบคุม สัตว์และแมลงพาหะนำโรค พบว่า จัดให้มีการป้องกันควบคุม กำจัดสัตว์และแมลงนำโรค อย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลและทำความสะอาดสถานที่ทำงานและบริเวณที่เก็บสะสมวัสดุอย่างสม่ำเสมอ ผ่านมาตรฐาน ร้อยละ 70.49 หมวดที่ 9 มาตรการอื่น ๆ พบว่า บันทึกปริมาณของที่รับซื้อแหล่งที่มาและปริมาณที่นำไปรีไซเคิลได้หรือใช้ประโยชน์ไม่ได้ ผ่านมาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 70.05 รองลงมา จัดให้มีป้ายแสดงราคารับซื้อพร้อมทั้งระบุประเภทของวัสดุที่รับซื้อ ร้อยละ 62.30 ตามลำดับ ไม่ผ่านมาตรฐานสูงสุด ด้านการจัดให้มีป้ายแสดงราคารับซื้อพร้อมทั้งระบุประเภทของวัสดุที่รับซื้อ ร้อยละ 37.70 เมื่อพิจารณาตามประเภทของกิจการผลการประเมินมาตรฐานสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมสามารถสรุปผลได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินมาตรฐานสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมแยกตามประเภท

ประเภท	จำนวน (n)	ร้อยละ	S.D.	แปลผล
1) รวม	7	62.59	1.19	ปานกลาง
2) พลาสติก	20	76.67	2.51	ดี
3) ซากเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์	13	70.88	1.93	ดี
4) ซากมอเตอร์ไซค์	9	76.98	1.72	ดี
5) ซากรถยนต์	11	64.94	1.18	ปานกลาง
6) ถุงน้ำยาล้างไต	1	69.05	0	ปานกลาง

การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมในชุมชน

หลังจากประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม นักวิจัยร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กลุ่มงานอนามัยสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 12 (อุบลราชธานี) องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านกอก ศูนย์โรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 10 กองอนามัยและสิ่งแวดล้อม ศูนย์อนามัยที่ 7 จังหวัดอุบลราชธานี โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกอก โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกอก จัดการประชุมคืนผลการศึกษาและถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวทางในการปรับปรุงสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการ รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ให้แก่ ผู้ประกอบการ/ผู้ประกอบอาชีพรับซื้อและคัดแยกขยะรีไซเคิล ผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) และประชาชนในพื้นที่ตำบลบ้านกอกให้มีความรู้ ความเข้าใจในการพัฒนาสถานประกอบการของตนเอง รวมถึงชุมชนเพื่อให้มีความตระหนักและเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพต่อไป

สรุป

สรุปการประเมินสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลในพื้นที่ชุมชนบ้านกอก ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า สถานประกอบการส่วนมากยังปฏิบัติไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานพื้นฐานตามคู่มือประเมินความเสี่ยงด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เพื่อควบคุมกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตามพระราชบัญญัติสาธารสาธารณสุข พ.ศ. 2535 พบว่า ผ่านมาตรฐานมากที่สุดในหมวด เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์, หมวดสุขลักษณะสถานประกอบการ และ หมวด การจัดการน้ำดื่ม น้ำใช้ ร้อยละ 79.78, 77.23 และ 75.96 ตามลำดับ และ ผ่านมาตรฐานต่ำสุด ด้าน การจัดการมลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง ร้อยละ 63.93 ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อชุมชน[6] และ ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน ร้อยละ 64.68 เมื่อพิจารณาประเภทของกิจการพบว่าประเภทขยะพลาสติก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสูงสุด ร้อยละ 76.53 สรุปผลการประเมินเฉลี่ยของร้านรับซื้อของเก่าและคัดแยกขยะรีไซเคิลในพื้นที่ อยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งนี้สถานประกอบการควรได้รับความรู้และสนับสนุนการปรับปรุงสถานประกอบการตามบริบทการทำงานอย่างเหมาะสม และชุมชนควรได้รับความรู้เพื่อความตระหนัก รวมถึงเป็นส่วนหนึ่งในการติดตามและเฝ้าระวังให้กิจการในชุมชนมีการดำเนินงานอย่างเหมาะสม เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมที่ดีของชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2561 เรื่อง “การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการประเมินการแพร่กระจายของโลหะหนักเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในชุมชนบ้านนาแก้วและชุมชนบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี” และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในความร่วมมือในการดำเนินงานและการถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ชุมชน

เอกสารอ้างอิง

[1] Pollution Control Department. (2023). Report on Situation of waste disposal in Thailand 2023. Retrieved March 30, 2024, from http://infofile.pcd.go.th/Waste/Wst2018.pdf.

[2] Department of Business Development. (2018). Recycling business. Retrieved July 31, 2019, from http://www.dbd.go.th/download./document_file/Statisic/2561/T26/T26_201805.pdf.

[3] Nakdontree, S., Yasaka, S., and Kiatkijroj, K. (2017). Environmental assessment in recycling shop by garbage collect for worker and people living around Tha Thong, Amphoe Mueang, Phitsanulok Province. Disease Control Journal, 43(1), 56-65.

[4] Pollution Control Department. (2013). Green Junk Store. Retrieved July 30, 2019, from http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_greenantiqueshop.html.

[5] Department of Health. (2016). Guide to Assessing Environmental Health Risks in order to Control Activities that are Harmful to Health According to the Public Health Act 1992. (1). Nonthaburi: Infinity Nonthaburi.

[6] Sorach, K. (2019). The Environmental and Health Impact of recyclable waste shop on the community; Case study of Ban Kok, Khueng Nai, Ubonratchathani. UBRU Journal of Public Health Research. 8(1), 123-127.

10R2-11

การกำจัดโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนในคอนเดนเสทด้วยวัสดุคาร์บอนคอมโพสิตจากกากของเสีย

Treatment of Cadmium contaminated in gas condensate with carbon composite material derived from solid waste

รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย[1*] และ วรกันต์ คุ้มบัณฑิตย[2]
Rattabal Khunphonoi [1*] and Woragun Khumbundit[2]
[1*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[2]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[*]โทรศัพท์ : 087 141 4282 E-mail : rattakh@kku.ac.th

บทคัดย่อ

คอนเดนเสทเป็นหนึ่งในผลิตผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปคอนเดนเสทจะมีการปนเปื้อนโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสีจำนวนมาก ซึ่งถูกระบุว่าเป็นพิษและสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ในโลหะหนักบางชนิด เช่น แคดเมียม ปรอท สารหนู ยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตจากการเข้าไปทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนการแปรรูปคอนเดนเสทส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอย่างลิกนินที่ได้จากโรงงานกระดาษและกากตะกอนจากอุตสาหกรรมเบียร์ที่มีส่วนผสมของซิลิการ์และแคลเซียมมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับในการบำบัดโลหะหนักแคดเมียมภายในคอนเดนเสท โดยผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันและกระบวนการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต พร้อมกับการศึกษาอิทธิพลในการดูดซับอย่างอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนและลิกนินที่สังเคราะห์จากน้ำดำ พบว่าจากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของแคดเมียมในคอนเดนเสท กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลร่วมกับการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีที่มีอัตราส่วนกากตะกอนต่อลิกนินที่ 100% เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเป็นวัสดุดูดซับ โดยสามารถกำจัดแคดเมียมได้อยู่ที่ 61.37 µg/g จากความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมในคอนเดนเสทที่ 151.76 µg/L

คำสำคัญ : กากตะกอน; น้ำดำ; การกำจัดโลหะหนัก; แคดเมียม; ลิกนิน

Abstract

Condensate gas is one of the products from the petroleum industry. It is a low-density hydrocarbon compound. Condensate gas generally contains heavy metal and radioactive contamination. which has been identified as a toxic and carcinogenic substance. In addition, some heavy metals such as cadmium mercury arsenic also affect the production process by reacting with the catalyst in the condensate gas processing process resulting in a reduction in the performance of the catalyst. Therefore, this research aims to remove the heavy metal cadmium contaminants in condensate gas with absorbent materials obtained from hydrothermal processing of industrial waste including lignin from black water paper mills and Sludge from the beer industry and undergone a surface improvement process using a chemical surface activation process with potassium carbonate. This research studied the influence of the proportion between sludge and lignin on cadmium removal efficiency. From the analysis it was found that the condensate contained the heavy metal

cadmium at 151.76 μg/L. When the adsorption test was performed it was found that at a sludge to lignin ratio of 100% the highest cadmium adsorption was possible at 61.37 μg/g and it was found that Chemical stimulation results in an increase in the cadmium adsorption capacity in the condensate gas due to its increased surface area.

Keywords : Condensate gas; Sludge; Black liquor; Heavy metals removal; Cadmium; Lignin

บทนำ

คอนเดนเสท (Condensate gas) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปคอนเดนเสทจะมีการปนเปื้อนโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสี ซึ่งถูกระบุว่าเป็นพิษและสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิดอย่าง แคดเมียม ที่เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นสารที่ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแพร่หลายและก่อให้เกิดโรคกับทางเดินหายใจและทางเดินอาหาร [1] นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในกระบวนการแปรรูปคอนเดนเสทเป็นผลิตภัณฑ์จากการเข้าไปรบกวนตัวเร่งปฏิกิริยาคิวมีนส่งผลให้เกิดความเป็นกรดแล้วเกิดการแตกหักภายในทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง [2] การดูดซับเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการกำจัดโลหะหนักภายในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเนื่องจากมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ โดยคาร์บอนกัมมันต์เองก็เป็นหนึ่งในวัสดุนิยมใช้มากในอุตสาหกรรม

ลิกนินเป็นสารอะโรมาติกที่มีอยู่บนโลกรองจากเซลลูโลส พบมากในน้ำดำจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยธรรมชาติแล้วลิกนินเป็นโพลิเมอร์อะโรมาติกเชิงซ้อนมีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยหลายฟังก์ชันเช่น กลุ่มอีเทอร์ กลุ่มฟีนิลโพรพานอยด์ และพันธะระหว่างคาร์บอน ซึ่งปกติแล้วลิกนินจะเป็นของเสียที่มูลค่าต่ำ แต่จากการศึกษาลิกนินสามารถนำมาแปรรูปเพิ่มประโยชน์ได้อย่างมากในทางเศรษฐกิจอย่างการนำมาเป็นวัสดุดูดซับหรือเป็นใช้เพื่อผลิตสินค้าอุตสาหกรรมต่างเช่น ปุ๋ยชีวภาพ เชื้อเพลง สิ่งทอ อาหารสัตว์เป็นต้น [3]

ซิลิกาบนวัสดุคาร์บอนพบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล เคมี และส่งเสริมให้พื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักดีขึ้น [4], [5] นอกจากนี้แคลเซียมออกไซด์ภายในวัสดุยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะและแคลเซียมไอออนสามารถเข้าไปสลายโปรตรอนไฮรเจนในหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิกส่งผลให้เกิดประจุ $-COO^-$ ทำให้ประสิทธิภาพและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวสามารถดูดซับโลหะหนักแคดเมียมได้ดีขึ้น [6]

จากคุณลักษณะของกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเบียร์ จ.ขอนแก่น พบว่ามีองค์ประกอบของซิลิการ์เป็นสัดส่วนร้อยละ 41.68 ของน้ำหนักเถ้า จึงได้มีแนวคิดที่จะนำกากของเสียน้ำดำ (Black liquor) จากอุตสาหกรรมกระดาษที่ได้จากการฟอกเยื่อมาสังเคราะห์เป็นลิกนินและกากตะกอนมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน (HTC) ร่วมกับการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตเพื่อกำจัดโลหะหนักแคดเมียมในคอนเดนเสทจากบริษัทวีระสุวรรณ จำกัด

อุปกรณ์และวิธีการ

1.การสังเคราะห์ลิกนิน

นำน้ำดำที่เป็นของเสียจากโรงงานกระดาษมาทำการตกตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 1 molar ให้สภาวะความเป็นกรดของน้ำดำอยู่ที่ pH เท่ากับ 2 จากนั้นนำไปแช่เย็นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าตกตะกอนแล้ว จากนั้นนำไปกรองกรดออกด้วยเครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) จะได้ตะกอนของลิกนินออกมาแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงบดเก็บไว้ในภาชนะ

2.การทำไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน

กากตะกอนและลิกนินถูกเตรียมในอัตราส่วนที่ 0% 25% 50% 75% และ 100% โดยน้ำหนัก นำมาผสมกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ด้วยอัตราส่วนของของแข็งต่อน้ำที่ 1:5 จากนั้นนำเข้าเครื่องไฮโดรเทอร์มอลที่อุณภูมิ 220°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงจะได้ไฮโดรชาร์ออกมาให้นำไปอบให้แห้งที่อุณภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และในขั้นตอนนี้วัสดุดูดซับจะถูกระบุรหัสเช่น HTC-25%SL แสดงดึงอัตราส่วนของกากตะกอน 25% ต่อลิกนิน 75% โดยน้ำหนัก

3.การกระตุ้นพื้นผิวด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต

นำไฮโดรชาร์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ผสมรวมกับโพแทสเซียมเซียมคาร์บอเนตในอันตราส่วน 1:2 แล้วบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยการป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไปตลอดจนเสร็จกระบวนการ หลังเสร็จกระบวนการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีค่า pH เป็นกลางแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยในขั้นตอนนี้วัสดุดูดซับจะถูกระบุรหัสเช่น HTC-25%SL แสดงดึงอัตราส่วนของกากตะกอน 25% ต่อลิกนิน 75% โดยน้ำหนัก ที่ถูกกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีที่อุณภูมิ 800 °C

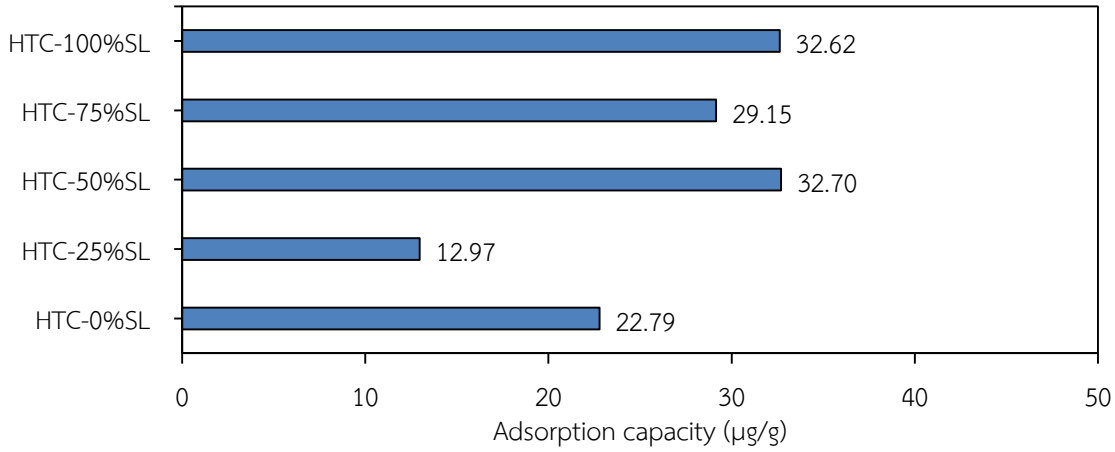
4.การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมในคอนเดนเสท

