

การเพิ่มประสิทธิภาพของใบมีดผสมคอนกรีตเพื่อการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์ ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น: การวิเคราะห์เชิงทดลองเชิงเปรียบเทียบ

Efficiency of Concrete Mixer Blades for Enhanced Cellular Lightweight Concrete Production: A Comparative Experimental Analysis

สุวัฒนา นิคม^{1*}, รวมพร นิคม², กิตติภูมิ ศุภลักษณ์ปัญญา³, ดิษฐ์พร แก้วมณีโชติ⁴, พัชราวรรณ เกื้อจริญ⁴,
ณวรา นราราช⁴, ฉัตรชัย แก้วดี⁵, วีระยุทธ สุตสมบุญ⁵, วีรพล ปานศรีนวล⁵ และ พงศ์เทพ วีระพงศ์⁶

Wattana Nikhom^{1*}, Ruamporn Nikhom², Kittiphoom Suppalakpanya³,
Dittaporn Kaewmuneechoke⁴, Patcharawan Kerjaroen⁴, Nawara Nararas⁴,
Chatchai Kaewdee⁵, Weerayute Sudsomboon⁵, Weeraphol Pansrinual⁵
and Pongtep Weerapong⁶

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

³ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

⁴ หลักสูตรเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

⁵ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

⁶ หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมและการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: suwattana_nik@nstru.ac.th

วันที่รับบทความ: 24 กุมภาพันธ์ 2568 ; วันที่ทบทวนบทความ: 5 เมษายน 2568 ; วันที่ตอบรับบทความ: 19 เมษายน 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 30 เมษายน 2568

บทคัดย่อ: การศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพใบกวนเครื่องผสมคอนกรีตแบบถังกลมสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ การศึกษาจะพิจารณาว่าใบกวนส่งผลต่อคุณสมบัติอย่างไร เช่น ระยะเวลาการผสม กำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้ง ทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่ค่าความหนาแน่นแห้ง 700, 800, 900 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และความหนาแน่นของสารก่อโฟม 47 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เครื่องผสมความจุ 260 ลิตร มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 1.5 แรงม้าความเร็วรอบการหมุน 24 รอบต่อนาที การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์ที่ผลิตโดยใช้ใบกวน 3 ชนิด พบว่าใบกวนคอนกรีตสามแฉกทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุดระหว่างการผลิตส่งผลให้กำลังอัดสูงสุดทุกค่าความหนาแน่นแห้งที่ทดสอบ

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูลาร์, ใบกวน, กำลังอัด

Abstract: This research aimed at enhancing a rotary drum concrete mixer blade for cellular lightweight concrete (CLC) production. The study systematically examined the influence of blade design on critical mixing parameters, including mixing duration, compressive strength, and dry density. Experimental trials were conducted on cellular lightweight concrete specimens with varying dry density levels of

700, 800, 900, and 1,000 kg/m³, maintaining a constant water-to-cement ratio of 0.45 and a foam agent density of 47 kg/m³. A 260-liter capacity concrete mixer was powered by a 1.5-horsepower electric motor rotating at 24 revolutions per minute. A comparative analysis was performed using three distinct blade designs to evaluate their performance characteristics. The results demonstrated that the three-row blade design generated the highest shear forces during the mixing process, consequently yielding optimal compressive strength across all tested dry density ranges. This research provides valuable insights into the critical role of blade geometry in improving the mechanical properties and overall performance of cellular lightweight concrete mixtures.

Key words: Cellular Lightweight Concrete, Mixer Blade, Compressive Strength

1. บทนำ

คอนกรีตมวลเบาเริ่มเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เพราะมีน้ำหนักเบากันเสียงและความร้อนได้ดี ช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้าง ลดการใช้พลังงานในส่วนเครื่องปรับอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า คอนกรีตมวลเบา หากพิจารณากระบวนการผลิตโดยละเอียดแล้วแบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ คอนกรีตมวลเบาแบบบอบไอน้ำ AAC (Autoclave Aerated Concrete) และคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส CLC (Cellular Lightweight Concrete) [1]

การผลิตคอนกรีตมวลเบาประเภทที่ 1 คอนกรีตมวลเบาแบบบอบไอน้ำ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ยิปซัม ปูนขาว น้ำและผงอลูมิเนียมเป็นส่วนผสม โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีระหว่างผงอลูมิเนียมกับปูนขาว ทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนกระจายตัวในซีเมนต์เพสต์ส่งผลให้น้ำหนักเบา เมื่อแข็งตัวแล้วนำไปบอบไอน้ำที่ ภายใต้อุณหภูมิความดันสูง ส่งผลให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีความแข็งแรงอย่างรวดเร็ว

