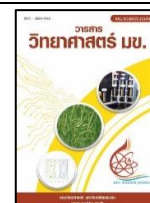




KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



การศึกษาสมบัติทางกลและการดูดซึมน้ำของอิฐมอยแบบไม่เผา ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ

A Study on the Mechanical Properties and Water Absorption of Unfired Clay Bricks Containing Rice Husk Ash

นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์^{1*}, อีรพัฒน์ ดีสุวรรณ¹ และ อีรภัทร แต่งผิว¹Noppadol Sangiamsak^{1*}, Teerapat Deesuan¹ and Teerapat Tangpiw¹¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150, Thailand

บทคัดย่อ

อิฐมอยเป็นวัสดุก่อผนังที่ต้องผ่านกระบวนการเผาเป็นระยะเวลา 7 ถึง 15 วัน ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องควัน กลิ่น นอกจากนี้ อิฐมอยอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการเผาที่ไม่ทั่วถึง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติของอิฐมอยแบบไม่เผาที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับดินในอัตราส่วน 1:6 และใช้เถ้าแกลบทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 ถึง 0.55 นำมาอัดขึ้นรูปให้มีขนาดตามมาตรฐาน มอก.77-2565 คือ 65 x 140 x 40 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน การดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน และโมดูลัสแตกร้าวที่อายุ 28 วัน จากการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดและโมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลง ส่วนการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 และ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 158 121 และ 111 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และมีการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งทั้งสามส่วนผสมมีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.77-2565 ของอิฐชั้นคุณภาพ ค ส่วนผสมที่แนะนำซึ่งสามารถใช้เถ้าแกลบได้สูงสุดโดยที่อิฐยังมีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก. คือส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20

ABSTRACT

Clay bricks are widely used as wall construction materials; however, their conventional production involves a firing process lasting 7 to 15 days, which contributes to environmental issues such as smoke emission and odor, and often results in inconsistent product quality due to uneven firing. This study investigates the mechanical and physical properties of unfired clay bricks incorporating cement and laterite in a 1:6 ratio, with finely ground rice husk ash (RHA) used as a partial cement replacement at levels of 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight. The water-to-binder ratio was varied between 0.40 and 0.55. Brick specimens were molded to the dimensions specified in Thai Industrial Standard (TIS) 77-2565 (65 x 140 x 40 cubic millimeters). Compressive strength tests were conducted at 7, 14, and 28 days, while

*Corresponding Author, E-mail: noppadol.s@msu.ac.th

Received date: 26 May 2025 | Revised date: 17 July 2025 | Accepted date: 29 July 2025

doi: 10.14456/kkuscij.2025.30

water absorption and modulus of rupture were evaluated at 28 days. The results indicate that increasing RHA content leads to a reduction in both compressive strength and modulus of rupture, while water absorption increases. The mixtures with 0%, 10%, and 20% RHA replacement achieved average 28-day compressive strengths of 158, 121, and 111 kg/cm², respectively, with water absorption values below 10%. These three formulations complied with the TIS 77-2565 requirements for Class C bricks. The optimal mix is identified as the one containing 20% RHA replacement, which maximizes RHA utilization while maintaining compliance with the standard.

คำสำคัญ: อิฐมอญ, เถ้าแกลบ, กำลังรับแรงอัด, การดูดซึมน้ำ, โมดูลัสแตกร้าว

Keywords: Clay Brick, Rice Husk Ash, Compressive Strength, Water Absorption, Modulus of Rupture

บทนำ

อิฐมอญ เป็นวัสดุก่อผนังชนิดหนึ่งที่มีการใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณและยังเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ผลผลิตจากการนำดินเหนียวผสมกับเถ้าแกลบหรือแกลบดิบและน้ำ แล้วนำไปเผาเป็นระยะเวลา 7 ถึง 15 วันโดยใช้แกลบหรือฟืนเป็นเชื้อเพลิง อิฐมอญมีความแข็งแรงเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐชนิดอื่น มีราคาถูก และมีสีที่สวยงาม สามารถใช้เป็นอิฐประดับได้โดยไม่ต้องมีการฉาบ อย่างไรก็ตาม การเผาอิฐมอญก่อให้เกิดฝุ่นละอองและกลิ่นรบกวนส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้คนที่อาศัยอยู่รอบ ๆ นอกจากนี้ อิฐที่ผ่านการเผาอาจเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยว ทำให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ไม่ตรงตามความต้องการ อีกทั้งการเผาที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากันทุกตำแหน่ง ทำให้คุณภาพของอิฐไม่สม่ำเสมอ และอาจมีอิฐบางตำแหน่งเป็นอิฐที่เผาไม่สุกเนื่องจากได้รับความร้อนไม่เพียงพอซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้