นำสาระละลายยหรือคอนเดนเสทเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงอนุภาค (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการเตรียมวัสดุดูดซับและสารละลายตัวอย่าง ที่อัตราส่วนวัสดุดูดซับต่อสารละลายที่ 1 g/L บรรจุลงในขวดรูปชมพู่แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าสาร (Orbital Shaker) ด้วยความเร็ว 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บสารละลายตัวอย่างผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรแล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนในการดูดซับแคดเมียมที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน

จากการวิเคราะห์แคดเมียมในคอนเดนเสทพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 151.76 µg/L จากรูปที่ 1 เป็นการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของกากตะกอนต่อลิกนินที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันต่อการดูดซับแคดเมียมที่สภาวะ HTC-0%SL HTC-25%SL HTC-50%SL HTC-75%SL HTC-100%SL พบว่าหลังการดูดซับวัสดุคาร์บอนคอมโพสิตมีสามารถในการกำจัดแคดเมียมที่ 22.79 µg/g, 12.97 µg/g, 32.70 µg/g, 29.15 µg/g และ 32.62 µg/g โดยจากการสังเกตุพบว่าที่อัตราส่วน HTC-50%SL และ HTC-100%SL มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมที่สูงที่สุด เมื่อประเมินร่วมกับผล BET พบว่าความสามารถในการดูดซับแคดเมียมแปรผันตามความกว้างของรูพรุน โดยจากตารางที่ 1 HTC-100%SL มีพื้นที่ผิวอยู่ที่ 18.54 nm และนอกจากนี้แนวโน้มโดยรวมของการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saleh (2015) และ Gu (2021) ว่าการมีแคลเซียมและซิลิการ์ในวัสดุสามารถปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวได้โดยสังเกตุจากผลของ FI-IR

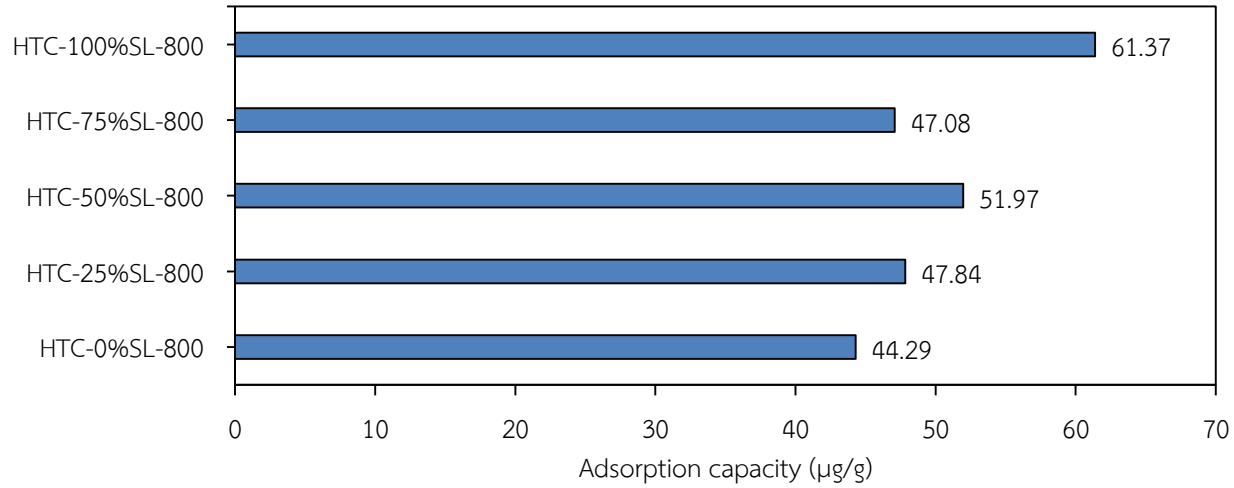


รูปที่ 1 ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมในแก๊สธรรมาชาติเหลวของวัสดุที่ผ่านกระบวนการ HTC

2. การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนในการดูดซับแคดเมียมหลังผ่านกระบวนการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมี

จากรูปที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของกากตะกอนต่อลิกนินที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันและกระบวนการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมี ที่สภาวะ HTC-0%SL-800 HTC-25%SL-800 HTC-50%SL-800 HTC-75%SL-800 และ HTC-100%SL-800 มีสามารถในการกำจัดแคดเมียมที่ 44.29 µg/g, 47.84 µg/g, 51.97 µg/g, 47.08 µg/g และ 61.37 µg/g โดยจากการสังเกตุพบว่าที่สัดส่วนกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการกำจัดโลหะหนักที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับก่อนการกระตุ้นและมี

ความสามารถในการดูดซับสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน HTC-100%SL-800 คิดเป็น 40.44% นอกจากนี้พบว่าภายหลังการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีประสิทธิภาพโดยรวมของการดูดซับแคดเมียมเพิ่มขึ้นแบบเท่าตัว เมื่อประเมินร่วมกับผล BET พบว่าภายหลังการกระตุ้นพื้นที่ผิวทางเคมีปริมาณพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับสูงขึ้นอย่างมากเช่นในตัวของ HTC-100%SL จากเดิมที่ 18.548 mm/g ภายหลังการกระตุ้นพบว่าสูงขึ้นถึง 129.602 mm/g และหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวยังคงเดิมแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิวนั้นมีความสำคัญต่อการดูดซับ

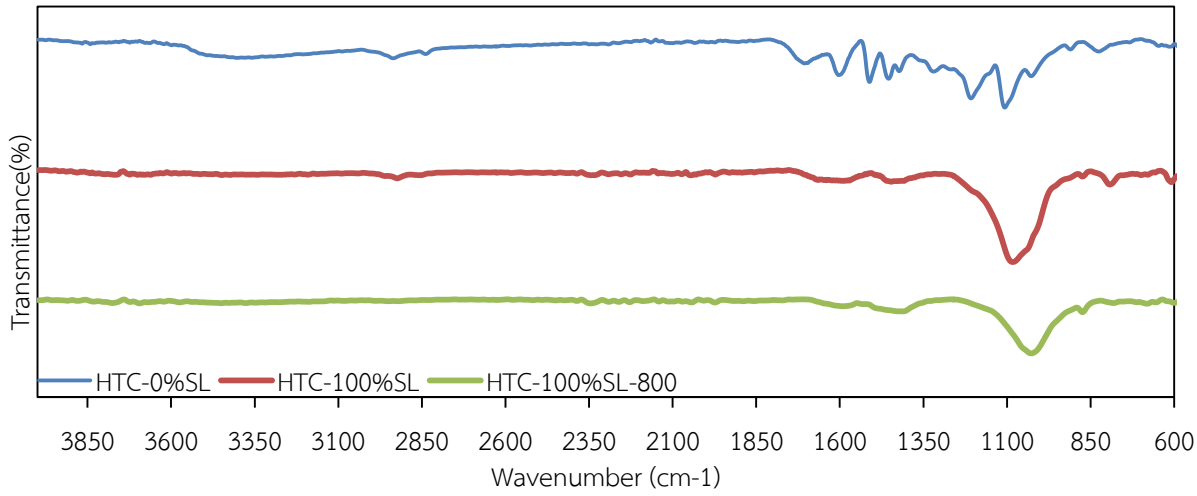


รูปที่ 2 ความสามารถในการดูดซับของวัสดุที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมี

3. คุณลักษณะของวัสดุคาร์บอนคอมโพสิต

3.1 การศึกษาคุณลักษณะเคมีพื้นผิวของวัสดุคาร์บอนคอมโพสิต

การศึกษาเคมีพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) ดังแสดงในรูปที่... พบว่าองค์ประกอบของ HTC-0%SL มีหมู่ฟังก์ชัน OH ของสารประเภท Polyphenols ในช่วงความยาวคลื่นที่ 3300-3500 cm^{-1} พันธะของ CH ที่เป็นฟังก์ชันของ aminoacidic alkene และ aromatic ที่ช่วงความยาวคลื่น 3000-3100 cm^{-1} พันธะ CH และ CH2 ของหมู่ฟังก์ชัน Aliphatic ที่จุดยอด 2834 cm^{-1} และ 2933 cm^{-1} พันธะระหว่าง C=C, -C=O และ C-O-C ของ Polysaccharide ที่จุดยอด 1508 cm^{-1} 1452 cm^{-1} และ 1104 cm^{-1} ตามลำดับ จากกราฟพบว่าปริมาณพันธะของ CH หรือกลุ่มของ Aliphatic อยู่เป็นจำนวนมาก ภายหลังการเติมตะกอนที่ HTC-100%SL และการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมี HTC-100%SL-800 พบว่ามีการหายไปของกลุ่มพันธะ CH ในช่วง 2900-3500 ออกเป็นจำนวนมาก และเกิดเป็นพันธะระหว่าง -C=O ขึ้นโดยสังเกตุจากจุดยอด 1407 cm^{-1} และ 1403 cm^{-1} ใน HTC-100%SL และ HTC-100%SL-800 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบหมู่ฟังก์ชันของ SiO_2 ของซิลิการ์ที่จุดยอด 1019 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชันที่เกิดเป็น C-O [7] เป็นหลักซึ่งสอดคล้องกับในงานวิจัยของ Gu (2021) ที่ได้กล่าวถึงการแทนที่ไฮโดนเจนในหมู่กรดคาร์บอกซิลิกส่งผลให้สามารถดูดซับโละหนักได้ดีมากขึ้น



รูปที่ 3 ลักษณะเคมีพื้นผิวของวัสดุคาร์บอนคอมโพสิตที่สภาวะ HTC-0%SL HTC-100%SL และ HTC-100%SL-800

3.2 การวิเคราะห์พื้นผิวจำเพาะ

ในการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับถูกแสดงในตารางที่ 1 แสดงปริมาณพื้นผิวจำเพาะของ HTC-0%SL, HTC-0%SL-800, HTC-50%SL, HTC-50%SL-800, HTC-100%SL และ HTC-100%SL-800 พบว่ามีปริมาณพื้นที่ผิวอยู่ที่ 6.457 mm/g, 168.68 mm/g, 5.861 mm/g, 363.552 mm/g, 18.548 mm/g และ 129.602 mm/g จากการศึกษาพบว่าการผสมกากตะกอนก่อนการกระตุ้นไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ผิวมากนัก แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมีพบว่าปริมาณพื้นที่ผิวของโดยรวมของวัสดุดูดซับสูงขึ้นมากอย่างและสูงที่สุดในสภาวะ HTC-50%SL-800 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการดูดซับที่ HTC-50%SL-800 มีความสามารถในการดูดซับที่สูงใกล้เคียงกับ HTC-100%SL-800 แต่จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นได้ว่าพื้นที่ผิวนั้นมีความความสำคัญสำหรับการดูดซับอย่างมากแต่ไม่ใช่ทั้งหมดต้องขึ้นกับหมู่ฟังก์ชันและความเหมาะสมของตัววัสดุด้วย

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET)

Material	BET Surface area mm/g
HTC-0%SL	6.457
HTC-0%SL-800	168.68
HTC-50%SL	5.861
HTC-50%SL-800	363.552
HTC-100%SL	18.548
HTC-100%SL-800	129.602

สรุป

จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของแคดเมียมในคอนเดนเสท ด้วยวัสดุดูดซับที่พัฒนาจากกากของเสียอุตสาหกรรมได้แก่น้ำดำและกากตะกอน พบว่ากากตะกอนที่ผ่านกระบวนการ HTC ร่วมกับการกระตุ้นพื้นผิวทางเคมี HTC-100%SL-800 เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเป็นวัสดุดูดซับ และการมีซิลิกาและแคลเซียมบนวัสดุคาร์บอนพบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล เคมี และหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการเขียนวิทยานิพนธ์ เรื่อง การกำจัดโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนในคอนเดนเสทด้วยวัสดุคาร์บอนคอมโพสิตจากกากของเสีย เพื่อสำเร็จการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาโท สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัฐบาล ขันธ์โพธิ์น้อย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ ข้อคิด คำแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทดลองสำหรับวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อนและผู้มีส่วนร่วมทุกคน ทีอำนวยความสะดวกและการสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวของ และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] N. Johri, G. Jacquillet, and R. Unwin, “Heavy metal poisoning: The effects of cadmium on the kidney,” BioMetals, vol. 23, no. 5, pp. 783–792, Oct. 2010, doi: 10.1007/S10534-010-9328-Y/FIGURES/3.

[2] S. Aoki, T. Fujimura, E. Nakamura, and I. Kuwajima, “on the Catalytic,” vol. 95, no. 47, pp. 6541–6544, 1989.

[3] I. Haq, P. Mazumder, and A. S. Kalamdhad, “Recent advances in removal of lignin from paper industry wastewater and its industrial applications – A review,” Bioresour Technol, vol. 312, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2020.123636.

[4] E. Meez, A. K. Tolkou, D. A. Giannakoudakis, I. A. Katsoyiannis, and G. Z. Kyzas, “Activated Carbons for Arsenic Removal from Natural Waters and Wastewaters: A Review,” Water 2021, Vol. 13, Page 2982, vol. 13, no. 21, p. 2982, Oct. 2021, doi: 10.3390/W13212982.

[5] T. A. Saleh, “Mercury sorption by silica/carbon nanotubes and silica/activated carbon: A comparison study,” Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA, vol. 64, no. 8, pp. 892–903, 2015, doi: 10.2166/aqua.2015.050.

[6] H. Gu et al., “Calcium oxide modification of activated sludge as a low-cost adsorbent: Preparation and application in Cd(II) removal,” Ecotoxicol Environ Saf, vol. 209, p. 111760, 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111760.

[7] M. Mecozzi, M. Pietroletti, M. Scarpiniti, R. Acquistucci, and M. E. Conti, “Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis,” Environ Monit Assess, vol. 184, no. 10, pp. 6025–6036, 2012, doi: 10.1007/s10661-011-2400-4.