การผลิตคอนกรีตมวลเบาประเภทที่ 2 คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 น้ำและโฟมคอนกรีต ในปัจจุบันนิยมใช้สารก่อฟองเพื่อผลิตโฟมคอนกรีตสองชนิดคือสารก่อฟองธรรมชาติ และสารก่อฟองสังเคราะห์ ได้แก่ สารโพลีเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง สารประกอบโปรตีนและโพลีแซ็กคาไรด์

เป็นต้น [2] เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติสารก่อฟองสังเคราะห์ พบว่า สารก่อฟองที่มีสารประกอบโปรตีนเป็นหลักจะสร้างฟอง อากาศทรงกลมที่มีขนาดเล็กสามารถคงรูปได้นานและยังให้กำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำสารก่อฟองที่มีสารประกอบโปรตีนผสมกับมอร์ตาร์หรือซีเมนต์เพสต์

ในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากการพัฒนาสารก่อฟองสำหรับผลิตโฟมคอนกรีตที่มีความเสถียรและควบคุมสภาพง่าย คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสนอกจากจะผลิตในรูปแบบอิฐมวลเบาสำหรับการก่อผนัง ปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในการก่อคอนกรีตมวลเบาแบบระบบหล่อในที่ (Cast in place) แทนการก่อด้วยอิฐมวลเบา จุดเด่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส คือใช้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบบอบไอน้ำ สามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตปริมาณไม่มาก อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วย เครื่องผลิตโฟมคอนกรีต [3] และเครื่องผสมคอนกรีต สามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ในการผลิต คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสในงานคอนกรีตมวลเบาแบบระบบหล่อในที่ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการผสมคอนกรีตสามารถแบ่งเป็นสองลักษณะได้แก่ Continuous mixer เป็นการผสมคอนกรีตแบบต่อเนื่องและ Batch mixer เป็นการผสมทีละครั้งตามความจุของเครื่องผสมคอนกรีต โดยวิธีผสมแบบนี้นิยมใช้ชนิด Drum mixer เครื่องผสมแบบนี้ถึงผสมสามารถเทคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วได้ มีใบกวนติดตั้งภายในหมุนไปพร้อมกับถังผสม เครื่องผสมแบบนี้ออกแบบสำหรับการผสมคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่และมีความสามารถเทได้ต่ำ [4] ต่างกับคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ซึ่งมีส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์กับโฟมคอนกรีตลักษณะเหลวและมีความสามารถเทได้สูง จากสาเหตุดังกล่าวทำให้เครื่องผสมแบบ Drum mixer มีประสิทธิภาพในการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้ไม่ดีนัก

อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องผสมแบบ Drum mixer ที่จำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาด มักไม่ปรากฏรายงานข้อมูลทางวิชาการเกี่ยวกับประสิทธิภาพการผสมคอนกรีตและคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเท่าใดนัก จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องผสมคอนกรีตแบบ Drum mixer ให้มีประสิทธิภาพในการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยการปรับปรุงใบกวนคอนกรีตที่ติดตั้งในถังผสมให้เหมาะสมกับซีเมนต์เพสต์ที่มีความเหลวเพื่อลดการกลายสภาพของโฟมคอนกรีตกลับเป็นของเหลว

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องมือในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพื่อนำมาใช้งานคอนกรีตมวลเบาขนาดเล็ก

2.2 ศึกษาประสิทธิภาพใบกวนคอนกรีตของเครื่องผสมคอนกรีตรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

2.3 เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบใบกวนคอนกรีตของเครื่องผสมคอนกรีต ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพื่อนำมาใช้งานคอนกรีตมวลเบาขนาดเล็ก

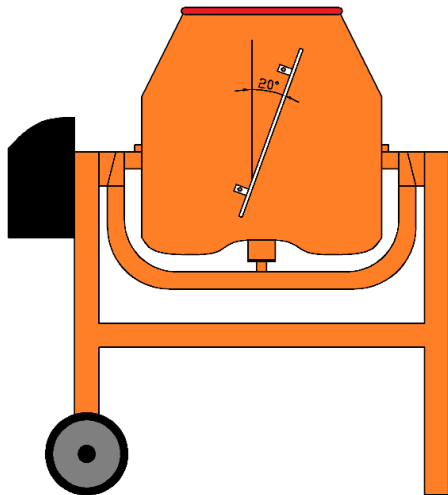
3. ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทางด้านระยะเวลาผสมและกำลังอัดที่ค่าความหนาแน่นแห้ง 700, 800, 900 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังจากคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าแข็งตัว ทำการแกะแบบหล่อแล้วบ่มขึ้นในอากาศทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วันโดยใช้ใบกวนของเครื่องผสมคอนกรีตสามรูปแบบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยเครื่องผสมคอนกรีตรอบการหมุน 24 รอบต่อนาที