แนวทางหนึ่งในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการเผาอิฐคือการพัฒนาอิฐมอญแบบไม่เผา โดยมีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่อง ณัฐพงศ์ (2562) ได้พัฒนาอิฐมอญแบบไม่เผาโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูป ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานร่วมกับดินลูกรัง ฟางข้าว และน้ำสะอาด ผลการทดลองพบว่าอิฐที่ได้มีค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 77-2565 และมีขนาดที่สม่ำเสมอ ต่อมา ณัฐพงศ์ (2565) ได้ขยายผลการศึกษาด้วยการปรับปรุงส่วนผสม โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินลูกรัง น้ำยางธรรมชาติ น้ำสะอาด และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งพบว่าอิฐที่ผลิตขึ้นมีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ครบทุกชั้นคุณภาพ อีกทั้งยังแสดงสมบัติด้านการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแบบเผา งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุทดแทนหรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาเป็นส่วนประกอบของอิฐมอญแบบไม่เผา

เถ้าแกลบ เป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาแกลบ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมหรือกระบวนการต่าง ๆ เช่น การผลิตอิฐมอญ การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยความร้อนจากการเผาแกลบ การต้มเกลือสินเธาว์ การหุงต้มในครัวเรือนที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น เถ้าแกลบเป็นวัสดุที่มีเนื้อพรุน ความหนาแน่นต่ำ (Endale *et al.*, 2022) ระบายน้ำได้ดี จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เช่น การปรับปรุงดินให้มีความโปร่ง การใช้เป็นวัสดุเพาะชำ เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอกโซลันที่สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีตเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นทั้งด้านกำลัง ความทนทาน ความสามารถในการทำงานได้ (Ganesan *et al.*, 2008; Habeeb and Mahmud, 2010; Babaso and Sharanagouda, 2017; Bheel *et al.*, 2019; Endale *et al.*, 2022) นำไปใช้เป็นส่วนผสมในอิฐบล็อก (Kumar *et al.*, 2013) และอิฐมอญ (More *et al.*, 2014; Kazmi *et al.*, 2016; Andreola *et al.*, 2018; Damanhuri *et al.*, 2020; Ani and Nahid, 2023) แม้ว่าจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย แต่เถ้าแกลบก็ยังเป็นวัสดุที่มีมูลค่าต่ำ บ่อยครั้งมีการกองทิ้งไว้ ทำให้เกิดปัญหาทางด้านฝุ่นละอองและการไหลไปปนเปื้อนตามสถานที่ต่าง ๆ เวลาเกิดฝนตก

จากแนวคิดในการพัฒนาอิฐมอญแบบไม่เผาเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมุ่งผลิตอิฐมอญโดยใช้ดินปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ และน้ำ ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป และนำไปทดสอบสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ กำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสแตกร้าว พร้อมเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77-2565 แม้ว่าปูนซีเมนต์จะไม่ใช่วัตถุเหลือทิ้งและกระบวนการผลิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง แต่ในบริบทของอิฐแบบไม่เผา ดินปูนซีเมนต์มีบทบาทสำคัญในการเป็นวัสดุประสานที่ช่วยให้โครงสร้างอิฐสามารถคงรูปและมีความแข็งแรงได้โดยไม่ต้องพึ่งพาการเผาที่ปล่อยคาร์บอนสูงเช่นกัน งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้เถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาเป็นวัสดุปอชโซลานเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ลดการใช้ปูนซีเมนต์ และพัฒนาอิฐมอญแบบไม่เผาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อันเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่ตอบโจทย์ด้านความยั่งยืนในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัสดุในการผลิตอิฐมอญและอัตราส่วนผสม

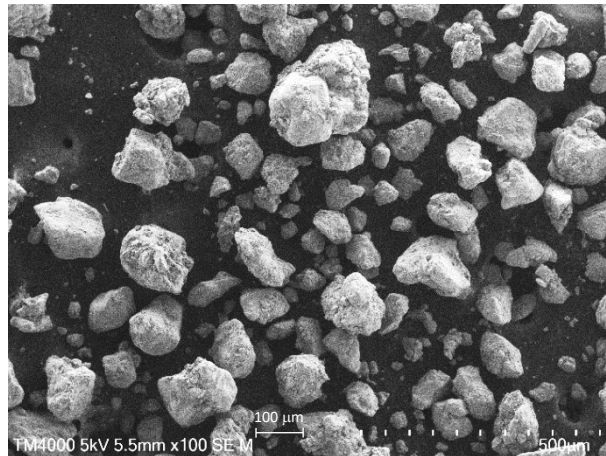
อิฐมอญแบบไม่เผาที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการอัดขึ้นรูปโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวเชื่อมประสาน วัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดิน เถ้าแกลบ และน้ำประปา

ตัวอย่างดินเก็บจากอำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร จากผิวดิน ซึ่งเป็นดินที่พบได้ในบริเวณกว้างและมีเม็ดค่อนข้างหยาบ นำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 จัดเก็บในถังที่มีฝาปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น ลักษณะของดินมีสีน้ำตาลดังรูปที่ 1 จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น TM4000Plus พบว่าเม็ดดินมีความเป็นเหลี่ยมมุมและมีผิวขรุขระเล็กน้อยดังรูปที่ 2 เมื่อจำแนกชนิดของดินด้วยระบบ USCS พบว่าเป็นดินทรายขนาดละเอียดและมีดินตะกอนปน (SP-SM) สมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินสรุปได้ดังตารางที่ 1