10R2-12

การจำแนกวัสดุภายในห้องพักอพาร์ทเมนต์

Characterization of Material Contents in Apartment Rooms

ทับทิม ชาติสุวรรณ์[1*] และ มณีรัตน์ องค์วรรณดี[2]
Thabtim Chatsuvan[1*] and Maneerat Ongwandee[2]
[1*]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอนแก่น 40000
[2]วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพฯ 10300
[*]โทรศัพท์ : 094-2758109, E-mail : thabtim.ch@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรอากาศภายในห้องพักอาศัย (surface-to-volume ratio, S/V) และจำแนกประเภทของวัสดุที่ใช้ภายในห้อง ผู้วิจัยเลือกวัดห้องพัก เนื่องจากภายในห้องพักมีวัสดุตกแต่งที่หลากหลาย เช่น ตู้ เตียง โต๊ะ กล่องเอกประสงค์ และเฟอร์นิเจอร์อื่นๆ เป็นต้น วัสดุตกแต่งภายในอาคารอาจมีผลต่อคุณภาพอากาศอากาศภายในอาคาร จำนวนห้องพักที่วัดมีทั้งหมด 26 ห้อง ขนาดห้องพักอยู่ในช่วง 20 – 83 ลบ.ม. อาคารที่วัดเป็นอาคารประเภท ง. มีจำนวนห้องรวมตั้งแต่ 10 – 50 ห้อง ผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา วัดพื้นที่ผิวของวัสดุภายในห้องพักโดยใช้ตลับเมตรวัด แยกวัสดุออกเป็นชิ้นๆ เพื่อง่ายต่อการวัด นำพื้นที่ผิวของวัสดุต่อชิ้นที่วัดได้มาคำนวณหาพื้นที่ผิวรวมของวัสดุ (area total surface, $S^{\dagger}$) จากนั้นนำค่า $S^{\dagger}$ ที่ได้มาคำนวณหาค่า S/V จากการศึกษา พบว่า ค่า S/V ของห้องพักอาศัย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25±0.34 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม. วัสดุที่ใช้ภายในห้องพักมีผลทำให้ปริมาตรอากาศภายในห้องลดลง เนื่องจากปริมาตรอากาศถูกแทนที่ด้วยพื้นที่ผิวของวัสดุ วัสดุที่พบภายในห้องพักโดยส่วนใหญ่จะเป็น เตียง ตู้ โต๊ะ และกล่องพลาสติก ส่วนจำนวนที่พบมีประมาณ 10 – 19 ชิ้น พิจารณาชนิดของพื้นผิววัสดุภายในห้องพัก พบว่า วัสดุภายในห้องมีพื้นที่ผิวเฉลี่ยประเภทไม้เยอะที่สุด เท่ากับ 8.4±4.5 ตร.ม. รองลงมา คือ พื้นที่ผิวเฉลี่ยประเภทผ้า เท่ากับ 7.8±1.5 ตร.ม. และประเภทเหล็ก เท่ากับ 2.5±3.1 ตร.ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาร้อยละเฉลี่ยของพื้นที่รวมทั้งหมดภายในห้อง พบว่า ผนังทาสีมีพื้นที่ผิวเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือพื้นผิวรวมของวัสดุที่อยู่ภายในห้องพัก ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแนวทางการจัดการคุณภาพอากาศภายในห้องพักที่ได้รับผลกระทบจากวัสดุอาคารที่ปลดปล่อยสารมลพิษอากาศ เช่น สารอินทรีย์ระเหย เป็นต้น

คำสำคัญ : วัสดุอาคาร; หอพัก; อัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรอากาศ

Abstract

We measured the surface-to-volume ratio, or S/V, and determined the characterization of material contents in apartment room. We chose the apartment room because it contains a large number of decorative materials, such as cabinets, beds, tables, individual boxes, and other furniture. These impact the air quality of the building. The total number of rooms was 26, The volume was between 20 and 83 m^3. The total number of rooms in the building ranges from 10 to 50, and the majority of the building was used by students. We are using a measuring tape to measure the surface area of the material. And then, calculate the total surface area with contents S† and S/V. We found that the surface-area-to-volume ratio was averaged at 25 ± 0.34 m^2 m^{-3}. The decorative materials used in the room have the effect of decreasing the volume of air inside the room. The material found in a room is mostly beds, cabinets, tables, plastic boxes, etc., and the number of pieces found is about 10–19. After considering the type of surface material within the room, it was found that the

wood surface area had the highest average of 8.4±4.5 m^{-1}. In secondary, the surface area of fabric was averaged at 7.8±1.5 m^{-1}, and the surface area of steel was averaged at 2.5±3.1 m^{-1}. And then, we consider the average percentage of total surface area contained in the room. It was found that the painted walls had the highest average surface area, and second was the surface area of material contained in the room. Results of this study will be beneficial to indoor quality management strategies for residential settings of which their building materials emit air pollutants such as volatile organic compounds.

Keywords : indoor material ; apartment rooms ; surface-to-volume ratio

บทนำ

วัสดุที่นิยมใช้ภายในอาคาร ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ 1) กลุ่มวัสดุที่ไม่ยอมให้โมเลกุลอื่นซึมผ่านได้หรือผ่านได้ยาก (impermeable) ได้แก่ โลหะ แก้ว เซรามิก เครื่องลายคราม กระเบื้อง และ 2) กลุ่มที่ยอมให้โมเลกุลอื่นซึมผ่านได้ (permeable) ได้แก่ วัสดุเนื้อแข็ง เช่น ลามิเนตสำเร็จรูป ไม้ที่ไม่ผ่านการแปรรูป วัสดุไม้เคลือบด้วยสี วัสดุผนัง/เพดาน เช่น ผนังทาสี วอลล์เปเปอร์ติดผนัง วัสดุผ้า เช่น ผ้าเช็ดตัว ผ้าห่ม เสื้อโค้ท ผ้ายัดไส้ (หมอน เบาะรองนั่ง) พรมบุนวม ผ้าหุ้มเบาะ และวัสดุอื่น ๆ เช่น เครื่องจักสาน กระดาษ [1]

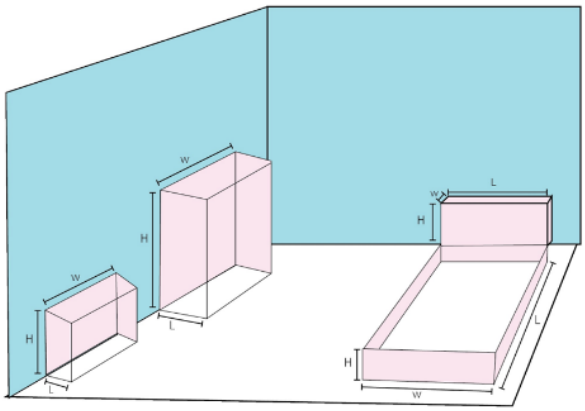
วัสดุอาคารมีความสำคัญต่อผู้ใช้อาคารเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัสดุอาคารสามารถเป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษได้ กล่าวคือพื้นผิววัสดุอาคารจะปลดปล่อยสารมลพิษ (สารที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุ) ออกมาสู่บรรยากาศ ขณะเดียวกันก็สามารถเป็นแหล่งรองรับสารมลพิษ กล่าวคืออนุภาคก๊าซต่างๆ ที่เจือปนในบรรยากาศสามารถเคลื่อนที่ไปสะสมบนพื้นผิววัสดุอาคารได้เช่นเดียวกัน รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโมเลกุลก๊าซกับพื้นผิววัสดุ ซึ่งกลไกเหล่านี้มีผลต่อปริมาณสารมลพิษภายในอาคาร และการได้รับสัมผัสสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายของผู้อาศัยภายในอาคาร [2-5] งานวิจัยของ Manuja, A. et al (2019) มณีรัตน์ และทับทิม (2565) [6, 7] ชี้ให้เห็นความสำคัญว่าพื้นผิวอาคารเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของสารมลพิษ และปริมาณสารมลพิษที่อาจได้รับเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้รูปแบบการใช้ชีวิตในแต่ละวันของคนส่วนใหญ่ในประเทศไทยมักจะดำเนินกิจกรรมภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร โดยใช้เวลาภายในอาคารมากถึง 20.27 ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 84.45 ของเวลาทั้งหมดในหนึ่งวัน [8] ดังนั้นโอกาสในการสัมผัสสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายยิ่งมีเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตรอากาศ (surface-to-volume ratio, S/V) และจำแนกประเภทของวัสดุที่ใช้ภายในห้องพักอาศัย ผู้วิจัยเลือกวัดห้องพักอาศัย หรืออพาร์ตเมนต์ เนื่องจากเป็นอาคารที่ได้รับความนิยมโดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาและกลุ่มวัยทำงาน อีกทั้งภายในห้องพักมีองค์ประกอบที่หลากหลาย เช่น เตียงนอน ตู้เสื้อผ้า โต๊ะ ตู้เย็น และเฟอร์นิเจอร์อื่นๆ จำนวนของวัสดุ และประเภทของวัสดุมีผลโดยตรงต่ออัตราการปลดปล่อยสารมลพิษ การสะสมสารมลพิษบนพื้นผิว และการทำปฏิริยาเคมีของโมเลกุลสารมลพิษกับพื้นผิวของวัสดุ

อุปกรณ์และวิธีการ

ลักษณะอาคาร และขนาดของห้องพักผู้วิจัยเลือกขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากขนาดห้องอาจมีผลต่อจำนวนชิ้นของวัสดุภายในห้อง โดยห้องพักที่สำรวจมีทั้งหมด 26 ห้อง ซึ่งแต่ละห้องจะมีปริมาตรอยู่ในช่วง 20 – 83 ลบ.ม. ลักษณะห้องพักเป็นอาคารประเภท ง เป็นอาคารที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นมีจำนวนห้องตั้งแต่ 10 – 50 ห้อง อายุอาคารอยู่ในช่วง 2 ถึง 17 ปี ผู้ที่พักอาศัยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา มีอายุระหว่าง 20 – 28 ปี

ผู้วิจัยอ้างอิงวิธีการวิจัยจากงานวิจัยของ [6] วัดพื้นที่ผิววัสดุภายในห้องพักโดยใช้ตลับเมตร (tape) วัด แยกวัสดุเป็นชิ้นๆ เพื่อง่ายต่อการวัด จากนั้นนำพื้นที่ผิววัสดุต่อชิ้นที่วัดได้มาคำนวณหาพื้นที่ผิวรวม, $S^{\dagger}$ รูปที่ 1 แสดงภาพประกอบการหาพื้นที่ผิวของวัสดุภายในห้องพัก ปริมาตรอากาศ (volume, V) หาได้จาก ปริมาตรห้องพัก (กว้างxยาวxสูง) ลบกับพื้นที่ผิวรวมของวัสดุภายในห้อง, $S^{\dagger}$ ส่วนพื้นที่ผิว (surface, S) หาได้จากพื้นที่ผิวของผนัง พื้น เพดาน รวมกับพื้นที่ผิวรวมของวัสดุภายในห้อง, $S^{\dagger}$ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยวัดเฉพาะพื้นที่ผิวด้านที่สัมผัสกับอากาศเท่านั้น เนื่องจากพื้นผิวด้านสัมผัสกับอากาศอาจมีผลต่อกลไกต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลก๊าซกับพื้นผิววัสดุ

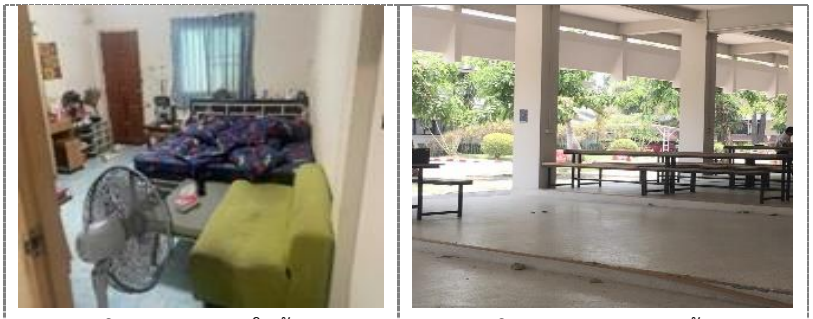


รูปที่ 1 ภาพประกอบการหาพื้นที่ผิววัสดุภายในห้องพัก

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ปริมาตรพื้นผิววัสดุต่อปริมาตรอากาศ

จากการวัดพื้นที่ผิวรวมต่อปริมาตรอากาศของห้องพักจำนวน 26 ห้อง พบว่า ค่า S/V มีค่าอยู่ในช่วง 1.6 – 3.0 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม. และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.25±0.34 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าค่าค่อนข้างสูง งานวิจัยของ [6] ทำการศึกษาหาค่า S/V ของห้องนอน ห้องครัว และห้องทำงาน จำนวน 33 ห้อง พบว่า มีค่าเฉลี่ย S/V เท่ากับ 3.2±1.2 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม. งานวิจัยของ [1] ศึกษาค่า S/V ของห้องส่วนกลางในห้องพักอาศัย พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.2 – 3.3 ตร.ม.ต่อ ลบ.ม. พิจารณาเปรียบเทียบ ค่า S/V ของวิจัย [1] เทียบกับผลที่ได้ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ดี ค่า S/V ที่ใกล้เคียงกันไม่สามารถชี้ได้ชัดเจนว่าผู้ใช้อาคารจะได้รับผลกระทบที่เหมือนกัน เนื่องจากสภาพแวดล้อม บริบทหรือรูปแบบของการใช้ชีวิตของแต่ละคนแตกต่างกัน ค่า S/V สูง หมายความว่าพื้นที่ผิววัสดุรวมภายในห้องมีมากเมื่อเทียบกับปริมาตรอากาศภายในห้องที่มีจำกัด รูปที่ 2 แสดงให้เห็นชัดเจนระหว่างปริมาตรอากาศที่เยอะเมื่ออยู่ภายนอกอาคารกับปริมาตรจำกัดเมื่ออยู่ภายในอาคาร



ปริมาตรอากาศภายในห้อง | ปริมาตรอากาศภายนอกห้อง

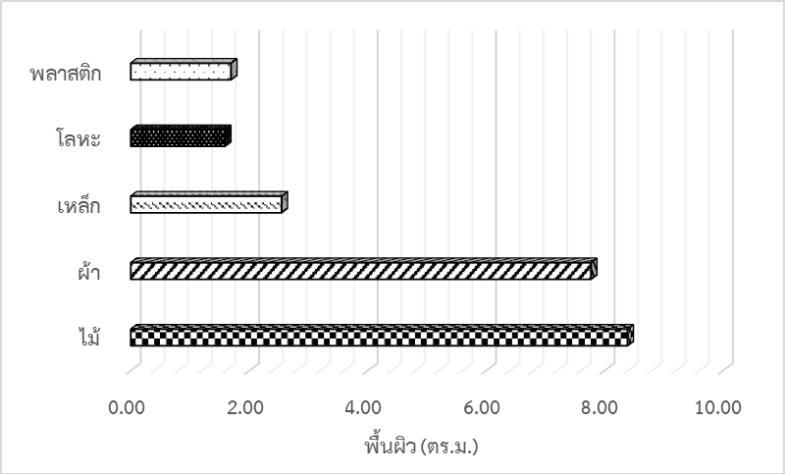
รูปที่ 2 เปรียบเทียบ S/V ของสิ่งแวดลอมภายในและภายนอกอาคาร