4. วิธีดำเนินการวิจัย

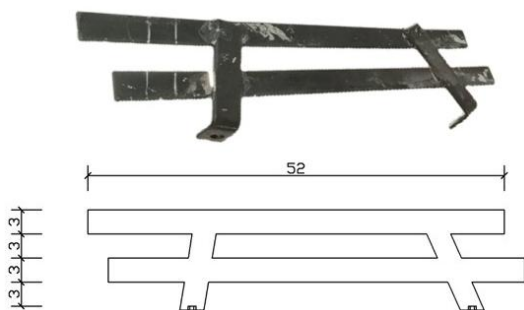
4.1 เครื่องผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองดำเนินการโดยใช้เครื่องผสมคอนกรีต Marton รุ่น CMT 260 ปริมาตรความจุถังผสมคอนกรีต 260 ลิตร รอบการหมุนของเครื่องผสม 28 รอบต่อนาที(ถังเปล่า) ขณะทำการผสมน้ำหนักส่วนผสมหนัก 50 กิโลกรัม รอบการหมุนของเครื่องผสม 24 รอบต่อนาที ถึงผสมคอนกรีตมีขนาดความลึก 68 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางปากถังผสมคอนกรีต 45 เซนติเมตร ภายในถังผสมคอนกรีตติดตั้งใบกวนคอนกรีต 2 อันเอียงทำมุม 20 องศาับระนาบการหมุน ดังภาพที่ 2 โดยการติดตั้งใบกวนลักษณะนี้ส่งผลให้เมื่อ ถึงผสมหมุนตัว ส่วนผสมจะถูกเหวี่ยงออกเมื่อชนกับใบกวนคอนกรีต มุมเอียงของใบกวนคอนกรีต ทำให้เกิด

การไหลของส่วนผสมตามแนวแกน (Axial flow) ยก
ส่วนผสมเข้าสู่ศูนย์กลางถึงผสมคอนกรีต



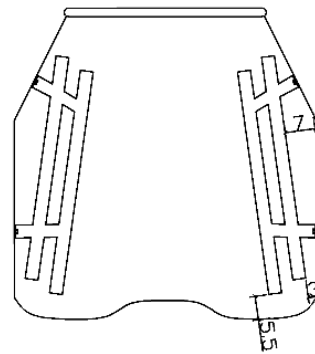
ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งใบกวนคอนกรีต

4.2 ใบกวนคอนกรีตเดิม ทำจากแผ่นเหล็กขนาด 3x52 เซนติเมตร มีความหนา 0.4 เซนติเมตรจำนวน 2 แผ่น โดยห่างจากจุดยึดเป็นระยะ 3 เซนติเมตร มีระยะห่างแต่ละแผ่น 3 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ใบกวนคอนกรีตเดิม

เมื่อติดตั้งใบกวนคอนกรีตในถังผสมคอนกรีตห่างจากกันถึงเป็นระยะ 5.5 เซนติเมตร แผ่นใบกวนคอนกรีตติดตั้งห่างจากขอบถัง ที่จุดยึดด้านล่างและด้านบนเป็นระยะ 3 และ 7 เซนติเมตรตามลำดับดังภาพที่ 4 ช่องว่างระหว่างถังผสมคอนกรีตกับใบกวนคอนกรีต ส่งผลให้มีซีเมนต์เพสต์บางส่วนไหลผ่านช่องว่างนี้ เพื่อผสมกับซีเมนต์เพสต์ส่วนที่ถูกยกตัวเหวี่ยงออกเมื่อชนกับใบกวนคอนกรีต