เถ้าแกลบ นำมาจากโรงสีข้าวในจังหวัดมหาสารคาม เกิดจากการเผาแกลบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า นำมาอบให้แห้งสนิทและบดจนมีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (รูปที่ 3) โดยภาพขยายกำลังสูงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าอนุภาคของเถ้าแกลบมีความพรุนสูง จากการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาของเถ้าแกลบพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.17 และร้อยละ 4.0 ตามลำดับ



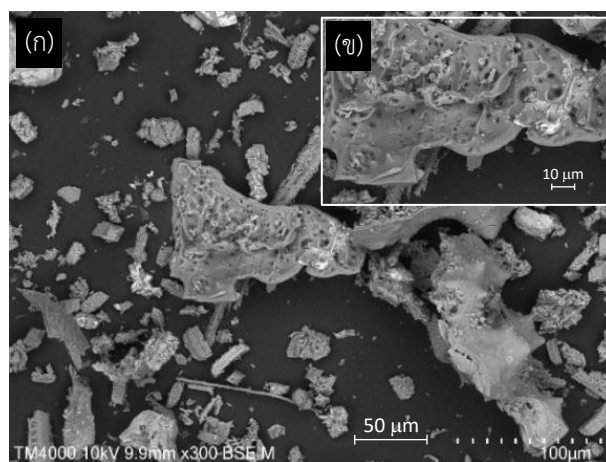
รูปที่ 1 ดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 สำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอิฐมอญแบบไม่เผา



รูปที่ 2 ภาพถ่ายเม็ดดินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 3 เถ้าแกลบบดที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 สำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอิฐมอดูแบบไม่เผา



รูปที่ 4 ภาพถ่ายเถ้าแกลบบดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM); กำลังขยาย 300 เท่า (ก) กำลังขยาย 800 เท่า (ข)

เนื่องจากอิฐมอยแบบไม่เผาใช้แนวคิดเดียวกับอิฐบล็อกประสาน คือ ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและคงรูปได้ ดังนั้น การกำหนดส่วนผสมในการผลิตอิฐมอยแบบไม่เผาจึงใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 (เป็นอัตราส่วนที่ใช้ทั่วไปในการทำอิฐบล็อกประสาน) และใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ผสมน้ำในปริมาณที่สามารถอัดขึ้นรูปได้พอดีซึ่งมีสัดส่วนของน้ำที่แตกต่างกันไปในแต่ละส่วนผสม ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตอิฐมอย

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของดินที่ใช้เป็นส่วนผสมของอิฐมอยแบบไม่เผา

สมบัติ	ผลการทดลอง
ความถ่วงจำเพาะ ¹	2.78
พิกัดเหลว (ร้อยละ) ²	14.4
พิกัดพลาสติก (ร้อยละ) ²	NA ³
ร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 (โดยน้ำหนัก) ⁴	100
ร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (โดยน้ำหนัก) ⁴	10.6
D ₁₀ (มม.) ⁵	0.075
D ₃₀ (มม.) ⁵	0.12
D ₆₀ (มม.) ⁵	0.26
สัมประสิทธิ์ความโค้ง (C _c) ⁶	0.74
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C _u) ⁶	3.47
ชนิดของดินจำแนกตามระบบ USCS	SP-SM

หมายเหตุ: ¹ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D854 - 14

²ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4318 - 00

³NA หมายถึง ไม่สามารถทดสอบหาได้เนื่องจากดินไม่มีความเหนียว

⁴ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D422 - 63

⁵หาได้จากกราฟการกระจายขนาดของเม็ดดินที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีร่อนตะแกรง

⁶C_c = (D₃₀)²/(D₁₀D₆₀) และ C_u = D₆₀/D₁₀

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมสำหรับการทำอิฐมอยแบบไม่เผา

สัญลักษณ์	สัดส่วนของวัสดุโดยน้ำหนัก			
	ปูนซีเมนต์	ดิน	เถ้าแกลบ	น้ำ
RHA0	1	6	0	0.4
RHA10	0.9	6	0.1	0.43
RHA20	0.8	6	0.2	0.46
RHA30	0.7	6	0.3	0.49
RHA40	0.6	6	0.4	0.52
RHA50	0.5	6	0.5	0.55