2. ประเภทของวัสดุที่พบภายในห้องพัก

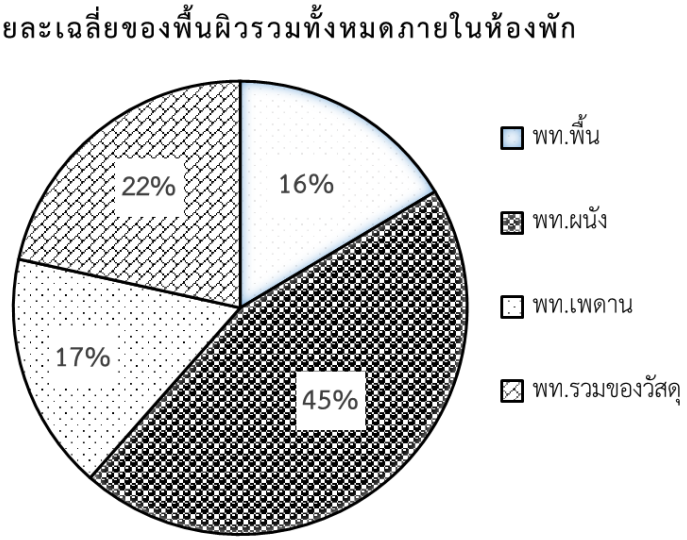
จากการวัดห้องพักจำนวน 26 ห้อง พบว่าวัสดุที่พบส่วนใหญ่จะเป็น เตียงนอน ตู้เสื้อผ้า ตู้เก็บของ โต๊ะวางของเอนกประสงค์ โต๊ะเครื่องแป้ง โต๊ะญี่ปุ่น และกล่องใส่รองเท้า เป็นต้น เนื่องจากห้องพักโดยส่วนใหญ่มีวัสดุเหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลัก วัสดุที่พบมีจำนวนประมาณ 10 – 19 ชิ้น ซึ่งวัสดุที่มีขนาดต่ำกว่า 100 ตร.ซม. ผู้วิจัยไม่นำมาคำนวณหาพื้นที่ผิวรวมเนื่องจากวัสดุชิ้นเล็กอาจไม่มีผลต่อการสะสมของอนุภาคต่างๆ บนพื้นผิว และจากการวิจัยของ [6] พบว่าวัสดุชิ้นใหญ่จำนวน 14-26 ชิ้น สามารถคิดเป็นร้อยละ 95 ของพื้นที่ห้องทั้งหมด พิจารณาพื้นที่ผิวเฉลี่ยของวัสดุที่พบภายในห้องพัก พบว่าวัสดุประเภทไม้มีพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 8.4±4.5 ตร.ม. ซึ่งมีค่าสูงสุด รองลงมา คือวัสดุประเภทผ้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.8±1.5 ตร.ม. และวัสดุประเภทเหล็ก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.5±3.1 ตร.ม. ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3 จากวิจัยของ [1] ศึกษาอัตราส่วนของการใช้วัสดุต่อปริมาตรห้องพัก

อาศัย พบว่าวัสดุที่มีพื้นที่การใช้สูงสุด คือวัสดุประเภทห่อหุ้ม เช่น ผนังสี ผนังกระดาน วอลล์เปเปอร์ เพดาน รองลงมา คือวัสดุประเภทเนื้อแข็ง เช่น เตียง เก้าอี้ ตู้ครัว และวัสดุประเภทผ้า เช่น ผ้ากำมะหยี่ใช้หุ้มเก้าอี้ ตุ๊กตา ผ้าขนหนู ผ้าม่าน พรม เสื้อผ้า

รูปที่ 4 แสดงร้อยละเฉลี่ยของพื้นผิวรวมทั้งหมดภายในห้องพัก พบว่า พื้นผิวผนัง ซึ่งเป็นผนังทาสี (paint) มีค่าร้อยละ 45 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือพื้นผิวรวมของวัสดุที่อยู่ภายในห้องพัก ร้อยละ 22



รูปที่ 3 พื้นที่ผิวเฉลี่ยของวัสดุที่พบภายในห้องพัก



รูปที่ 4 ร้อยละเฉลี่ยของพื้นผิวรวมทั้งหมดภายในห้องพัก

สรุปผล

ปริมาตรพื้นผิวต่อปริมาตรของห้องพักมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาตรอากาศภายในห้องถูกแทนที่ด้วยวัสดุตกแต่งอาคาร เช่น โต๊ะ เตียง ตู้ รวมถึงเฟอร์นิเจอร์อื่นๆ เป็นต้น วัสดุตกแต่งภายในห้องพักโดยส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทไม้และผ้า วัสดุที่ใช้ภายในห้องพักมีพื้นที่รวมจัดเป็นอันดับ 2 รองจากผนังทาสี ชนิดและจำนวนของวัสดุที่ใช้ภายในอาคารมีผลต่อผู้ใช้อาคารเป็นอย่างมาก เนื่องจากส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยตรง อย่างไรก็ดีในแง่ของการควบคุมปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกจากวัสดุควรมีการตรวจวัดสารระเหยด้วยวิธีมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการและกำหนดค่ามาตรฐานอัตราการปลดปล่อยสารมลพิษจากวัสดุเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ ENG12/66 และขอขอบคุณ โครงการเผยแพร่ผลงานวิจัยอาจารย์และนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ปี 2567 ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hodgson, A. T., Y, K., C, B., Ming, K. Y., & Singer, B. C. 2004. Quantifying Object and Material Surface Areas in Residences. Lawrence Berkeley National Laboratory,116 (January 2004), 1–19.

[2] Missia, D. A., Demetriou, E., Michael, N., Tolis, E. I., & Bartzis, J. G. 2010. Indoor exposure from building materials: A field study. Atmospheric Environment, 44(35), 4388–4395.

[3] Morrison, G., Shakila, N. V., & Parker, K. 2015. Accumulation of gas-phase methamphetamine on clothing, toy fabrics, and skin oil. Indoor Air, 25(4), 405–414.

[4] Chatsuvan, T., Homwuttiwong, S., Morris, J., & Ongwandee, M. 2022. Volatile Organic Compounds from Unexpected Sources: Fabric Softener-Initiated Emissions. EnvironmentAsia,15(1), 131–141

[5] Y. C. Chien, C. P. Chang, and Z. Z. Liu. 2011. Volatile organics off-gassed among tobacco-exposed clothing fabrics. J. Hazard. Mater, 193, 139–148.

[6] Manuja, A., Ritchie, J., Buch, K., Wu, Y., Eichler, C. M. A., Little, J. C., & Marr, L. C. 2019. Total surface area in indoor environments. Environmental Science: Processes and Impacts, 21(8), 1384–1392.

[7] มณีรัตน์ องค์วรรณดี และทับทิม ชาติสุวรรณ์. 2023. พื้นผิวภายในอาคาร: เหตุใดจึงสำคัญต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร. วารสารสิ่งแวดล้อม, 27(1), 1-8.

[8] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2558. การสำรวจการใช้เวลาของประชากร พ.ศ. 2558 (กรกฎาคม 2557 – มิถุนายน 2558). เข้าถึงจาก: https://www.m-society.go.th/ewtadmin/ewt/mso_web//article_attach/18421/20308.pdf. (สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2567).

10R2-13

การศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

Feasibility Study of Investing a Biogas System from Organic Waste in Mae Ka Subdistrict, Phayao, Thailand

ศตวรรษ ทนารัตน์[1*] อังคนิษา นันทานี[2] ธนภัทร จันทร์ฟอง[2] สรชัช อินถานะ[2] และ โสมนัส สมประเสริฐ[1]
Satawat Tanarat[1*] Angkanisa Nantani[2] Thanapat Junfong[2] and Sorachat Inthana[2] and Somanat Somprasert[1]
[1*]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
[1]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
[2]นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
*E-mail : satawat.ta@up.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดการขยะอินทรีย์ที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมหลายด้าน เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานทดแทนจากการกำจัดขยะอินทรีย์สำหรับชุมชน การศึกษานี้ได้ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างระบบแปรรูปขยะอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เพื่อการผลิตพลังงานทดแทนจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบหมักย่อยร่วมไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน โดยใช้วัสดุหมักเป็นขยะอินทรีย์และน้ำเสียฟาร์มสุกร ระบบผลิตก๊าซชีวภาพนี้สามารถรองรับปริมาณขยะอินทรีย์ได้มากกว่า 411 ตันต่อปี ผลิตก๊าซชีวภาพและใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มได้ไม่ต่ำกว่า 2,845 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 1,280 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ โครงการระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์นี้มีความคุ้มค่าในการลงทุนด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 23,048 บาท และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ 7.6 ปี องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถใช้ข้อมูลทั้งเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากการวิจัยนี้ เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนระบบผลิตพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมต่อไปได้

คำสำคัญ : ขยะอินทรีย์; ก๊าซชีวภาพ; การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ; การจัดการของเสีย; การศึกษาความคุ้มค่า

Abstract

Improper management of organic waste causes environmental pollutions. Waste-to-energy technology, especially anaerobic digestion, is a suitable approach not only for the municipal solid wastes management but also to produce renewable energy from biodegradable fraction of those. This study investigated the feasibility of investing a biogas system from organic waste in Mae Ka subdistrict, Phayao, Thailand. The system is designed for the renewable energy production from the municipal solid wastes via a two-phase anaerobic co-digestion which organic waste and piggery wastewater are taken into account as a substrate. This biogas system can handle more than 411 tons of organic waste a year, generates 1,280 kilograms of biogas with LPG equivalent of 2,845 cubic meters per year. It is appeared to be worthy to invest the biogas system with a net present value (NPV) of 23,048 baht and a payback period of 7.6 years. Local government organizations can applied both technical and economic information obtained from this research as a decisions- making guideline for appropriate biogas systems investment.

Keywords : organic waste; biogas; anaerobic digestion; waste management; feasibility study

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการผลิตของภาคธุรกิจต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ประกอบกับระบบการจัดการขยะในระดับชุมชนที่ยังไม่เพียงพอ ไม่ว่าจะเป็น การรวบรวม การคัดแยก การรีไซเคิล และเทคโนโลยีของระบบการจัดการขยะ เป็นผลให้ปริมาณขยะที่สะสมในชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในปี พ.ศ. 2566 ขยะชุมชนในประเทศไทยมีปริมาณรวมกว่า 26.95 ล้านตัน โดยมีขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์และขยะที่ถูกกำจัดถูกต้องเพียง 9.31 และ 10.17 ล้านตัน ตามลำดับ [1] เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของขยะชุมชนพบว่า มีสัดส่วนของขยะอินทรีย์เกินกว่า 30% การจัดการขยะอินทรีย์โดยเฉพาะขยะเศษอาหารที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในหลายด้าน ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีผลกระทบต่อการเพิ่มของอุณหภูมิโลก และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (waste-to-energy technology) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์ในชุมชนได้อย่างคุ้มค่า เพราะนอกจากจะเป็นการกำจัดขยะอย่างเหมาะสมถูกต้องตามหลักวิชาการแล้ว ยังได้ผลพลอยได้เป็นพลังงานทดแทนที่สามารถยกระดับการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานในชุมชนได้อีกด้วย กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion) เป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตพลังงานทดแทนจากการกำจัดขยะอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า การบำบัดขยะอินทรีย์ 1 ตันด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 100-200 ลูกบาศก์เมตร นำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 75-150 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันขยะ [2]

ในประเทศกำลังการพัฒนาต่างๆ ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการหมักย่อยขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศทั้งในระดับครัวเรือนและเชิงพาณิชย์อย่างต่อเนื่อง เช่น ในประเทศจีน มีโครงการระบบต้นแบบการกำจัดขยะอินทรีย์ในกว่า 100 เมืองที่ได้รับเลือกให้เป็นโครงการนำร่อง โดยมากกว่า 90% ของบรรดาโครงการเหล่านี้ ได้นำกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศมาใช้สำหรับการจัดการและผลิตพลังงานจากกำจัดขยะอินทรีย์ [3] สำหรับประเทศไทยที่ยังมีปัญหาอุปสรรคและข้อจำกัดในการติดตาม กำกับ และควบคุมการดำเนินงานของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย รวมทั้งกฎหมายการจัดการขยะมูลฝอย ยังไม่สามารถกำกับดูแลให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการหมักย่อยขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตเป็นพลังงานจึงยังไม่แพร่หลาย ทำให้ข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการแปรรูปขยะอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพในพื้นที่ชุมชนและเทศบาลต่างๆ ในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด

แม้จะมีการพัฒนาใช้งานมากขึ้น การหมักย่อยขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ก็ยังมีข้อจำกัดทั้งทางเทคนิค ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสังคม ข้อจำกัดทางเทคนิคที่พบก็คือ การสะสมของสารประกอบขั้นกลาง ความเป็นพิษของสารยับยั้ง เสถียรภาพที่ยังไม่คงที่ของระบบ ขาดการควบคุมกระบวนการที่แม่นยำ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพหรือองค์ประกอบของก๊าซมีเทนยังไม่มากพอสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ [4] ความไม่คงที่ของเสถียรภาพของระบบที่พบบ่อยประเภทหนึ่ง เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะที่ย่อยง่ายไปเป็นกรดไขมันระเหยอย่างรวดเร็วในระยะแรกของกระบวนการย่อย ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงอย่างมาก ซึ่งอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้หากไม่มีกำลังบัฟเฟอร์ที่เพียงพอ กระบวนการหมักที่ใช้วัสดุหมักเดี่ยวมีความเป็นไปได้สูงที่ระบบจะขาดเสถียรภาพในระยะยาวและไม่สามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงกว่า 2.5 g VS/L/d ได้ เนื่องจากการสะสมของกรดไขมันระเหยและแอมโมเนีย [5] การหมักย่อยร่วมกับมูลสัตว์หรือตะกอนน้ำเสียเป็นอีกวิธีการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบได้ เนื่องจากสามารถให้ความเป็นด่างและสารอาหารรองที่จำเป็นสำหรับกระบวนการแบบไม่ใช้อากาศ

ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เป็นพื้นที่ที่ขยะชุมชนมีองค์ประกอบของขยะอินทรีย์ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง-ใหญ่ ซึ่งต่างก็ผลิตของเสียที่สามารถใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ได้ จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการหมักย่อยขยะอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

งานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างระบบแปรรูปขยะอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เพื่อการผลิตพลังงานทดแทนจากขยะชุมชนด้วยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งเป็นระบบหมักย่อยร่วมระหว่างขยะอินทรีย์และน้ำเสียฟาร์มสุกร ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ ชุมชนหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถใช้เป็นแนวทางทั้งเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการตัดสินใจลงทุนระบบผลิตพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยมีขอบเขตและวิธีการศึกษา ดังต่อไปนี้

- การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักย่อยร่วมแบบไม่ใช้อากาศของขยะอินทรีย์กับมูลสัตว์ จากวิทยานิพนธ์ รายงานการวิจัย บทความวิจัยทั้งในและต่างประเทศ และเอกสารเผยแพร่ต่างๆ
- การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เป็นข้อมูลคุณลักษณะของขยะเศษอาหารและน้ำเสียฟาร์มสุกร รวมถึงการเก็บข้อมูลในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เป็นข้อมูลประชากร ปริมาณขยะชุมชนและของเสียฟาร์มสุกรในพื้นที่
- ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน โดยมีถังสร้างกรดแบบถังปฏิกิริยากวนสมบูรณ์ (CSTR) และถังสร้างมีเทนแบบยูเอเอสบี และจัดทำรายงานวัสดุและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (Bill of quantity) โดยอ้างอิงราคาวัสดุ ค่าแรง ค่าดำเนินการในงานก่อสร้างของกรมบัญชีกลาง
- การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (สมการที่ 1-2) [6] และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ภายใต้อายุการใช้งาน 10 ปี (n) อัตราผลตอบแทนหรืออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.5% (i) และใช้ก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้ทดแทนก๊าซหุงต้ม

$$P = F / (1+i)^{n} \quad (1)$$

$$P = A ((1+i)^{n}-1) / (i(1+i)^{n}) \quad (2)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

ข้อมูลเชิงเทคนิคของระบบ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระบบหมักย่อยร่วมแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน (two-phase anaerobic co-digestion) ใช้วัสดุหมักเป็นขยะอินทรีย์และน้ำเสียฟาร์มสุกรในพื้นที่ ระบบสามารถรองรับปริมาณขยะอินทรีย์และน้ำเสียขยะอินทรีย์ได้ไม่น้อยกว่า 411 ตันต่อปี และ 285 ลบ.ม.ต่อปี ตามลำดับ รายละเอียดของหน่วยบำบัดย่อยในระบบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดหน่วยบำบัดย่อยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