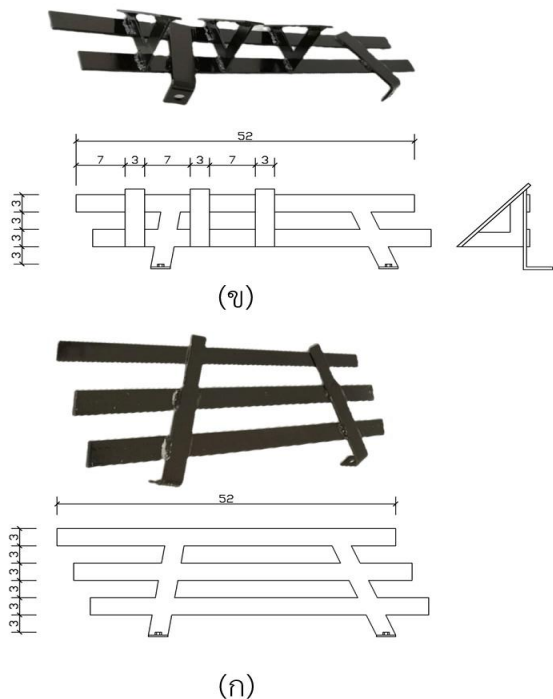


ภาพที่ 4 ระยะห่างระหว่างถังผสมคอนกรีตกับใบกวนคอนกรีต

4.3 การออกแบบและสร้างใบกวนคอนกรีต ในการวิจัยเปรียบเทียบผลของกำลังอัดอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ระหว่างใบกวนคอนกรีตเดิมกับใบกวนคอนกรีต 2 รูปแบบ ที่พัฒนาจากใบกวนเดิม โดยออกแบบให้มีคุณสมบัติในการเพิ่มแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์เพสต์กับใบกวนคอนกรีตขณะเครื่องผสมคอนกรีตหมุน

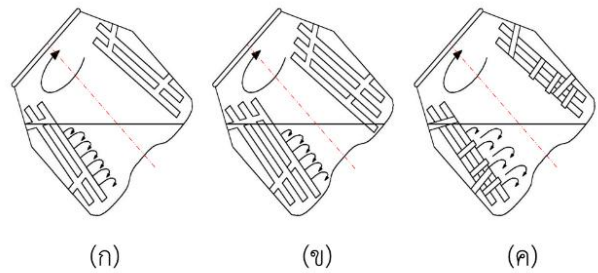
รูปแบบที่ 1 ใบกวนคอนกรีตสามแถว ออกแบบให้เพิ่มแรงเฉือนของซีเมนต์เพสต์ขณะเครื่องผสมคอนกรีตหมุน โดยการนำใบกวนคอนกรีตเดิมเชื่อมแผ่นเหล็กขนาด 3x52 เซนติเมตรเสริมอีก 1 แผ่น โดยวางขนานห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตรดังภาพที่ 5(ก)

รูปแบบที่ 2 ใบกวนคอนกรีตครีบสามแถว ออกแบบให้เพิ่มแรงเฉือนของซีเมนต์เพสต์ขณะเครื่องผสมคอนกรีตหมุน โดยการติดตั้งครีบเหล็กขนาด 3x15 เซนติเมตรจำนวน 3 แผ่น ทำมุม 45 องศา กับใบกวนดังภาพที่ 5(ข) โดยครีบจะทำหน้าที่เพิ่มการยกตัวของซีเมนต์เพสต์ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางถึงผสมคอนกรีต



ภาพที่ 5 ไบวอนคอนกรีต 2 รูปแบบที่พัฒนาจากไบวอนคอนกรีตเดิม

ในการวิจัยทำการเอียงถังผสมคอนกรีต 45 องศาขณะเครื่องผสมทำการหมุน ความปั่นป่วนและแรงเฉือนของ ไบวอนคอนกรีตแต่ละรูปแบบ ส่งเสริมการผสมและกระจายตัวของซีเมนต์เพสต์ ภายในถังผสมคอนกรีตที่แตกต่างกันดังภาพที่ 6 สำหรับไบวอนคอนกรีตเดิมดังภาพที่ 6(ก) มีพื้นที่สัมผัสซีเมนต์เพสต์น้อยความปั่นป่วนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับซีเมนต์เพสต์น้อยเหมาะกับผสมคอนกรีตซึ่งมีหินที่เป็นมวลรวมหยาบเป็นส่วนผสมหลัก ในส่วนของการปรับปรุงไบวอนคอนกรีตรูปแบบที่ 1 เสริมแผ่นเหล็กขนาด 3x52 เซนติเมตรเพิ่มอีก 1 แผ่นดังภาพ ที่ 6(ข) ไบวอนรูปแบบนี้มีพื้นที่สัมผัสซีเมนต์เพสต์มาก ความปั่นป่วนและแรงเฉือนในการผสมเกิดขึ้นมากการปรับปรุงไบวอนคอนกรีตรูปแบบที่ 2 เสริมคานเหล็กจำนวน 3 แถวทำมุม 45 องศา กับไบวอนดังภาพที่ 6(ค) ความปั่นป่วนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับซีเมนต์เพสต์ใกล้เคียงกับไบวอนคอนกรีตเดิม แต่เพิ่มประสิทธิภาพ การยกตัวของซีเมนต์เพสต์ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางถังผสมคอนกรีต



ภาพที่ 6 ลักษณะการไหลของซีเมนต์เพสต์ในถังผสมคอนกรีต

4.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.4.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 สำหรับงานโครงสร้าง

4.4.2 น้ำยาสร้างโพมคอนกรีต เป็นสารสังเคราะห์จากโปรตีนเป็นของเหลวสีน้ำตาลที่มีค่า pH 8.5 ความหนาแน่นของโพม 47 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อัตราส่วนผสม 1:40 โดยปริมาตร