2. การผลิตอิฐมอญแบบไม่เผาและการทดสอบสมบัติ

วิธีการศึกษาเริ่มจากการนำวัสดุเทลงในถาดแล้วใช้เกรียงเกลี่ยผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน เทส่วนผสมลงในช่องอัดแล้วทำการอัดโดยกดก้านโยกของเครื่องอัดจนสุด ดันอิฐออกจากช่องอัดจะได้ตัวอย่างอิฐที่มีขนาดตามมาตรฐาน มอก.77-2565 คือ $65 \times 140 \times 40$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร นำไปวางพักไว้ในที่ร่ม 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบ่มด้วยการฉีดพรมน้ำให้ทั่วแล้วหุ้มด้วยพลาสติกและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 25 ถึง 32 องศาเซลเซียส) จนครบอายุการทดสอบ ในการอัดขึ้นรูปอิฐจะควบคุมความหนาแน่นให้เท่ากันทุกก้อน โดยมีค่าประมาณ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถทำได้โดยการตวงส่วนผสมที่จะอัดขึ้นรูปอิฐแต่ละก้อนให้มีน้ำหนักเท่ากันตามที่คำนวณไว้ ทั้งนี้ แรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอิฐแต่ละก้อนไม่ได้ควบคุมให้เท่ากัน เนื่องจากในความเป็นจริงจะไม่สามารถควบคุมความหนาแน่นและแรงในการอัดขึ้นรูปพร้อมกันได้ ลักษณะของอิฐมอญที่อัดขึ้นรูปแล้วแสดงดังรูปที่ 5 สมบัติที่ทดสอบประกอบด้วยกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วัน โมดูลัสแตกร้าวและการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ในเบื้องต้น ได้มีการตรวจสอบขนาดของอิฐที่อายุ 28 วัน พบว่า อิฐทุกตัวอย่างมีขนาดคลาดเคลื่อนจากขนาดเริ่มต้นหลังอัดเสร็จใหม่ไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนา ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2565

การทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสแตกร้าว ทำตามมาตรฐาน มอก.243-2520 โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะนำตัวอย่างอิฐมอญไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine (Chunyen รุ่น CY100) จนวิบัติและคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดดังสมการที่ 1

$$\text{กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)} = \frac{P}{A} \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ P คือ แรงกดสูงสุดที่ก้อนตัวอย่างรับได้ (กิโลกรัม) และ A คือ พื้นที่รับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

การทดสอบโมดูลัสแตกร้าวทำได้โดยวางก้อนตัวอย่างบนจุดรองรับทั้งสองข้างที่เป็นแท่งทรงกระบอกกลม นำแท่งทรงกระบอกกลมอีกอันหนึ่งวางด้านบนของก้อนตัวอย่างที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ใช้เครื่องทดสอบ (Chunyen รุ่น CY100) กดลงบนแท่งดังกล่าวจนกระทั่งก้อนตัวอย่างวิบัติดังรูปที่ 6 โมดูลัสแตกร้าวสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$\text{โมดูลัสแตกร้าว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)} = \frac{3WL}{2bd^2} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ W คือ แรงกดสูงสุดจากเครื่องทดสอบ (กิโลกรัม) L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองข้าง (เซนติเมตร) b คือ ความกว้างของก้อนตัวอย่าง (เซนติเมตร) และ d คือ ความหนาของก้อนตัวอย่าง (เซนติเมตร)

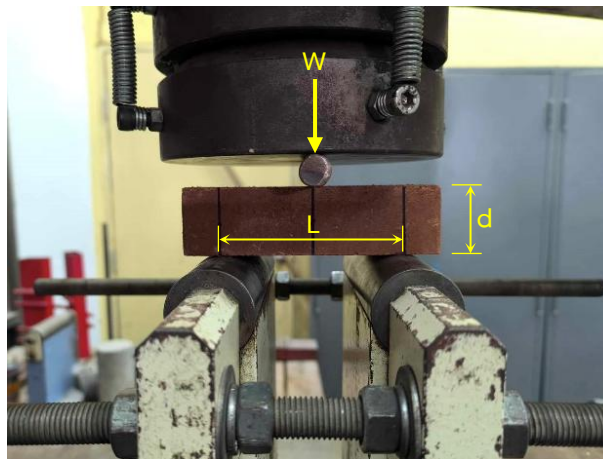
การทดสอบการดูดซึมน้ำทำได้โดยนำตัวอย่างอิฐมอญไปแช่น้ำจนอิ่มตัวทั่วทั้งก้อนและทำการชั่งมวล จากนั้นนำไปอบจนแห้งสนิทแล้วชั่งมวล การดูดซึมน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ m_1 และ m_2 คือ มวลของก้อนตัวอย่างในสภาพอิ่มน้ำและในสภาพแห้ง (กิโลกรัม) ตามลำดับ



รูปที่ 5 อิฐมอญแบบไม่เผาที่อัดขึ้นรูปขนาด $65 \times 140 \times 40$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร



รูปที่ 6 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของอิฐมอญ

กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐมอญจะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2565 ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐมอญตามมาตรฐาน มอก.77-2565

ชั้นคุณภาพ	กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกะปาสคาล / กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		การดูดซึมน้ำสูงสุด (ร้อยละ)	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	21 / 214	17 / 173	17	20
ข	17 / 173	15 / 153	22	25
ค	10 / 102	9 / 92	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

นอกจากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของอิฐแล้ว ยังได้มีการนำอิฐไปทดลองก่อผนังขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร โดยประมาณ พร้อมทำการฉาบ เพื่อสังเกตการยึดเกาะระหว่างอิฐกับปูนก่อและปูนฉาบทั้งในขณะทำงานและหลังจากปูนแข็งตัวแล้ว

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

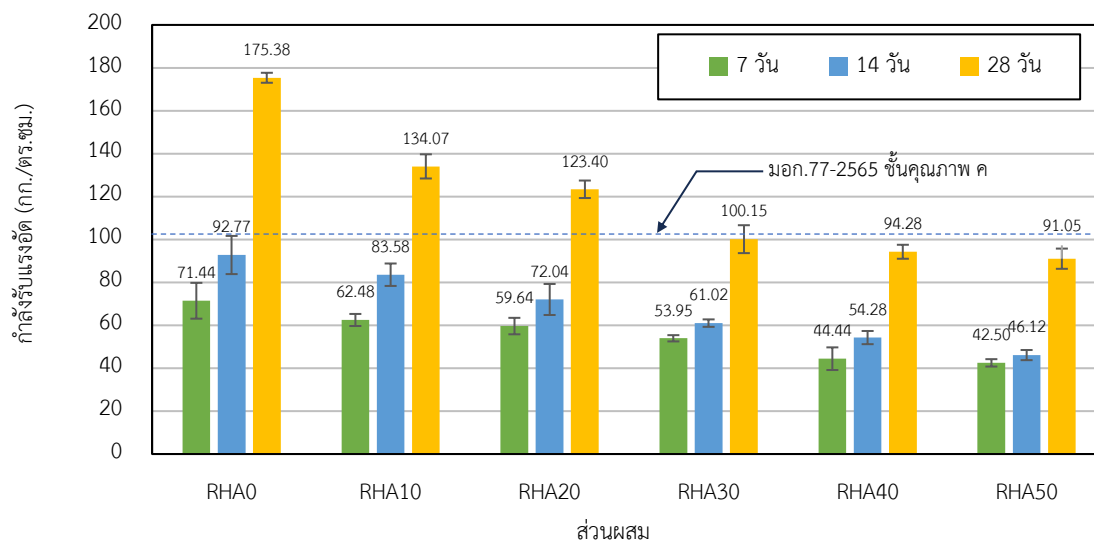
รูปที่ 7 แสดงกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 14 และ 28 วันของอิฐมอยแบบไม่เผาทั้ง 6 ส่วนผสม โดยเป็นค่าเฉลี่ยจาก 5 ก้อนตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยในแต่ละอายุกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดกับมาตรฐาน มอก. 77-2565 พบว่าส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 และ 20 (RHA0 RHA10 RHA20) มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ผ่านมาตรฐานชั้นคุณภาพ ค (ไม่น้อยกว่า 102 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) จะเห็นว่าการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้กำลังรับแรงอัดของอิฐมอยลดลง ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน (ในคอนกรีต) สามารถส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น (Kamau *et al.*, 2018; Siddika *et al.*, 2018) หรืออาจทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณการแทนที่ค่าหนึ่ง (Varshney, 2016; Zareei *et al.*, 2017). โดยขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาเถ้าแกลบ ความละเอียดของเถ้าแกลบ เป็นต้น นอกจากนี้ เนื่องจากส่วนผสมที่มีปริมาณเถ้าแกลบมากจะมีปริมาณน้ำมากเช่นเดียวกัน ดังนั้น กำลังรับแรงอัดของอิฐที่ลดลงตามปริมาณเถ้าแกลบอาจได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำที่มากเกินไปจนความจำเป็นอาจเจือจางปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยลงสำหรับการศึกษาในอนาคต อาจทำการควบคุมปริมาณน้ำให้เท่ากันทุกส่วนผสมเพื่อให้เห็นถึงผลกระทบของปริมาณเถ้าแกลบได้อย่างชัดเจน

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของอิฐมอยแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน โดยเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างอิฐ 5 ก้อน แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่า โมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น โดยส่วนผสมที่มีเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 (RHA10) มีโมดูลัสแตกร้าวใกล้เคียงกับส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าแกลบ โมดูลัสแตกร้าวนี้เป็นค่าที่บอกถึงกำลังรับแรงดัดของอิฐซึ่งเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อการแตกหักเมื่อได้รับแรงกระแทก ดังนั้น การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ทำให้อิฐมอยมีความต้านทานต่อการแตกหักน้อยกว่าส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าแกลบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สังเกตได้ว่า โมดูลัสแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัดซึ่งถือว่ามีความสอดคล้องกัน