หน่วยบำบัดย่อย	ขนาด	ค่าการออกแบบ	ค่าก่อสร้างและติดตั้ง (บาท)
เครื่องบดย่อยขยะ	680 ลิตร	อัตราการป้อนขยะอินทรีย์สด 1,240 กก./วัน	20,545
บ่อรวบรวมขยะและน้ำเสีย	5 ลบ.ม.	เครื่องสูบตะกอน อัตราสูบ 120 ลิตร/นาที ความเร็วรอบ 2,560 รอบ/นาที	20,900
ถังสร้างกรดแบบซีเอสทีอาร์	3.5 ลบ.ม.	ระยะเวลากักเก็บของแข็ง 20 วัน อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4.8 กก. ของแข็งระเหย/ลบ.ม.-วัน	42,100
ถังสร้างมีเทนแบบยูเอเอสบี	3 ลบ.ม.	ระยะเวลากักเก็บน้ำ 12 ชม. อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	26,800
ถังบำบัดสำเร็จรูปแบบเติมอากาศ	1,000 ลิตร	อัตราการเติมอากาศได้ 40 ลิตร/นาที	19,452
ลานตากตะกอน	8 ลาน	ตากได้ตะกอนแห้ง 320 ลิตร/วัน	9,700
บ่อกักเก็บก๊าซชีวภาพ	15 ลบ.ม.	รองรับก๊าซชีวภาพได้ไม่น้อยกว่า 7 ลบ.ม./วัน	12,500

ผลพลอยได้จากระบบ

ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในขยะอินทรีย์และน้ำเสียฟาร์มสุกรรวมกันได้มากกว่า 0.58 ตันต่อปี เมื่ออ้างอิงตามปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ตามทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ [7] และปริมาณเทียบเท่าพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ [8] โดยคิดที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน CSTR-UASB เท่ากับ 80% และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ 55% ระบบจะผลิตก๊าซชีวภาพและใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มได้ไม่ต่ำกว่า 2,845 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

และ 1,280 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ทำให้ระบบช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 60 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี [9] อีกทั้งยังผลิตตะกอนแห้งที่สามารถใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพและน้ำทิ้งออกจากระบบที่มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

การลงทุนของระบบ

เงินลงทุนเริ่มต้นสำหรับการก่อสร้างระบบและติดตั้งอุปกรณ์ประกอบระบบรวมทั้งหมดเท่ากับ 151,997 บาท และมีค่าดำเนินการรายปี ซึ่งประกอบด้วย ค่าซ่อมบำรุง ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรกล ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ รวมเป็นเงิน 19,446 บาทต่อปี

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ต.แม่กา จ.พะเยา แสดงในตารางที่ 2 โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการเท่ากับ 23,048 บาท เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาดำเนินงาน 10 ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 7.6 ปี โครงการจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยเป็นการลงทุนแบบไม่กู้เงินจากสถาบันการเงิน

ตารางที่ 2 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ต.แม่กา จ.พะเยา

รายการประเมิน	หน่วย	ปริมาณในปีที่ 10
ข้อมูลเบื้องต้นของระบบ		
ประชากร	คน	8,222
ปริมาณขยะ	ตัน	1,644
ปริมาณขยะอินทรีย์	ตัน	411
ผลพลอยได้จากระบบ		
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	ลบ.ม.ต่อปี	2,845
ก๊าซหุงต้มที่ทดแทนได้	กก.ต่อปี	1,280
การลงทุนของระบบ		
ค่าก่อสร้างติดตั้ง	บาท	151,997
ค่าดำเนินการรายปี	บาทต่อปี	19,446
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของผลตอบแทน	บาท	23,048
ระยะเวลาคืนทุน	ปี	7.6

สรุป

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอนระหว่างขยะอินทรีย์และน้ำเสียฟาร์มสุกร เพื่อการผลิตพลังงานทดแทนจากขยะชุมชนในพื้นที่ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา สามารถรองรับปริมาณขยะอินทรีย์ได้มากกว่า 411 ตันต่อปี ผลิตก๊าซชีวภาพและใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มได้ไม่ต่ำกว่า 2,845 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 1,280 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ โครงการระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์นี้มีความคุ้มค่าในการลงทุนด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 23,048 บาท และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ 7.6 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองช่าง และกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

[1] ระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรมควบคุมมลพิษ. 2566. ข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย พ.ศ. 2566. https://thaimsw.pcd.go.th/report_country.php. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2567.

[2] Talan, A., Tiwari, B., Yadav, B., Tyagi, R.D., Wong, J.W.C. and Drogui, P. 2021. Food waste valorization: Energy production using novel integrated systems. Bioresource Technology. 322: 124538.

[3] Thi, N.B.D., Kumar, G., Lin, C. 2015. An overview of food waste management in developing countries: current status and future perspective. J. Environ. Manage. 157: 220–229.

[4] Grimberg, S., Hilderbrandt, D., Kinnunen, M., Rogers, S. 2015. Anaerobic digestion of food waste through the operation of a mesophilic two-phase pilot scale digester – assessment of variable loadings on system performance. Bioresource Technology. 178: 226–229.

[5] Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. 2014a. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. Renew. Sustain. Energy Rev. 38: 383–392.

[6] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. 2556. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering economy). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[7] Angelidaki, I., Sanders, W. 2004. Assessment of the Anaerobic Biodegradability of Macropollutants. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 3: 117–129.

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2560. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน: ก๊าซชีวภาพ.

[9] Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J. and Hanson C.E. 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

09P-01

การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบ กลุ่มแกะสลักไม้ ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

Job Safety Analysis of Informal Workers in a Wood Carving Group, Donfai Subdistrict, Maetha District, Lampang Province

อนิรุจน์ มะโนธรรม[1*] ศิริมา เอมวงษ์[2] ธนวรกฤต โอฬารธนพร[3] และ มัตติกา บุญมา[4]
Aniruth Manothum[1*] Sirima Emwong[2] Tanaworakit Orantanaporn[3] and Mattika Bunma[4]
[*1-4]อาจารย์ สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
โทรศัพท์ : 054-237352, โทรสาร : 054-241079, E-mail : aniruth_m@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์งานเพื่อค้นหาอันตรายจากการปฏิบัติงานของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย แบบสอบถามและการสำรวจ ผลการศึกษาพบว่า ทุกขั้นตอนของการแกะสลักไม้ล้วนแต่มีความเสี่ยงทั้งจากการปฏิบัติงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยเฉพาะความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ อาทิ ท่าทางการทำงาน สถานีงาน และชั่วโมงการทำงาน ล้วนแต่เป็นปัจจัยความเสี่ยงที่แฝงอยู่ในทุกขั้นตอนการทำงาน ผู้ที่เกี่ยวข้องควรตระหนักถึงปัญหาจากปัจจัยดังกล่าวโดยนำข้อมูลจากการวิจัยไปสู่แนวทางการเฝ้าระวังความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเพื่อลดการบาดเจ็บหรือโรคจากการทำงาน

คำสำคัญ : การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย; แรงงานนอกระบบ; แกะสลักไม้

Abstract

The research objective was to analyze the work of informal workers in a wood carving group in the Donfai Subdistrict, Maetha District, Lampang Province, to find potential hazards. Purposive random sampling resulted in 3 sample groups. The instruments of the study were job safety analysis (JSA) techniques, questionnaires, and walkthrough surveys. The results revealed that every step of the wood carving process involves risks from unsafe acts and unsafe conditions. Especially troubling are ergonomic risks such as work posture, work stations, and working hours. These risk factors are hidden in every work process. Those concerned should be aware of the problems caused by such factors and use information from research to develop guidelines for monitoring potential risks in order to reduce injuries and occupational diseases.

Keywords : job safety analysis; informal workers; wood carving

บทนำ

องค์กรแรงงานระหว่างประเทศได้รายงานว่าปี พ.ศ. 2563 มีแรงงานกว่า 2,000 ล้านคนที่ทำงานอยู่ในเศรษฐกิจนอกระบบ หรือคิดเป็นร้อยละ 62 ของแรงงานทั่วโลก และในกลุ่มประเทศรายได้ต่ำ แรงงานเหล่านี้คิดเป็นร้อยละ 90 ของการจ้างงานทั้งหมดในประเทศ [1] ในส่วนของประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2565 จากจำนวนผู้มีงานทำทั้งหมด 39.6 ล้านคน มีแรงงานนอกระบบ 20.2 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 51 [2] แรงงานกลุ่มนี้ถือเป็นส่วนสนับสนุนหลักของการสร้างงานและรายได้ในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของสังคมไทย

อย่างไรก็ตามการจ้างงานในกลุ่มแรงงานนอกระบบถือเป็นการจ้างงานที่ไม่ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย ขาดสวัสดิการที่เป็นธรรม โดยเฉพาะในมิติด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานที่ไม่มีแนวทางหรือมาตรฐานการบริหารจัดการด้านการทำงานที่ชัดเจน ทำให้แนวโน้มของสถานการณ์ด้านการทำงานของแรงงานนอกระบบของประเทศไทยต้องเผชิญกับความไม่มั่นคงในการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม [3]

ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีเขตการปกครองประกอบด้วย 8 หมู่บ้าน จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่า นอกจากชุมชนดังกล่าวจะมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ยังมีอาชีพในการแกะสลักไม้ซึ่งเป็นงานหัตถกรรมท้องถิ่นที่มีคุณค่าสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามงานแกะสลักไม้ส่วนใหญ่จะมีขั้นตอนการทำงานที่ต้องใช้ทักษะฝีมือจากแรงงานทั้งหมด ทำให้แรงงานกลุ่มนี้ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของแรงงานนอกระบบมีโอกาสสัมผัสกับความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานและสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัย จากข้อมูลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ในพื้นที่เป้าหมาย ผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาแนวทางการลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและโอกาสในการเกิดโรคจากการทำงานในกลุ่มแรงงานนอกระบบต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย แบบสอบถามและการสำรวจการทำงาน รายละเอียดมีดังนี้

ขอบเขตการวิจัย

1. ด้านเนื้อหา : ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis: JSA) ร่วมกับการใช้แบบสอบถามและการสำรวจพื้นที่การปฏิบัติงาน

2. ด้านพื้นที่ : ใช้พื้นที่ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง เป็นพื้นที่ในการศึกษาวิจัย

3. ด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง : ประชากรที่ศึกษาคือกลุ่มแรงงานนอกระบบแกะสลักไม้ ปฏิบัติงานในพื้นที่หมู่ที่ 4 บ้านนาบง หมู่ที่ 6 บ้านเอียก และหมู่ที่ 7 บ้านดอนไฟ ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่มีกลุ่มแรงงานนอกระบบแกะสลักไม้ [4] และเนื่องจากมีลักษณะการทำงานและบริบทชุมชนที่มีความเหมือนกัน จึงกำหนดขนาดตัวอย่างหมู่บ้านละ 1 กลุ่ม รวมทั้งสิ้นจำนวน 3 กลุ่มตัวอย่าง โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามคุณสมบัติดังนี้ (1) มีประสบการณ์ในการทำงานไม่น้อยกว่า 1 ปี (2) มีสุขภาพปกติ ไม่มีโรคประจำตัว และ (3) เป็นอาสาสมัครที่มีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย ซึ่งเป็นการบ่งชี้อันตรายที่ประกอบด้วยรายละเอียดขั้นตอนการทำงาน การบ่งชี้อันตราย และมาตรการในการป้องกันและปรับปรุง [5]

2. การสำรวจ (Walkthrough Survey) พื้นที่และขั้นตอนการปฏิบัติงานของกลุ่มตัวอย่าง ในพื้นที่หมู่ที่ 4, หมู่ที่ 6, และหมู่ที่ 7 ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

3. แบบสอบถาม โดยประยุกต์จากแบบสอบถามภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงจากการทำงานและความรอบรู้ของแรงงานนอกระบบ [6] ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน ซึ่งแบบสอบถามได้ถูกตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องด้วยค่า IOC เท่ากับ 0.93 และได้ทำการทดลองใช้แบบสอบถามกลุ่มแรงงานนอกระบบในพื้นที่อื่นเพื่อตรวจสอบความเข้าใจในแบบสอบถาม

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ผู้วิจัยติดต่อประสานงานขอเข้าเก็บข้อมูล ชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินโครงการวิจัยต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่

2. ผู้วิจัยเก็บข้อมูลกลุ่มเป้าหมาย รายละเอียดดังนี้

1) สอบถามกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล และข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน โดยใช้แบบสอบถาม 1 ชุดต่อคน

2) สำรวจพื้นที่และขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยเก็บข้อมูลบันทึกเหตุการณ์ผ่านทุกขั้นตอนของกระบวนการแกะสลักไม้

3) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย โดยเริ่มจากการเขียนขั้นตอนการปฏิบัติงาน อาทิ การร่างแบบและวาดลวดลาย - การโกลนหุ่นขึ้นรูป - การแกะสลักลวดลายไม้ – การขัดผิว – การทาสีแลคเกอร์ และวิเคราะห์ความเสี่ยง/อันตรายจากการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งนำเสนอมาตรการการป้องกันและการปรับปรุงในแต่ละขั้นตอนโดยมีผู้เชี่ยวชาญพิจารณาและทบทวนความเหมาะสมของข้อมูลกับลักษณะความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน

3. ตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลที่ทำการสำรวจ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยนี้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย โดยวิเคราะห์ผ่านขั้นตอนการแกะสลักไม้ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยขั้นตอนการแกะสลักไม้

การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis)		**ผู้วิเคราะห์.....**
ขั้นตอน	ความเสี่ยง	มาตรการป้องกัน
การร่างแบบและวาดลวดลาย	-ปวดกล้ามเนื้อไหล่/หลังจากท่าทางการทำงาน -เมื่อยล้าสายตาจากการเพ่งมองชิ้นงาน -ชั่วโมงการทำงานที่ต่อเนื่อง	-จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์/สถานีงานให้เหมาะสม -ปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน -จัดช่วงเวลาพักระหว่างงาน
การโกลนหุ่นขึ้นรูป	-อุบัติเหตุจากเครื่องมือ(เครื่องเซาะไม้) ขณะปฏิบัติงาน -ปวดกล้ามเนื้อไหล่/หลังจากท่าทางการทำงาน -เสี่ยงจากการลื่นไถล	-ตรวจสอบความพร้อมเครื่องมือก่อนปฏิบัติงาน -สวมแว่นตานิรภัย ขณะปฏิบัติงาน -จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์/สถานีงานให้เหมาะสม -จัดเตรียมพื้นที่ ขจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็นออกไป
การแกะสลักลวดลายไม้	-อุบัติเหตุจากเครื่องมือ(สิ่ว มีด ฯลฯ) บาด ทิ่มแทง ขณะปฏิบัติงาน -ภาระงาน(การออกแรง/ท่าทาง) ที่ไม่เหมาะสม	-ตรวจสอบความพร้อมเครื่องมือก่อนปฏิบัติงาน -สวมถุงมือสำหรับงานไม้ ขณะปฏิบัติงาน -หลีกเลี่ยงท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม
การขัดผิว	-ปวดกล้ามเนื้อไหล่จากท่าทางการทำงาน -การสัมผัสฝุ่นจากการขัดชิ้นงาน -การหยิบจับ(ความกระชับ) เครื่องมืออุปกรณ์ -เสี่ยงจากการลื่นไถล	-จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์/สถานีงานให้เหมาะสม -สวมหน้ากากป้องกันฝุ่นละอองจากการขัดชิ้นงาน -ตรวจสอบความกระชับ/เหมาะสมของเครื่องมือฯ -จัดเตรียมพื้นที่ ขจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็นออกไป
การทาสีแลคเกอร์	-ปวดกล้ามเนื้อไหล่จากท่าทางการทำงาน -การสัมผัสสารเคมีจากการปฏิบัติงาน -เสี่ยงจากการลื่นไถล	-จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์/สถานีงานให้เหมาะสม -สวมหน้ากาก/ถุงมือป้องกันการสัมผัสสารเคมี -จัดเตรียมพื้นที่ ขจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็นออกไป