4.4.3 ถังฉีดโพมที่ใช้มีความจุ 70 ลิตร รับแรงดันสูงสุด 7 บาร์ วัสดุสแตนเลสเกรด 304

4.4.4 ปัมป์ขนาด ¼ แรงม้าติดตั้งเพรสเซอร์สวิตช์ควบคุมการทำงานของแรงดันในปัมป์ที่ 4 บาร์ เพื่อส่งไปยังถังฉีดโพม

4.4.5 เครื่องผสมคอนกรีตใช้เครื่องผสมคอนกรีตรุ่นพวงมาลัย ความจุ 260 ลิตร มอเตอร์ไฟฟ้ากำลัง 1.5 แรงม้า รอบการหมุน 24 รอบต่อนาที

4.5 การเอี่ยมซีเมนต์เพสต์ การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 232 โดยตักซีเมนต์เพสต์ใส่ในภาชนะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตรสูง 28 เซนติเมตร โดยให้ความสูงของซีเมนต์เพสต์ในภาชนะประมาณ 25 เซนติเมตรใช้ปิเปตดูดน้ำที่เอี่ยมออกมา เพื่อคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณการเอี่ยมต่อพื้นที่ผิว} = \frac{D}{A} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ D แทน ปริมาตรน้ำที่เอี่ยมออกมา

A แทน พื้นที่หน้าตัดภาชนะที่ใช้ทดสอบ

4.6 การหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม

ในการผสมซีเมนต์เพสต์กับโม่คอนกรีต ซีเมนต์เพสต์ต้องไม่แห้งมีการไหลลื่นดี สมบัติดังกล่าวเกิดขึ้นกับซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์สูง แต่ถ้าหากซีเมนต์เพสต์มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์สูงเกินไปจะเกิดการคายน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการเยิ้ม หากเกิดการเยิ้มมากเกินไปหลังจากคอนกรีตมวลเบาแข็งตัว ส่งผลให้ผิวหน้ามีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมของการทดลอง ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มากที่สุดที่ซีเมนต์เพสต์เริ่มเกิดการเยิ้มโดยทำการทดลองที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.350, 0.375, 0.400, 0.425 และ 0.450 โดยน้ำหนัก

4.7 การประมาณค่าหน่วยน้ำหนักซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโม่คอนกรีต การผสมโม่คอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ จะใช้ค่าหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมโม่คอนกรีตเป็นตัวกำหนด โดยคำนวณจากค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เท่ากับ 3.15 ความหนาแน่นโม่คอนกรีต 47 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.45 ทำการทดสอบที่ค่าความหนาแน่นแห้ง 700, 800, 900 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าดังตารางที่ 1 ในการทดลองหลังจากเติมโม่คอนกรีตไปผสมจนซีเมนต์เพสต์มีหวนน้ำหนักตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ ซึ่งประมาณโดยการตักซีเมนต์เพสต์ใส่กระบอกตวงปริมาตร 1 ลิตร นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.001 กรัม ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การหาหน่วยน้ำหนักซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 1 ค่าประมาณหน่วยน้ำหนักซีเมนต์เพสต์

ความหนาแน่นแห้ง (กก./ม. ³)	น้ำ (กก./ม. ³)	ปูนซีเมนต์ (กก./ม. ³)	โม่คอนกรีต (กก./ม. ³)	น้ำหนักซีเมนต์เพสต์ (กก./ม. ³)
700	315	700	22	1037
800	360	800	19	1179
900	405	900	15	1320
1000	450	1000	11	1461

4.8 ความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยประเมินค่าด้วยสูตรดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นแห้ง} = \frac{Md}{Vd} \dots \dots \dots (2)$$

เมื่อ Md แทน มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในเตาอบจนน้ำหนักคงที่

Vd แทน ปริมาตรชิ้นทดสอบหลังอบในเตาอบจนน้ำหนักคงที่

4.9 การหากล้างอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยหล่อก้อนทดสอบลูกบาศก์ขนาด 15 เซนติเมตร ทดสอบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ดังภาพที่ 8 ค่าที่ได้จากการทดสอบเฉลี่ยจากจำนวน 3 ตัวอย่าง

$$\text{ค่าความต้านแรงอัด} = \frac{F}{An} \dots \dots \dots (3)$$

เมื่อ F คือ ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบเสียหาย

An แทน พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับแรงอัด



ภาพที่ 8 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

4.10 ระยะเวลาในการผสม จับเวลาการผสมโดยแบ่งเป็นสองช่วงเวลา

4.10.1 ระยะเวลาการผสมซีเมนต์เพสต์ เป็นระยะเวลาดังแต่เริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจนกลายเป็นซีเมนต์เพสต์ โดยในช่วงเวลานี้ใช้เวลาผสมที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องผสมแบบถังหมุน 3 นาที[5] ในทุกส่วนผสม