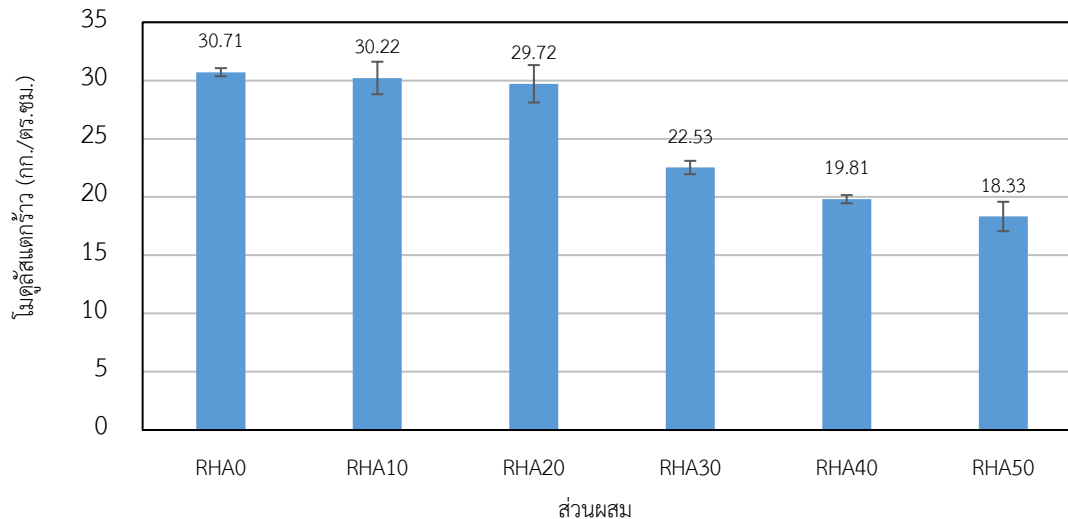
จากการทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างอิฐ 5 ก้อนในแต่ละส่วนผสมเพื่อหาค่าเฉลี่ย ได้ผลดังรูปที่ 9 จะเห็นว่า การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าแกลบมีความพรุนสูงจึงสามารถดูดซึมน้ำได้สูง ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ani and Nahid (2023) ซึ่งรายงานว่าการดูดซึมน้ำของอิฐมอยผสมเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบ สังเกตได้ว่าส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 (RHA10) มีค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกับส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าแกลบ ซึ่งอธิบายได้ว่า การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 จะทำให้ส่วนผสมมีขนาดละเอียด อนุภาคของเถ้าแกลบเข้าไปแทรกตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้พอดี ทำให้เกิดโพรงน้อย หากพิจารณาตามมาตรฐาน มอก. 77-2565 ซึ่งกำหนดการดูดซึมน้ำของอิฐมอยชั้นคุณภาพ ก และ ข ไม่เกินร้อยละ 17 และ 22 ตามลำดับ จะเห็นว่าทุกอัตราส่วนมีการดูดซึมน้ำผ่านชั้นคุณภาพ ก และ ข

หากพิจารณากำลังรับแรงอัด (ที่อายุ 28 วัน) และการดูดซึมน้ำเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77-2565 สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 และ 20 มีสมบัติผ่านมาตรฐานอิฐมอยชั้นคุณภาพ ค และ กล่าวได้ว่าส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 (RHA20) เป็นส่วนผสมที่แนะนำ เนื่องจากสามารถใช้เถ้าแกลบได้ปริมาณมากที่สุดโดยที่ยังมีสมบัติผ่านมาตรฐาน หากเปรียบเทียบระหว่างอิฐมอย RHA20 ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับอิฐมอยดั้งเดิมที่ต้องผ่านการเผาดังตารางที่ 4 จะเห็นว่า อิฐมอย RHA20 มีกำลังรับแรงอัดไม่ด้อยกว่าอิฐมอยดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังมีค่าการดูดซึมน้ำ โมดูลัสแตกร้าว และขนาดคลาดเคลื่อนเหนือกว่าอิฐมอยดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของ

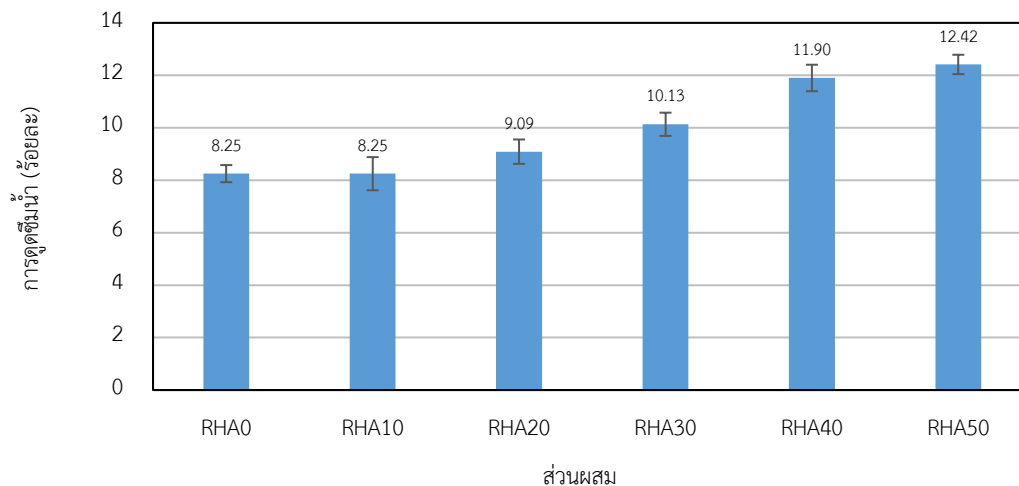
อิฐมอญแบบไม่เผายังสูงกว่าอิฐมอญดั้งเดิม ดังนั้น การพัฒนาอิฐมอญแบบไม่เผาให้มีความหนาแน่นลดลง รวมถึงการศึกษาด้านความทนทาน การนำความร้อน การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และต้นทุนการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐเผา เป็นประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งด้านสมรรถนะทางวิศวกรรม ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการนำวัสดุดังกล่าวไปใช้จริงในอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างยั่งยืน



รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดของอิฐมอญแบบไม่เผาที่อายุ 7 14 และ 28 วัน



รูปที่ 8 โมดูลัสแตกกร้าวของอิฐมอญแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 9 การดูดซึมน้ำของอิฐมอยแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน

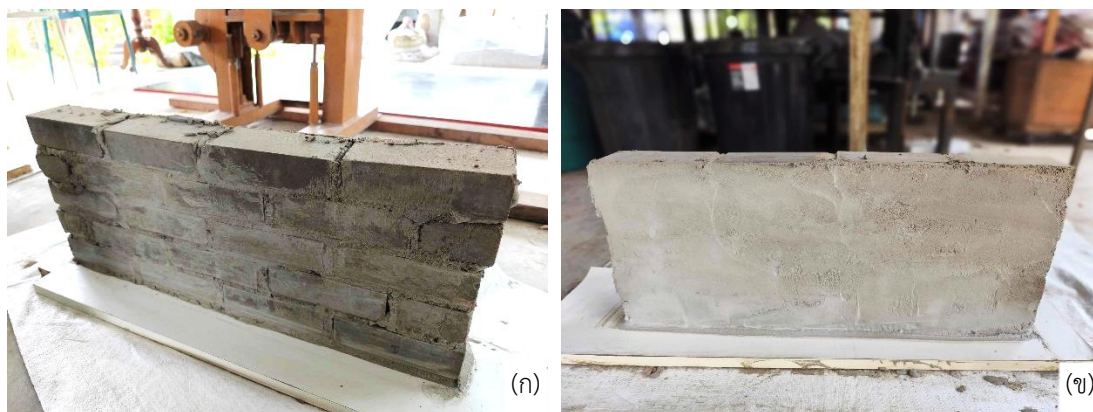
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบสมบัติของอิฐมอย RHA20 กับอิฐมอยทั่วไปที่ผ่านการเผา

สมบัติ	อิฐมอยแบบไม่เผา ส่วนผสม RHA20	อิฐมอยทั่วไป (ผ่านการเผา)	มาตรฐาน มอก.77-2565
กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	111.1	26.4 ถึง 141.2 ¹	ไม่น้อยกว่า 102 (ชั้นคุณภาพ ค)
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	9.1	13.5 ถึง 17.7 ¹	ไม่เกิน 17 (ชั้นคุณภาพ ก) ไม่เกิน 22 (ชั้นคุณภาพ ข)
โมดูลัสแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	28.5	5.5 ถึง 11.5 ²	ไม่กำหนด
ขนาดคลาดเคลื่อน (มม.)	ไม่เกิน 0.5	1.0 ถึง 9.5 ¹	± 2 ถึง ± 5 ขึ้นกับขนาด
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ซม.)	1,800	1,255 ถึง 1,389 ²	ไม่กำหนด

หมายเหตุ: ¹อ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยของก้องรัฐและคณะ (2565)

²อ้างอิงข้อมูลจากการศึกษาของภราดรและสุพรรณ (2552)

เมื่อนำอิฐมอยแบบไม่เผาไปทดลองก่อผนังขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร (รูปที่ 10) และฉาบผิวด้วยปูนฉาบสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (ปูนซีเมนต์ผสม) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปูนฉาบต่อน้ำตามคำแนะนำของผู้ผลิตและมีการนำอิฐไปแช่น้ำให้อิ่มตัวก่อนทำการก่อและฉาบตามเทคนิคของงานก่อและงานฉาบทั่วไป พบว่า ปูนฉาบมีการยึดเกาะกับอิฐได้ดีทั้งในขั้นตอนการก่อและการฉาบเช่นเดียวกับอิฐมอยทั่วไป และเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60 วันไม่มีการหลุดล่อนและไม่พบรอยแตกร้าวของปูนฉาบ แสดงให้เห็นว่าปูนฉาบสามารถยึดเกาะกับอิฐมอยแบบไม่เผาได้ดีทั้งในช่วงที่เป็นปูนสดและช่วงที่แข็งตัวแล้ว



รูปที่ 10 การทดลองนำอิฐมอญแบบไม่เผาไปก่อและฉาบ; การก่อ (ก) การฉาบ (ข)