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของขั้นตอนการแกะสลักไม้ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน อาทิ ขั้นตอนที่ 1 การร่างแบบและวาดลวดลายจะพบปัจจัยเสี่ยงด้านการยศาสตร์ เช่น ท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมและชั่วโมงการทำงานที่ต่อเนื่อง ขั้นตอนที่ 2 การโกลนหุ่นขึ้นรูปจะมีลักษณะความเสี่ยงจากการใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์การทำงานและท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม ขั้นตอนที่ 3 การแกะสลักลวดลายไม้จะพบความเสี่ยงเกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้เครื่องมือประเภทสิ่ว ค้อน และภาระงานที่ไม่สมดุล รวมทั้งการลื่นไถลจากสภาพของสถานีงาน ขั้นตอนที่ 4 การขัดผิว จะพบความเสี่ยงเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมและโอกาสในการสัมผัสฝุ่นที่มีขนาดเล็กจากการขัดชิ้นงาน รวมทั้งความเสี่ยงจากการใช้งานเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์การทำงานที่มีขนาดไม่พอดีกับสัดส่วนร่างกาย ขั้นตอนที่ 5 การทาสีแลคเกอร์ จะพบความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานและการสัมผัสสารเคมีประเภทสีและแลคเกอร์ที่ทาเคลือบไม้ ในภาพรวมจะพบว่าทุกขั้นตอนของการแกะสลักไม้ล้วนแต่มีความเสี่ยงจากปัจจัยคุกคามและผลกระทบทางด้านสุขภาพและความปลอดภัยในสถานที่ทำงานทั้งจากการปฏิบัติงาน (Unsafe Acts) และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Unsafe Conditions) โดยเฉพาะปัจจัยเสี่ยงด้านการยศาสตร์ เช่น ท่าทางการทำงานที่ไม่

เหมาะสม สถานีงานที่จำกัด และช่วงระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานและต่อเนื่อง ซึ่งในระยะยาวอาจส่งผลต่อสุขภาพโดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวเนื่องจากการทำงาน สอดคล้องกับรายงานของแรงงานนอกระบบในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่พบว่ามีอาการเจ็บป่วยที่อาจเกี่ยวเนื่องจากการสัมผัสปัจจัยอันตรายจากการทำงาน เช่น อาการปวดระบบโครงร่างกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น [7] รวมทั้งยังมีงานวิจัยของกลุ่มแกะสลักไม้จังหวัดเชียงใหม่ที่พบว่าการทำงานในสถานีงานแบบทั่วไปทำให้ท่าทางการทำงานและการใช้เครื่องมือแกะสลักไม้มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัยอีกด้วย [8] นอกจากนี้ สำนักงานสถิติแห่งชาติ [2] ได้รายงานว่า นอกจากปัญหาด้านการทำงานแล้ว แรงงานนอกระบบยังเผชิญปัญหาที่สำคัญเกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน อาทิ ปัญหาด้านการยศาสตร์ (Ergonomics) เช่น ท่าทางหรืออิริยาบถที่ไม่เหมาะสมในการทำงาน เป็นต้น

รูปที่ 1 แสดงภาพตัวอย่างสภาพแวดล้อมในการทำงานของกลุ่มแกะสลักไม้ ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

สรุป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ ในพื้นที่ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง กลุ่มแรงงานดังกล่าวเป็นกลุ่มแรงงานที่สามารถสร้างงานและรายได้ในท้องถิ่น อีกทั้งยังเป็นงานที่มีคุณค่าสืบสานงานหัตศิลป์ที่ใช้ทั้งฝีมือและทักษะในการทำงาน แต่จากการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ พบว่าแรงงานกลุ่มดังกล่าวมีโอกาสในการสัมผัสปัจจัยอันตรายที่แฝงอยู่ในทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังนั้น กลุ่มแรงงานดังกล่าวควรจะได้รับข้อเสนอแนะและแนวทางการปฏิบัติงานที่เหมาะสมปลอดภัยต่อสุขภาพในระยะยาว อาทิ ในส่วนของข้อแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบและการจัดสถานีงานที่เหมาะสม เช่น การออกแบบความสูง-ต่ำของสถานีงาน ขนาดของอุปกรณ์เครื่องมือการทำงานให้สัมพันธ์กับสัดส่วนร่างกายของผู้ใช้ การออกแบบการทำงานโดยคำนึงถึงความสามารถของภาระงาน การออกแรง ระยะเอื้อม ระยะการมอง ระยะเผื่อ และท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งการขจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็นออกจากพื้นที่ การปฏิบัติตามข้อแนะนำการใช้เครื่องมือ และการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากาก แว่นตา เมื่อต้องสัมผัสสารเคมีหรือฝุ่นขนาดเล็กจากการขัดหรือตกแต่งชิ้นงาน รวมทั้งการจัดแบ่งช่วงเวลาพักที่เหมาะสม เป็นต้น นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ควรจะนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อการวางแผนส่งเสริมกิจกรรมเพื่อสร้างเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีของแรงงานนอกระบบในชุมชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่สนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณแรงงานนอกระบบกลุ่มแกะสลักไม้ ตำบลดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] International Labour Organization (ILO). 2020. COVID-19 crisis and the informal economy, Immediate responses and policy challenges. [Online]. Available: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@travail/documents/briefingnote/wcms_743623.pdf. Retrieved November 1, 2022.

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2566. การสำรวจแรงงานนอกระบบ พ.ศ. 2565. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.nso.go.th/sites/2014/DocLib13/ด้านสังคม/สาขาแรงงาน/Informal_work_force/2565/summary_65.pdf. สืบค้น 1 ธันวาคม2566.

[3] Thanapop C., Thanapop S., and Keam-Kan S. 2021. Health Status and Occupational Health and Safety Access among Informal Workers in the Rural Community, Southern Thailand. Journal of Primary Care & Community Health. 12: 1-7.

[4] กรมพัฒนาที่ดิน. 2564. แผนการใช้ที่ดินตำบลดอนไฟ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://webapp.ldd.go.th/lpd/node_modules/img/Landusedistrict/2565/r06--lpg_01.pdf. สืบค้น 1 ธันวาคม 2566.

[5] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน. 2563. แนวปฏิบัติการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Job Safety Analysis. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก file:///C:/Users/ISO/Downloads/JSA%20(1).pdf.สืบค้น 1 ธันวาคม 2566.

[6] คณะทำงานระบบพัฒนาระบบข้อมูล, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2563. แบบสอบถามภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงจากการทำงานและความรอบรู้ของแรงงานนอกระบบ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.sadathai.org/wp-content/uploads/2020/07/แบบเก็บข้อมูลความเสี่ยงฯ.pdf. สืบค้น 1 ธันวาคม 2566.

[7] Chaiprom J., Chanprasit C., and Jongrungrotsakul W. 2016. Health Status Related to Risk at Work Among Wood Furniture Informal Workers, Wang Chin District, Phrae Province. Nursing Journal. 43(1): 70-83.

[8] Ooneklabh K., Leelarungrayub J., and Chamnongkich S. 2020. Preliminary Report: Modified and Innovative Workstation and Tools in a Male Wood Carver at Chiang Mai Province, Thailand. Journal of Associated Medical Sciences. 53(3): 72-77.

09P-02

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่

Assessment of Carbon Dioxide Emissions from Chicken Nuggets Production

วันชัย บุญอำไพ[1] และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[2*]
Wanchai Boonumpai[1] and Apirak Sawatkit[2*]
[1]นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ 10900
[2*]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ 10900
[*]โทรศัพท์ : 08 1815 2119, โทรสาร : 02 5611721, E-mail : apirak.sa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่ (Chicken Nuggets) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-To-Gate (G2G) การศึกษาเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพและการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ผลการประเมินพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกเท่ากับ 19,752.28 $kgCO_2eq$/batch แบ่งเป็นจากสารขาเข้าร้อยละ 93.54 และสารขาออกร้อยละ 6.46 เมื่อเทียบต่อหนึ่งกิโลกรัมผลผลิตมีค่า 18.46 $kgCO_2eq$ ต่างจากแหล่งอ้างอิงที่มีค่าเท่ากับ 16.53 $kgCO_2eq$ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 10.45 ในการศึกษาได้แนะนำในส่วนของการปรับปรุงการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต รวมทั้งกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ประสิทธิภาพดีขึ้นเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกของสารขาเข้าและสารขาออก

คำสำคัญ : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์; นักเก็ตไก่; ก๊าซเรือนกระจก; การประเมินวัฏจักรชีวิต; กระบวนการผลิต

Abstract

This article is a study of the carbon dioxide emissions assessment of the chicken nuggets production process based on the Gate-To-Gate (G2G) life cycle assessment principle. Education begins with collecting Collected physical data and the use of various resources used. The evaluation results found that the amount of carbon dioxide released was equal to 19,752.28 $kgCO_2eq$/batch. Separated from incoming substances 93.54% and outgoing substances 6.46%. When compared per kilogram the yield is 18.46 $kgCO_2eq$ different from the reference source which has a value of 16.53 $kgCO_2eq$ which is more than 10.45%. The study recommended improvements in the use of various equipment in the production process to improve efficiency and reduce carbon dioxide emissions from incoming and outgoing substances.

Keywords: Carbon dioxide, Chicken nuggets, Greenhouse gases, Life cycle assessment, Production process

บทนำ

ปัจจุบันมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่องทั้งการใช้พลังงานทางภาคการเกษตร การพัฒนาและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่ารวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งนับวันปัญหาดังกล่าวก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นจากผลกระทบของภาวะโลกร้อนทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกตื่นตัวในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากปัญหาดังกล่าวการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่สดก่อนนำมาผลิตเป็นนักเก็ตไก่เพื่อเป็นข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกการศึกษาแบบ Gate-To-Gate(G2G) ซึ่งเลือกเฉพาะกระบวนการผลิตโดยพิจารณาว่าในกระบวนการผลิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากน้อยเพียงใดโดยแสดงผลเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลผลิตและนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรม การผลิตที่คล้ายคลึงกัน เพื่อเป็นแนวทางให้สถานประกอบการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือออกแบบการจัดการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกหรือการขยายผลในการประเมินวัฏจักรชีวิตของ ผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) โดยการติดฉลากคาร์บอนที่ผลิตภัณฑ์หากดำเนินการได้เพื่อให้ผู้บริโภคเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาที่ผ่านมามีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล [1] กล้วยกรอบแก้ว [2] ปลาร้าบอง [3] ผลิตภัณฑ์ข้าว [4] ซึ่งเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษานี้ เพราะเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารลักษณะเดียวกัน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่เพื่อเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพและประหยัด รวมถึงการขยายผลในการติดฉลากคาร์บอนให้กับผลิตภัณฑ์ในอนาคต

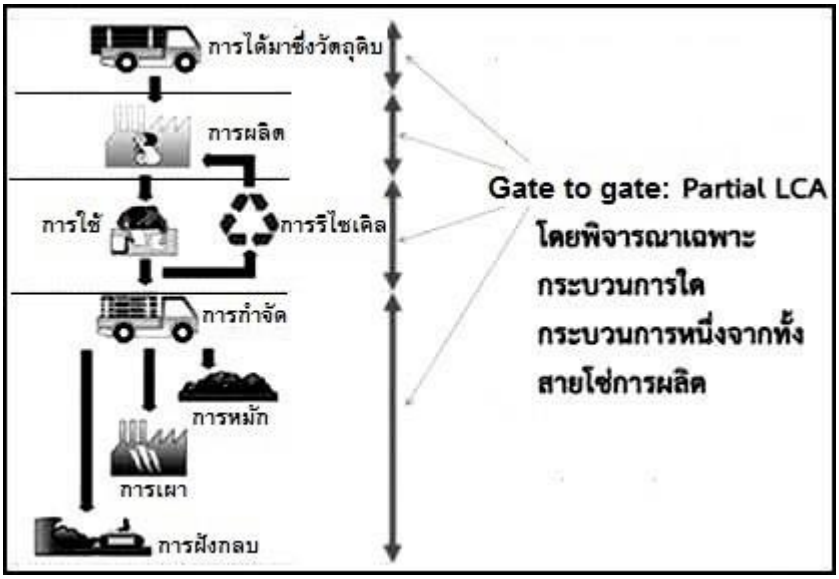
ขอบเขตของงานวิจัย

พิจารณาการศึกษาแบบ Gate-To-Gate (G2G) โดยเลือกในส่วนของกระบวนการผลิตที่เริ่มจากการนำเนื้อไก่สด เข้าสู่กระบวนการผลิตจนกระทั่งแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก่อนจัดจำหน่าย

วิธีการวิจัย

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการกำหนดเป้าหมายภายใต้ขอบเขตการศึกษาตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-To-Gate ที่แสดงในรูปที่ 1 โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตในหนึ่งรอบเวลาของการผลิต (1 Batch) หรือ 2.30 ชั่วโมง โดยเริ่มจากนำเนื้อไก่มาบดปรุงรสชาติ ทอด ฯลฯ จนได้นักเก็ตไก่พร้อมจัดจำหน่าย เมื่อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้ว จึงทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเพื่อแสดงชนิดและปริมาณของ สารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของกระบวนการผลิตได้แก่ปริมาณการใช้พลังงาน ทรัพยากร และของเสียที่ถ่ายเท ออกจากกระบวนการผลิตตามแผนผังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2 จากนั้นจึงแปรข้อมูลที่ได้จากการใช้ทรัพยากรและมวลสารต่าง ๆ ที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตให้อยู่ในรูปของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) โดยอาศัยข้อมูล Emission Factor (EF) จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [5] และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลรวมทั้งหาแนวทางในการลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นหากสามารถดำเนินการได้ ขั้นตอนของการศึกษามีดังนี้

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดรูปแบบการศึกษาเป็นแบบ Gate-To-Gate (G2G) หรือ Partial LCA
2. จัดทำบัญชีรายการโดยการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตวิเคราะห์และรวบรวมบัญชีชนิด และปริมาณของสารขาเข้า-สารขาออกของแต่ละกิจกรรม
3. ทำการประเมินผลกระทบโดยแปลงข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิของแต่ละกระบวนการให้อยู่ในรูปของปริมาณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
4. รวบรวมข้อมูลที่อยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
5. เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



รูปที่ 1 การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-To-Gate (G2G)