4.10.2 ระยะเวลาในการเติมโคมคอนกรีต เป็นระยะเวลาดังแต่เริ่มผสมโคมคอนกรีตในซีเมนต์เพสต์จนกระทั่งมีค่าหน่วยน้ำหนักตามที่ต้องการ

5. ผลการวิจัย

5.1 ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ซีเมนต์เพสต์เริ่มเกิดการเยิ้ม ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.45 โดยมีค่าการเยิ้มต่อพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.503×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร โดยในการทดลองจะใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.45 ในการเตรียมตัวอย่างทั้งหมด

5.2 ค่าความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จากการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสดังตารางที่ 2 มีค่าสูงกว่าค่าการประมาณจากค่าหน่วยน้ำหนักซีเมนต์เพสต์ (ตารางที่ 1) อยู่เล็กน้อยในทุกอัตราส่วนผสม สาเหตุดังกล่าวเกิดจากความคลาดเคลื่อนการประมาณค่าความหนาแน่นโคมคอนกรีต และการสลายตัวของโคมคอนกรีตกลายเป็นของเหลวผสมกับซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

ความหนาแน่นแห้งที่ต้องการ (กก./ม. ³)	ความหนาแน่นแห้งที่ได้ (กก./ม. ³)		
	โคมเดิม	โคมสามแถว	โคมครบ
700	0.716	0.709	0.717
800	0.828	0.814	0.824
900	0.921	0.911	0.912
1000	1.103	1.008	1.013

5.3 ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จากการทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ค่าความหนาแน่นแห้ง 700, 800, 900 และ 1,000 กิโลกรัม

ต่อลูกบาศก์เมตร ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วันโดยใช้โคมคอนกรีตทั้งสามรูปแบบ ได้ผลดังภาพที่ 9-11 จากผลการทดลอง แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยประกอบด้วย

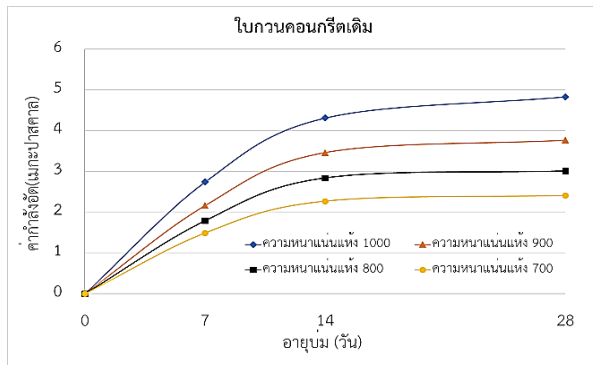
ปัจจัยที่ 1 อายุบ่มที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุบ่ม 7 วัน เหมือนคอนกรีตทั่วไป [6] เนื่องจากคัลเซียมซิลิเกตซึ่งเป็นสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทำหน้าที่เป็นตัวประสานที่มีความแข็งแรงกับโครงสร้าง

ปัจจัยที่ 2 ค่าความหนาแน่นแห้งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส เกิดจากการเติมโคมคอนกรีตในซีเมนต์เพสต์ เมื่อปริมาณโคมคอนกรีตมีมาก ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์มาก หลังจากแข็งตัวคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีความหนาแน่นแห้งน้อย ส่งผลให้มีค่ากำลังอัดน้อยเช่นกัน โดยเฉพาะคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ความหนาแน่นแห้งต่ำ เกิดการสะสมปริมาณฟองอากาศ ช่องว่างของอากาศจะเริ่มรวมตัวกัน หลังจากแข็งตัวจะเกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงลดลง

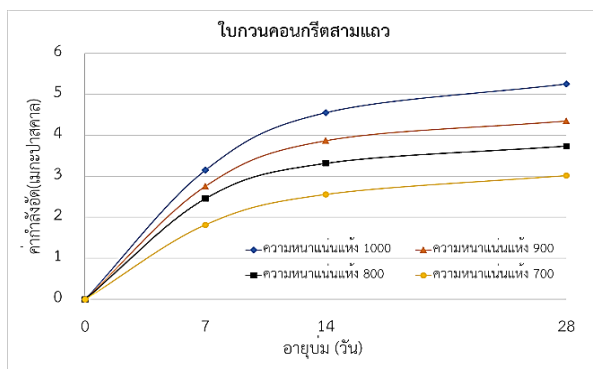
ปัจจัยที่ 3 ชนิดของโคมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส จากการทดลองเปรียบเทียบกำลังอัดที่ค่าความหนาแน่นแห้งที่อายุบ่ม 28 วัน ดังตารางที่ 3 โคมคอนกรีตสามแถวให้ค่ากำลังอัดสูงสุดในทุกค่าความหนาแน่นแห้ง