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสแตกร้าวของอิฐมอญแบบไม่เผาที่มีเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 และใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก สามารถสรุปได้ว่า

1. กำลังรับแรงอัดของอิฐมอญมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น และกำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามอายุ
2. เมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น โมดูลัสแตกร้าวของอิฐมอญมีค่าลดลง แต่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น
3. ที่อายุ 28 วัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 และ 20 มีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ชั้นคุณภาพ ค โดยส่วนผสมที่แนะนำคือส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ชั้นคุณภาพ ค และสามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพได้สูงที่สุด
4. ขนาดคลาดเคลื่อนของอิฐมอญทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหน้ามีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2565 ทำให้สามารถผลิตอิฐมอญแบบไม่เผาให้มีขนาดและรูปร่างเป็นไปตามที่ต้องการได้และไม่มีปัญหาเรื่องการหดตัวและการบิดเบี้ยวเมื่อเวลาผ่านไป
5. อิฐมอญแบบไม่เผาไม่มีการยืดยาวกับปูนก่อและปูนฉาบได้ดี และไม่เกิดการหลุดล่อนหรือการแตกร้าวเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 60 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนค่าวัสดุและอุปกรณ์สำหรับดำเนินงานวิจัย และอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

กองรัฐ นกแก้ว, ศราวุธ ไผ่แก้ว, คมศักดิ์ หารไชย, เมธากุล มีธรรม และนาถ สุขศิลป์ (2565). การประเมินคุณภาพของอิฐมอญที่ผลิตในพื้นที่จังหวัดกลุ่มสนุก. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, เชียงราย. MAT04-1-MAT04-7.

- ณัฐพงศ์ จันทรเพ็ชร. (2562). การปรับปรุงคุณภาพอิฐมอญแบบไม่ต้องเผาด้วยเส้นใยพางข้าวเหลือทิ้งในพื้นที่ภาคกลาง เพื่อเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน. รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.
- ณัฐพงศ์ จันทรเพ็ชร. (2565). การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญแบบไม่ต้องเผาด้วยวัสดุพอลิเมอร์จากน้ำยางธรรมชาติ. ใน: รายงานการวิจัยที่ได้รับทุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.
- ภราดร ชูไชยสงค์ และสุพรรณ วงทอง. (2552). การศึกษาสมบัติของอิฐมอญที่ผลิตในจังหวัดชลบุรี. ปริญญานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี. 53 หน้า.
- Andreola, F., Lancellotti, I., Manfredini, T., Bondioli, F. and Barbieri, L. (2018). Rice husk ash (RHA) recycling in brick manufacture: effects on physical and microstructural properties. *Waste and Biomass Valorization* 9: 2529 - 2539.
- Ani, F.M. and Nahid, A.M. (2023). Development of brick by utilizing rice husk ash as the partial replacement for clay. *Multidisciplinary Science Journal* 5(1): 2023004.
- Babaso, P. and H. Sharanagouda. (2017). Rice Husk and Its Applications: Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(10): 1144 - 1156.
- Bheel, N., Abro, A.W., Shar, I.A., Dayo, A.A., Shaikh, S. and Shaikh, Z.H. (2019). Use of rice husk ash as cementitious material in concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research* 9(3): 4209 - 4212.
- Damanhuri, A.A.M., Lubis, A.M.H.S., Hariri, A., Herawan, S.G., Roslan, M.H.I. and Hussin, M.S.F. (2020). Mechanical properties of rice husk ash (RHA) brick as partial replacement of clay. *Journal of Physics: Conference Series* 1529: 042034
- Endale, S.A., Taffese, W.Z., Vo, D.H. and Yehualaw, M.D. (2022). Rice husk ash in concrete. *Sustainability* 15(1): 137.
- Ganesan, K., Rajagopal, K. and Thangavel, K. (2008). Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials* 22(8): 1675 - 1683.
- Habeeb, G.A. and Mahmud, H.B. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research* 13(2): 185 - 190.
- Kamau, J., Ahmed, A. and Ngong, K. (2018). Sulfate resistance of rice husk ash concrete. In: *MATEC Web of Conferences* 199: 02006
- Kazmi, S.M., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J. and Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and building materials* 120: 29 - 41.
- Kumar S., Sangwan P., Dhankhar R. Mor V. and Bidra S. (2013). Utilization of rice husk and their ash: A review. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences* 1(5): 126 - 129.
- More, A.S., Tarade, A. and Anant, A. (2014). Assessment of suitability of fly ash and rice husk ash burnt clay bricks. *International Journal of Scientific and Research Publications* 4(7): 1 - 6.

- Siddika, A., Mamun, M.A.A. and Ali, M.H. (2018). Study on concrete with rice husk ash. Innovative Infrastructure Solutions 3: 1 - 9.
- Varshney, H. (2016). Utilization of Rice Husk Ash in concrete as cement replacement. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 1: 28 - 33.
- Zareei, S.A., Ameri, F., Dorostkar, F. and Ahmadi, M. (2017). Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. Case Studies in Construction Materials 7: 73 - 81.