ในขั้นตอนการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกสุทธิที่ปล่อยออกมาตลอดกระบวนการผลิตนั้นรวมทั้งสารขาเข้าและสารขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$GHGs = \sum_{i=1}^{n} (Q_i \times EF_i) \qquad (1)$$

เมื่อ *GHGs* (Greenhouse gas) คือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกมาระหว่างกระบวน การผลิตที่พิจารณา, ($kgCO_2eq$) *Q* คือปริมาณสารที่ป้นส่วนต่อหน่วยวัตถุดิบหรือทรัพยากรที่ใช้ (kg), *EF* คือ Emission Factor ของวัตถุดิบหรือทรัพยากรที่ใช้ ($kgCO_2eq$/หน่วย), *i* คือจำนวนข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประเมินจากสมการที่ (2) ดังนี้

$$Electrical\ Energy = power \times Op.hr \times eff. \times LF. \qquad (2)$$

เมื่อ *Electrical Energy* คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh), *power* คือกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในเครื่องจักรต่าง ๆ แต่ไม่รวมส่วนของห้องเย็นซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนกลาง(kW), *Op.hr* คือชั่วโมงใช้งานเครื่องจักร(2.30 hr.), *eff.* คือค่าประสิทธิ ภาพของมอเตอร์ (80%) และ *LF.* คือโหลดแฟคเตอร์ของการใช้งานเฉลี่ย (80%)

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้ก๊าซ LPG สำหรับกระบวนการผลิตประเมินจากสมการที่ (3) ดังนี้

$$Gas\ use = m_f \times EF. \times GWP \qquad (3)$$

เมื่อ *Gas use* คือปริมาณคาร์บอนไดอ๊อกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกจากการใช้ก๊าซ LPG ในกระบวนการผลิต($kgCO_2eq$), m_f คือปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้ในกระบวนการผลิต(kg), *EF* คือ Emission factor ของก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์, (CO_2) ก๊าซมีเธน, (CH_4) และไนโตรเจนอ๊อกไซด์, (NO_2 kgLPG./kg) GWP (Global Warming Potential) คือศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนของก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์,(CO_2) ก๊าซมีเธน,(CH_4) และก๊าซไนโตรเจนอ๊อกไซด์ ,NO_2 ($kgCO_2$/kg)

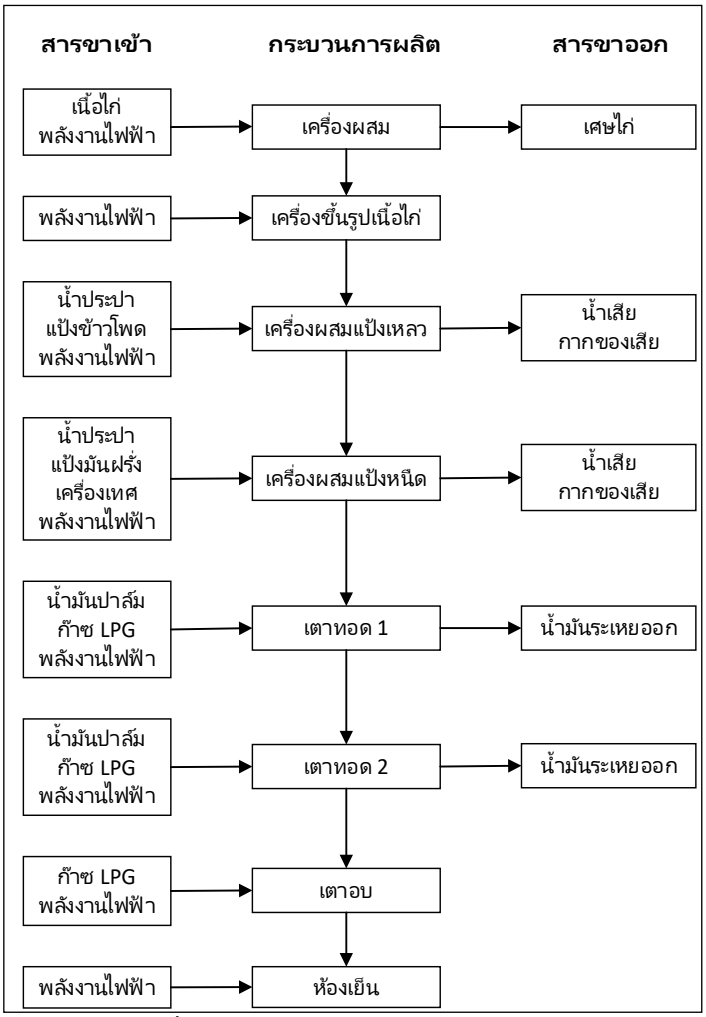
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตประเมินจากสมการที่ (4) ดังนี้

$$Waste\ water = V \times BOD. \times MCF. \times GWP. \qquad (4)$$

เมื่อ Waste water คือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของน้ำเสีย ($kgCO_2eq$), V คือปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (liter), BOD (Biochemical oxygen demand) คือปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียจากผลน้ำ ในห้องปฏิบัติการ (mg/liter), MCF. Methane Conversion Factor, ($kgCH_4$ /kg BOD)

ขั้นตอนในการผลิตนักเก็ตไก่

ขั้นตอนในการผลิตนักเก็ตไก่เริ่มจากสารขาเข้า ที่ประกอบด้วยทรัพยากรและวัตถุดิบจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ กระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น เครื่องขึ้นรูป เครื่องผสม ฯลฯ โดยส่งผ่านสายพานลำเลียงจนได้ผลผลิตและสารขาออกโดยมีมีแผนผังขั้นตอนการผลิต แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่

1. นำเนื้อไก่สดน้ำหนัก 1,070 kg เข้าเครื่องผสม (Mixer Machine) เพื่อทำการผสมให้ได้สัดส่วนตามต้องการ

2. เมื่อทำการผสมแล้วจะนำไปตรวจสอบและนำไปเข้าเครื่องขึ้นรูปชิ้นไก่เพื่อจัดให้ได้ลักษณะและขนาดของ ชิ้นไก่ตามมาตรฐานกำหนด

3. ขั้นตอนต่อจากนั้นไก่จะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องผสมแป้งเหลวและเครื่องผสมแป้งหนืดโดยส่งผ่าน สายพานเตาทอดเครื่องที่ 1 เพื่อทำให้ไก่เซ็ตตัวใช้เวลาในการทอด 13 วินาทีตามขนาดของการผลิตซึ่งจะมีสายพานกดเนื้อไก่ไม่ให้เนื้อ ไก่ลอยและในระบบของเตาขณะทอดจะมีการดูดควันที่เกิดจากการทอดทิ้งออกไปด้วย

4. ไก่จะถูกส่งผ่านไปยังเตาทอด 2 เพื่อทำการควบคุมสีของไก่หลังการทอดให้เป็นไปตามที่กำหนดโดย ใช้เวลาในการทอด 20 วินาที แต่จะไม่มีสายพานผ่านเตาเท่านั้นเพื่อไปขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนนี้ชิ้นไก่ที่ออกจากเตาทอด 2 จะลงไปที่สายพานลำเลียง เข้าไปที่เตาอบเพื่ออบในเวลา 10-11 นาทีเพื่อทำให้ไก่สุกซึ่งในเตาอบจะมีสายพานลำเลียงไก่จำนวน 15 ชิ้นและมีพัดลมดูดควัน ออกและเป่าความร้อนให้กระจายทั่วถึงมากขึ้น จากนั้นไก่จะถูกส่งออกจากเตาอบซึ่งจะมีสายพานลำเลียงไปขั้นตอนต่อไป ขณะที่สายพานที่ส่งชิ้นไก่แล้วจะถูกส่งกลับลงไปในห้องเก็บสายพานเพื่อเข้าไปทำความสะอาดโดยการฉีดเศษไก่ที่ติดบนสายพานออกจนหมด

5. ขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตชิ้นไก่ที่มาจากสายพานลำเลียงจะนำไปเก็บในห้องทำความเย็นหรือ Spray dry เป็นเวลา 45-60 นาที ที่อุณหภูมิ -36 องศาเซลเซียส และรอการบรรจุภัณฑ์ต่อไป

ผลการวิจัย

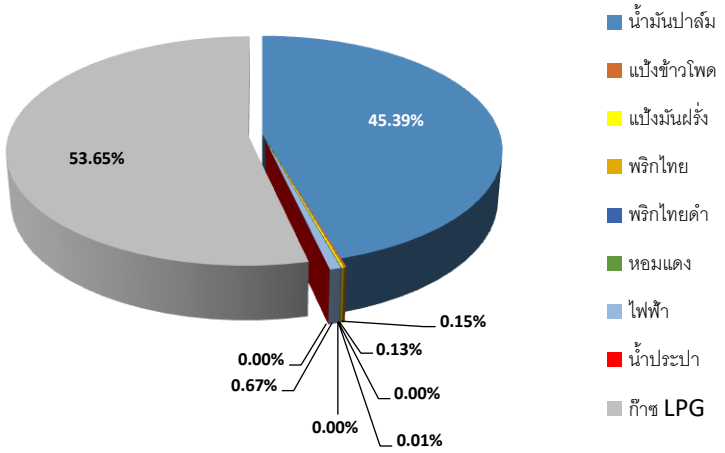
จากการจัดทำบัญชีรายการวัตถุดิบ รวมทั้งปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตในหนึ่งช่วงเวลา สามารถแปลงให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดอ๊อกไซด์เทียบเท่าได้ โดยการนำปริมาณสารดังกล่าวที่บันทึกได้ไปคูณกับค่า Emission Factor ทำให้ได้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วย $kgCO_2eq$ ของสารขาเข้าและสารขาออกดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยอาศัยการคำนวณตามสมการที่ 1-4

ตารางที่ 1 บัญชีรายการและปริมาณสารขาเข้าของการผลิตใน 1 Batch

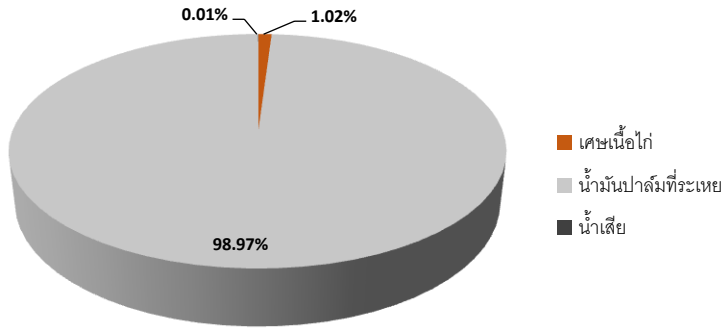
สารขาเข้า	ปริมาณ	Emission Factor/หน่วย [5]	เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
น้ำมันปาล์ม	3,000 kg	2.2820 $kgCO_2eq/kg$	6,846 $kgCO_2eq$
แป้งข้าวโพด	69.05 kg	0.3262 $kgCO_2eq/kg$	22.52 $kgCO_2eq$
แป้งมันฝรั่ง	158 kg	0.1223 $kgCO_2eq/kg$	19.32 $kgCO_2eq$
พริกไทย	0.2 kg	1.1271 $kgCO_2eq/kg$	0.22 $kgCO_2eq$
พริกไทยดำ	2 kg	1.1290 $kgCO_2eq/kg$	2.26 $kgCO_2eq$
หอมแดง	0.4 kg	0.2522 $kgCO_2eq$ /kg	0.10 $kgCO_2eq$
การใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Use)			
พลังงานไฟฟ้า (EE.)	118.50 kWh	0.6933 kgCO2eq/kWh	82.16 $kgCO_2eq$
ทรัพยากร (Resources)			
น้ำประปา	0.41 m^3	0.2891 $kgCO_2/m^3$	0.1185 $kgCO_2eq$
ก๊าซ LPG (9,703.8 kg)	1.1839 $kgCO_2/kg$ LPG $4.93x10^{-5}$ $kgCH_4/kg$ LPG $4.93x10^{-6}$ kgN_2O/kg LPG	GWP = 1 GWP = 30 GWP = 265	11,487.38 $kgCO_2eq$ 14.35 $kgCO_2eq$ 12.68 $kgCO_2eq$

ตารางที่ 2 บัญชีรายการและปริมาณสารขาออกจากกระบวนการผลิต

สารขาออก	ปริมาณ	Emission Factor/หน่วย [5]		ปริมาณก๊าซเรือนกระจก
เศษเนื้อไก่	2.50 kg	5.1935 $kgCO_2eq/kg$		12.98 $kgCO_2eq$
น้ำมันปาล์มที่ระเหย	553 kg	2.2820 $kgCO_2eq/kg$		1,261.94 $kgCO_2eq$
<u>การบำบัดน้ำเสีย</u>				
ปริมาณน้ำเสีย	**BOD.**	**MCF.($kgCH_4$/kg BOD)**	**GWP.**	**ปริมาณก๊าซเรือนกระจก**
200 liters	85 mg/liter	0.3	25	0.127 $kgCO_2eq$



รูปที่ 3 สัดส่วนของสารขาเข้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4 สัดส่วนของสารขาออกจากกระบวนการผลิต

ผลการประเมินการปล่อยคาร์บอนของกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่ ตั้งแต่ขั้นตอนการนำเนื้อไก่มาผลิตในขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตในช่วงเวลาที่พิจารณาพบว่า เมื่อนำข้อมูลมาเปลี่ยนเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมมีค่า 19,752.28 $kgCO_2eq$/batch โดยแบ่งเป็นสารขาเข้า 18,476.60 $kgCO_2eq$ คิดเป็นร้อยละ 93.54 และสารขาออก 1,275.68 $kgCO_2eq$ หรือร้อยละ 6.46 โดยมีสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนเทียบเท่า ของสารขาเข้าและสารขาออกแสดงเป็นร้อยละในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 *เมื่อเทียบต่อหนึ่งกิโลกรัมผลผลิต* (Carbon Intensity) *จะมีค่าเท่ากับ* 18.46 $kgCO_2eq$ *เมื่อนำไปเปรียบเทียบ กับข้อมูลการผลิตนักเก็ตไก่จากแหล่งอ้างอิงอื่น* [6] พบว่า*ต่อหนึ่งกิโลกรัมผลผลิตจะมีค่าเท่ากับ* 16.53 $kgCO_2eq$ *ซึ่งสูงกว่าแหล่งอ้างอิงประมาณร้อยละ* 10.45 *อาจเป็นเพราะการใช้ฐานข้อมูล* Emission Factor *ที่แตกต่างกันแต่ผลสรุปที่ได้ ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก*

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่า นัยสำคัญของการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากสารขาเข้าจะอยู่ที่ปริมาณการใช้น้ำมันปาล์มและก๊าซ LPG *ที่ใช้ในกระบวนการทอดสำหรับสารขาออกจะอยู่ที่การระเหยของน้ำมันปาล์มขณะทอดจึงเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในส่วนนี้* โดยการเลือกใช้เตาที่มีประสิทธิภาพสูงประเภทเตาเซรามิคส์ซึ่งใช้ก๊าซ LPG ปริมาณ 0.19 kg/hr ให้ความร้อน 10,000 BTU สำหรับเตาขนาด 4 kg และให้การกระจายของความร้อนขณะเผาไหม้ได้ดีกว่า รวมถึงแนะนำวิธีการปรับตั้งปริมาณก๊าซที่ใช้พร้อมทั้งสังเกตสีของเปลวไฟที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้การใช้ก๊าซ LPG ลดลงได้ เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีการควบคุมการใช้งานของเตาทอด นอกจากนี้ในส่วนของสารขาออกที่มีการระเหยของน้ำมันทอดในสัดส่วนที่สูง ในการนี้สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ภาชนะที่มีฝาปิดขณะทอดแทนระบบเดิม และควบคุมอุณหภูมิน้ำมันขณะทอดให้ได้ตามต้องการจะทำให้ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการระเหยของสารขาออกได้รวมทั้งลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ลงได้ **การวิจัยนี้อาจไม่ครอบคลุมกระบวนการปล่อยก๊าซทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากต้องการให้การประเมินการ**

ปล่อย ก๊าซเรือนกระจกให้คำตอบครบถ้วนจะต้อง**ประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์** (Life Cycle Assessment :LCA) **โดยพิจารณาตั้งแต่ เริ่มต้น**วัฏ**จักรชีวิตจนถึงสิ้นสุดกระบวนการแบบ** Cradle to Grave **หรือ** Business to Consumer (B2C) **ซึ่งการประเมิน ลักษณะนี้สามารถที่จะนำไปติด**ฉลาก**คาร์บอนหรือ** Carbon Footprint **เพื่อส่งเสริมทางด้าน การตลาดของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ในการเก็บข้อมูล**ทางเทคนิคควร**ใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการตรวจวัดจะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น**

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท คาร์กิลล์มีนส์ (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งเป็นสถานที่ในการทำวิจัย ขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอดและขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุนทางด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฉันทนา พันธุ์เหล็กและคณะ. (2558). คาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อการวางแผนจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของ อุตสาหรรมน้ำตาล. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2563. จาก www.nuir.lib.nu.ac.th.