ตารางที่ 3 ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่อายุบ่ม 28 วัน

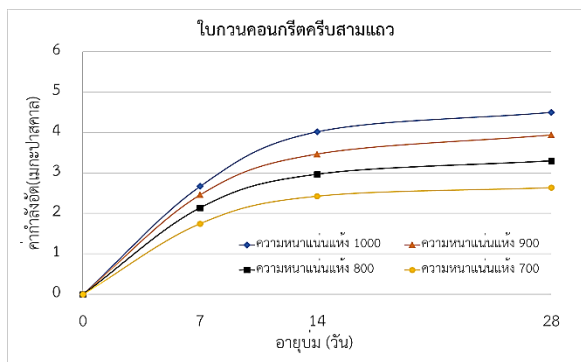
ความหนาแน่นแห้ง (กก./ม. ³)	กำลังอัด(เมกะปาสคาล)		
	โคมเดิม	โคมสามแถว	โคมครบ
700	2.41	3.02	2.64
800	3.01	3.74	3.30
900	3.76	4.35	3.94
1000	4.83	5.25	4.50



ภาพที่ 9 กำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสโดยใช้
ใวกอนกรีตเดิม



ภาพที่ 10 กำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสโดยใช้
ใวกอนกรีตสามแถว



ภาพที่ 11 กำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสโดยใช้
ใวกอนกรีตสามครึ่ง

5.4 เวลาในการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส
เวลาในการผสมซีเมนต์เพสต์กับโฟมคอนกรีตของ
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสดังตารางที่ 4 แนวโน้มการ
เพิ่มขึ้นของเวลาในการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส
ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 ค่าความหนาแน่นแห้ง คอนกรีตมวล
เบาแบบเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นแห้งน้อย ต้องเติม
โฟมคอนกรีตในการผสมปริมาณมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง
ใช้เวลาในการผสมมากเช่นกัน

ปัจจัยที่ 2 ชนิดของใวกอนกรีตมวลเบา
แบบเซลลูโลส จากการทดลองใวกอนกรีตสามแถวใช้
เวลาในการผสมน้อยที่สุด ทุกค่าความหนาแน่นแห้ง
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ทำการทดสอบ ในส่วน
ของใวกอนกรีตครึ่งสามแถว ใช้เวลาในการผสม
โฟมคอนกรีตน้อยกว่าใวกเดิมเล็กน้อย

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการผสมโฟมคอนกรีต

ความหนาแน่นแห้ง (กก./ม.³)	เวลาผสม(นาที)		
	ใวกเดิม	ใวก สามแถว	ใวกครึ่ง สามแถว
700	6:14	2:21	5:12
800	5:45	2:04	4:22
900	4:36	1:56	4:10
1000	4:06	1:50	4:08

6. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

**6.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบ
เซลลูโลส** ส่วนผสมหลักได้แก่ปูนซีเมนต์และน้ำ มีค่าความ
ถ่วงจำเพาะคงที่ แต่โฟมคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป
บางส่วนจะสลายตัวกลายเป็นของเหลวทำให้ปริมาตร
ลดลง ดังนั้นการประมาณหน่วยน้ำหนักซีเมนต์เพสต์
ควรเป็นค่าความหนาแน่นโฟมคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป
15 นาที ซึ่งเป็นเวลาหลังจากทำการฉีดโฟมคอนกรีตออก
มาจากถังฉีดโฟมจนกระทั่งเทซีเมนต์เพสต์ลงในแบบหล่อ
จนเสร็จ

**6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพใวกอนกรีตมวล
เบาแบบเซลลูโลสด้านกำลังอัด** ใวกอนกรีตสามแถว
ให้กำลังอัดสูงสุดทุกค่าความหนาแน่นแห้งที่ทดสอบ
เพราะใวกนอกแบบให้เกิดแรงเฉือนสูงสุดระหว่าง
การผสม เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อคุณสมบัติ
การไหลและการผสมของซีเมนต์เพสต์กับโฟมคอนกรีต [7]
ในส่วนของใวกอนกรีตครึ่งสามแถว ออกแบบให้เพิ่ม

ประสิทธิภาพการยกตัวของซีเมนต์เพสต์ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางถึงผสมคอนกรีต ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าใบกวนเดิมเล็กน้อยในช่วงความหนาแน่นต่ำและมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับใบกวนคอนกรีตสามแถว

6.3 เปรียบเทียบเวลาในการผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า หลังจากฉีดโฟมคอนกรีตเข้าไปผสมกับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งประกอบด้วยน้ำยาสร้างฟองโฟมและอากาศ หลังจากเวลาผ่านไปโฟมคอนกรีตแตกตัวกลายเป็นช่องเหลว เมื่อไปรวมตัวกับซีเมนต์เพสต์จะส่งผลให้อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์สูงขึ้น [8] ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง ดังนั้นใบกวนคอนกรีตสามแถวที่มีระยะเวลาผสมน้อยที่สุด ส่งผลให้มีค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบการผสมด้วยใบกวนคอนกรีตรูปแบบอื่น

6.4 การประยุกต์เครื่องผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า การพัฒนาเครื่องผสมคอนกรีตแบบ Drum mixer ซึ่งมีขายทั่วไปและนิยมใช้กันในงานก่อสร้างขนาดเล็ก มีลักษณะรูปทรงที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาประยุกต์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าเพื่อให้มีค่ากำลังอัดสูงสุด ควรออกแบบให้เครื่องผสมคอนกรีตมีระยะเวลาผสมที่น้อยที่สุด เพื่อลดปริมาณการสลายตัวของโฟมคอนกรีตกลายเป็นช่องเหลวเข้าไปผสมกับซีเมนต์เพสต์ การปรับปรุงประสิทธิภาพใบกวนคอนกรีตเพื่อให้มีแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในการผสม เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยการเพิ่มพื้นที่โดยใช้แผ่นเหล็กขนาด 3x52 เซนติเมตรจำนวน 1 แผ่นโดยติดตั้งห่างจากขอบถึงเครื่องผสมคอนกรีต 3 เซนติเมตรดังภาพที่ 12 ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุดในด้านกำลังอัดคอนกรีต

เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องผสมคอนกรีตรูปแบบอื่น เช่นผสมคอนกรีตแวนอน [9] การเพิ่มรอบการหมุนที่เหมาะสม มีผลกับกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า โดยรอบการหมุนที่ 45 รอบต่อนาทีทำให้ได้กำลังอัดคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าสูงสุด แต่การเพิ่มรอบการหมุนเครื่องผสมคอนกรีตแบบ Drum mixer ให้สูงขึ้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพกำลังอัดคอนกรีตมวล

เบาเซลลูล่า อาจส่งผลต่อการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าเครื่องผสมคอนกรีตแบบ Drum mixer



ภาพที่ 12 ใบกวนสำหรับคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่า

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับแรงบันดาลใจจาก YouTube การพัฒนาคอนกรีตเบาในประเทศไทย Development of light weight concrete in Thailand AAC – CLC ผู้นำเสนอ ดร.อภัย ชาภิรมย์ เลขานุการ/ผู้เชี่ยวชาญศูนย์นวัตกรรมวัสดุก่อสร้างอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน (SIE-CON) สาขาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lei, M., Liu, Z. and Wang, F. 2024. "Review of lightweight cellular concrete: Towards low-carbon, high-performance and sustainable development," *Construction and Building Materials*. 429: pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136324>
- [2] Raj, A., Sathyan, D. and Mini, K. M. 2019. "Physical and functional characteristics of foam concrete: A review," *Construction and Building Materials*. 221: pp.787–799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>

- [3] Falliano, D., Restuccia, L. and Gugliandolo, E. 2021. "A simple optimized foam generator and a study on peculiar aspects concerning foams and foamed concrete," *Construction and Building Materials*. 268: pp. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121101>
- [4] Da Silva, J. L. and Lordsleem, A. C. 2021. "Influence of mixer type and mixing time on the multipurpose mortar properties," *Case Studies in Construction Materials*. 15: pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00562>
- [5] Dils, J., De Schutter, G. and Boel, V. 2012. "Influence of mixing procedure and mixer type on fresh and hardened properties of concrete: A review," *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*. 45: pp. 1673–1683. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9864-8>
- [6] Amran, Y. H. M., Farzadnia, N. and Ali, A. A. 2015. "Properties and applications of foamed concrete; A review," *Construction and Building Materials*. 101: pp. 990–1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- [7] Williams, D. A., Saak, A. W. and Jennings, H. M. 1999. "The influence of mixing on the rheology of fresh cement paste," *Cement and Concrete Research*. 29: pp. 1491-1496. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00124-6)
- [8] Ayanlere, S. A. and et al. 2023. "Effects of water-cement ratio on bond strength of concrete," *Materials Today: proceedings*. 86: pp. 134-139. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.686>
- [9] Chapirom, A. and Jaturapitakkul, C. 2020. "Effect of Speed Rotation on the Compressive Strength of Horizontal Mixer," *Suranaree Journal of Science and Technology*. 26: pp. 113-120. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25198.97609>