[2] สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี และอนุสรณ์ บุญปก. (2559). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้ว. สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2563. จาก www.journal.engineer.rmutt.ac.th/enjournal/index.

[3] สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี.(2561). การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกผลิตภัณฑ์ปลาร้าบอง. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2563. จาก www.rdi.rmutsv.ac.th.

[4] รัตนาวรรณ มั่งคั่งและคณะ. (2554). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2563. จาก https://www.lib.ku.ac.th/KU/2554

[5] TGO. ค่า Emission Factor แบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (2552).: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.). กรุงเทพฯ. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2563. จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc

[6] Al Mahamud Ibne Jamal.(2017).Plant Design & Layout of A Chicken Processing Industry. สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2562. จาก https://www.slideshare.net/MahmudAdel1/plant-design-layout-of-a-chicken-processing-industry

09P-03

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

Health Risk Assessment of Workers at Gasoline Station Exposed to Respiratory Dust Sizing less than 10 Microns

ศศิชา ธัชโอภาส[1] และ วิไล เจียมไชยศรี[2]
Sasicha Thaschaopas[1] and Wilai Chiemchaisri[2]
[1]นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์[1]
[2]รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โทร : 06 1453 3645 E-mail : sasicha.th@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอนจากการทำงานในสถานี โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศจากอุปกรณ์กรองฝุ่น 2 ตำแหน่ง คือ 1) ติดตั้งที่ตัวบุคคล 2) ติดตั้งพื้นที่บริเวณหัวจ่ายน้ำมัน ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครทั้งหมดจำนวน 12 แห่ง และนำตัวอย่างที่ตรวจวัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักตามวิธีการมาตรฐานของ NIOSH 0600 ผลการศึกษาพบว่า พนักงานบริการน้ำมันได้รับปริมาณการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนของมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.002 mg/kg -day และผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับฝุ่นดังกล่าว พบว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเป็นอันตรายเท่ากับ 0.1863 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ (HQ = 0.1 – 1.0) โดยระยะเวลาการทำงานนานขึ้นในสถานีบริการน้ำมันจะส่งผลต่อการเพิ่มค่าความเสี่ยงโดยตรง

คำสำคัญ : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ; ฝุ่นละอองขนาดเล็ก; สถานีบริการน้ำมัน; อนุภาค

Abstract

This study research aimed to assess the health risk of the service employees at a gasoline station who are exposed to respirable dust with a diameter smaller than 10 microns. The air samples were collected via a personal sampling pump connected to dust filters installed at two locations: 1) attached to the person (gasoline service employee) and 2) near the gasoline dispenser for 8 working hours in a total of 12 gasoline stations located in Bangkok. The measured samples were then analyzed to determine the amount of dust with a diameter smaller than 10 microns using a gravimetric Method according to the NIOSH 0600. The results showed that the employees were exposed to the respirable dust with sizes < 10 microns by 0.002 mg/kg-day. The health risk assessment results showed that the employees had an average risk of 0.1863, which could be classified as a low-risk criterion (HQ = 0.1 – 1.0). The working duration of the employees is the factor that increases the risk of respirable dust in gasoline stations.

Keywords : Health risk assessment; respirable dust; gasoline station; particulate matters

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

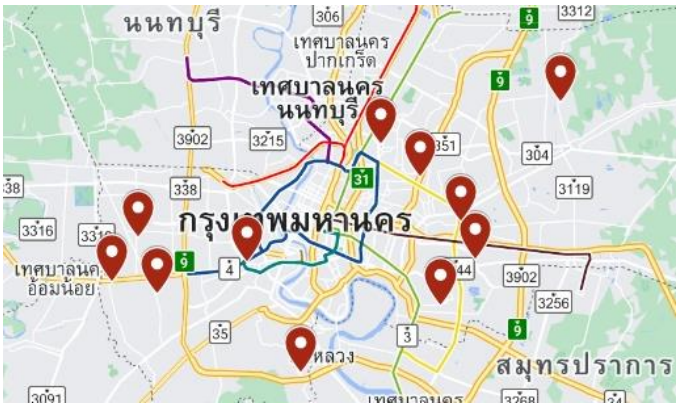
บทนำ

ในปัจจุบันมีสถานีบริการน้ำมันกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นอีกสถานที่ที่ “พนักงานบริการน้ำมัน” ที่ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมงในการทำงาน จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับสัมผัสกับมลพิษจากสภาพแวดล้อมและกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากรถยนต์ไอระเหยขณะเติมน้ำมัน และฝุ่นละอองจากสภาพแวดล้อมโดยรอบสถานีบริการที่มีรถวิ่งเข้าออกตลอด และมักจะมีที่ตั้งที่อยู่ติดกับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น อีกทั้งสถานีบริการน้ำมันยังถูกจัดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทแพร่กระจาย (Diffuse Source) ซึ่งปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และหากทำงานเป็นระยะเวลานานก็จะเกิดการสะสมภายในร่างกายจนก่อให้เกิดโรคภัยต่างๆ จึงมีภาวะความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพขณะปฏิบัติงาน

โดยการวิจัยนี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก (respirable dust) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอนที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้ผ่านการหายใจเท่านั้น โดยวิเคราะห์หาดัชนีบ่งชี้อันตรายต่อสุขภาพที่พนักงานบริการน้ำมันได้รับสัมผัสตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง พร้อมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่พนักงานบริการน้ำมันที่พนักงานบริการน้ำมันกรณีได้รับสัมผัสมาตลอดระยะเวลาการทำงาน

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด 12 แห่งจากพื้นที่กรุงเทพมหานคร (รูปที่ 1) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง โดยมีการเก็บตัวอย่าง ออกเป็น 2 ตำแหน่ง โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศจากอุปกรณ์กรองฝุ่น 2 ตำแหน่ง คือ 1) ติดตั้งที่ตัวบุคคล 2) ติดตั้งพื้นที่บริเวณหัวจ่ายน้ำมัน และนำตัวอย่างที่ตรวจวัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักตามวิธีการมาตรฐาน NIOSH Manual of Analytical Method Number 0600 [1]



ข้อมูลที่ได้นำมาทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากการคำนวณขนาดที่ได้รับสัมผัสทางการหายใจ (Chronic Daily Intake ,CDI) สมการ (1) [2] และการตอบสนองโดยอธิบายลักษณะความเสี่ยงกรณีที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง หรือ สัดส่วนความเป็นอันตราย (Hazard quotient, HQ) สมการ (2) [2]

$$CDI = \frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

เมื่อ CDI = (Chronic daily Intake) ปริมาณการสัมผัสฝุ่น ละอองขนาดเล็ก (mg/kg-day)

C = ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็ก (mg/m^3)

IR = อัตราการหายใจ (m^3 /hr)

ET = เวลาในการสัมผัส (hrs/day)
EF = ความถี่ของการสัมผัส (days/year)
ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (years) 2
BW = น้ำหนักของร่างกาย (kg)
AT = ระยะเวลาที่สารส่งผลต่อสุขภาพเฉลี่ย (days)

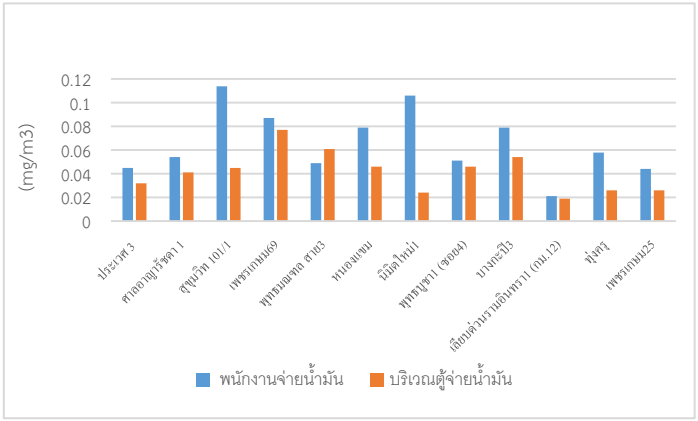
$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{CDI} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\text{-day}\right)}{\text{RfC} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\text{-day}\right)} \quad (2)$$

เมื่อ HQ = ค่าสัดส่วนความเสี่ยง
CDI = ปริมาณการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก (mg/kg-day)
RfC = ค่ามาตรฐานกำหนด (mg/kg/day)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ค่าเฉลี่ยการสัมผัสฝุ่นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดของพนักงานบริการน้ำมันทั้ง 12 แห่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง 1) การตรวจวัดแบบติดที่ตัวบุคคลเฉลี่ยเท่ากับ 0.0603 mg/m^3 2) การตรวจวัดแบบตั้งที่พื้นที่บริเวณหัวจ่ายน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 0.0414 mg/m^3 โดยค่าการรับสัมผัสทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานของ OSHA[2] ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 5 mg/m^3 และ ACGIH[3] ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 3 mg/m^3 จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดจากสถานีบริการน้ำมันทุกแห่งการตรวจวัดแบบติดที่ตัวบุคคล มีปริมาณฝุ่นมากกว่าการตรวจวัดแบบตั้งพื้นที่บริเวณหัวจ่าย ทั้งนี้อาจมีปัจจัยพฤติกรรมของตัวบุคคลที่มีการเคลื่อนที่และมีกิจกรรมอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจจะเข้าใกล้แหล่งกำเนิดมากกว่าการตั้งตรวจวัดแบบ (รูปที่ 2)

ค่าสัดส่วนความเป็นอันตราย ใช้อธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสุขภาพกรณีที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง มีเกณฑ์การประเมินแสดงดังตารางที่ 1 [4] การการคำนวนความเสี่ยงของพนักงานบริการในสถานีบริการเชื้อเพลิงโดยใช้สมการที่ 2 ผลแสดงในตารางที่ 2 ได้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเสี่ยงในการศึกษานี้เท่ากับ 0.1863 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ (HQ = 0.1 – 1.0) โดยพนักงานบริการน้ำมันที่มีค่าสัดส่วนความเสี่ยงสูงที่สุดเท่ากับ 0.544 อยู่ที่สถานีบริการน้ำนำมันที่ตั้งอยู่บนถนนพุทธบูชา1 อาจเนื่องมาจากตัวแปรประสบการณ์ทำงาน (ED) ระยะเวลาเฉลี่ย (AT) ที่พนักงานคนดังกล่าวมีมากที่สุดในตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งถึงเป็นตัวแปรสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสัมผัสมีผลโดยตรงต่อค่าความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความเสี่ยงของพนักงานบริการน้ำมันทั้ง 12 แห่งกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าร้อยละ 64 ของกลุ่มตัวอย่างมีความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ (HQ = 0.1 – 1.0) และร้อยละ 36 อยู่ในระดับไม่มีอันตราย (HQ < 0.1)



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่ตรวจวัดที่สถานีบริการน้ำมัน

ตารางที่ 1 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง พิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) [4]

ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ)	ความเสี่ยง
HQ < 0.1	ไม่มีอันตราย
0.1 ≥ HQ ≤ 1.0	มีอันตรายอยู่ในระดับต่ำ
1.1 ≥ HQ ≤ 10	มีอันตรายอยู่ในระดับปานกลาง
HQ > 10	มีอันตรายอยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 2 ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอธิบายลักษณะความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานบริการน้ำมัน

ที่ตั้งสถานีบริการน้ำมัน	Hazard Quotient (HQ)
ประเวศ 3	0.124
ศาลอาญารัชดา 1	0.093
สุขุมวิท 101/1	0.262
เพชรเกษม69	0.328
พุทธมณฑล สาย3	0.082
หนองแขม	0.120
นิมิตใหม่1	0.157
พุทธบูชา1 (ซอย4)	0.544
บางกะปิ3	0.141
เลียบด่วนรามอินทรา1 (กม.12)	0.035
ทุ่งครุ	0.107
เพชรเกษม25	0.243

สรุปผลการศึกษา

ปริมาณการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอด ของพนักงานบริการน้ำมัน จากสถานีบริการน้ำมัน 12 แห่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงเท่ากับ 0.002 mg/kg - day ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกรณีสัดส่วนความเป็นอันตราย พบว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเป็นอันตรายเท่ากับ 0.1863 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ (HQ = 0.1 – 1.0) ชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาการทำงานส่งผลต่อค่าความเสี่ยงอย่างยิ่ง เนื่องจากทำให้เกิดสะสมภายในปอดโดยที่เราไม่รู้ตัวและก่อให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บตามมา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ายังมีความจำเป็นต้องดำเนินการจัดการความเสี่ยง เพื่อลดและควบคุมความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เช่น การหาอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment ,PPE) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพนักงานที่มีระยะเวลาการทำงานนาน จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถานีบริการน้ำมันทุกแห่งและพนักงานบริการน้ำมันทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวมรวมข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Method 0600 Particulates not otherwise regulated Respirable. 1998, Issue 3. [cited Jan 16, 2018].Available from: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0600. pdf.

[2] U.S. EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A). 1989[cited 2018 March 2018]. Available from: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf

[3] Occupational Safety and Health Administration. 1988 OSHA PEL Project Documentation. [cited Jan 16, 2018]. Available from: http://www.cdc.go/niosh/pel88/dusts. html.

[4] Lemly AD. Evaluation of the Hazard Quotient Method for Risk Assessment of Selenium. Ecotoxicol Environ Saf.1996; 35: 156–62.

[3] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Particulates (Insoluble) Not Otherwise Specified (PNOS). 2001 [cited Jan 16, 2018]. Available from: http://www.cdc.gov/niosh/ pel88/DUSTS.html.