วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
Engineering Journal of Research and Development
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage
ปีที่ 35 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2567
Volume 35 Issue 4 October-December 2024
Received 26 September 2024
Revised 25 November 2024
Accepted 20 December 2024

คุณสมบัติด้านกำลังและการดูดซึมน้ำของอิฐแบบไม่เผาที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย

STRENGTH AND WATER ABSORPTION PROPERTIES OF UNFIRED BRICKS CONTAINING SUGAR CANE BAGASSE ASH

นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์[1*], พิชิตชัย พลราช[2], นนทพัทธ์ รุจาคม[3] และมีศักดิ์ธนา พัวพิทยาธร[4]
[1*] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ห้องวิจัยคอนกรีตและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
[2, 3] นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
[4] วิศวกร โยธาปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
*Corresponding author, E-Mail: noppadol.s@msu.ac.th

บทคัดย่อ

อิฐมอญเป็นวัสดุก่อผนังที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย การผลิตอิฐมอญต้องผ่านกระบวนการเผาเป็นเวลา 7-15 วันซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอิฐที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งเป็นการนำวัสดุชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 และใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก อัดขึ้นรูปให้เป็นก้อน นำไปบ่มและทำการทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำและโมดูลัสแตกร้าวที่อายุ 28 วัน จากการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น แต่ที่อายุ 90 วัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด การเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยทำให้โมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลงและการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนผสมที่แนะนำคือส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดตั้งแต่อายุ 60 วันขึ้นไปและการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์ มอก.77-2565 ของอิฐชั้นคุณภาพ ค เมื่อนำไปทดลองก่อและฉาบพบว่า ปูนฉาบสามารถยึดเกาะอิฐแบบไม่เผาได้ดี

คำสำคัญ: อิฐมอญ; อิฐแบบไม่เผา; เถ้าชานอ้อย

ABSTRACT

Bricks have been a widely utilized material in construction, though their production involves a firing process lasting between 7 and 15 days, which causes air pollution. This research had developed unfired bricks mixed with sugar cane bagasse ash to reduce environmental impacts and utilize biomass materials. The cement - soil ratio is 1:6 and finely ground bagasse ash replaces cement at 0, 10, 20, 30, 40, and 50 percent by weight. These mixtures were pressed into blocks, cured, and subjected to testing for compressive strength at 7, 14, 28, 60, and 90 days, water absorption and modulus of rupture at 28 days. The study found that the compressive strength at 7, 14, 28, and 60 days decreased as the amount of bagasse ash increased. Notably, at 90 days, the mixture with 10% bagasse ash substitution exhibited the highest compressive strength. An increase in bagasse ash content also led to a decreased modulus of rupture and higher water absorption. The

Noppadol Sangiamsak[1*], Phichitchai Phonrat[2], Nonthaphat Rujakhom[3] and Meesakthana Puapitthayathorn[4]
[1*] Asst. Prof. Concrete and Computer Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Thailand.
[2, 3] Graduate Student, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Thailand.
[4] Civil Engineer Laboratory, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Thailand.

recommended mixture is one that uses bagasse ash to replace 30% of cement, which had a compressive strength of 60 days or more and water absorption that passes the TIS 77-2565 criteria for quality bricks of grades C. Additionally, plaster applied to these unfired bricks demonstrated good adhesion during construction and plastering tests.

KEYWORDS: brick; unfired brick; sugar cane bagasse ash

1. บทนำ

อิฐมอญ เป็นวัสดุก่อชนิดหนึ่งที่ใช้งานมาตั้งแต่สมัยโบราณและยังเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ผลิตจากการนำดินเหนียวผสมกับเถ้าชานอ้อยหรือแกลบดิบและน้ำ แล้วนำไปเผาเป็นระยะเวลา 7 ถึง 15 วัน อิฐมอญมีความแข็งแรงเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐชนิดอื่น มีราคาถูก และมีสีสันที่สวยงาม สามารถใช้เป็นอิฐประดับได้โดยไม่ต้องมีการฉาบ อย่างไรก็ตาม การผลิตอิฐมอญที่ต้องผ่านกระบวนการเผาซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงนั้น จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศทั้งฝุ่นละอองและกลิ่น นอกจากนี้ ผลจากการเผาทำให้อิฐเกิดการหดตัวและมีรูปร่างบิดเบี้ยว ทำให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ไม่ตรงตามความต้องการ อีกทั้งการเผาที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากันทุกตำแหน่ง ทำให้คุณภาพของอิฐไม่สม่ำเสมอ และอาจมีอิฐบางส่วนที่เผาไม่สุกเนื่องจากได้รับความร้อนไม่เพียงพอซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ณฐพงศ์ จันทร์เพ็ชร์ [1] ได้พัฒนาอิฐที่ไม่ต้องเผาโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปส่วนผสมที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน วัสดุส่วนผสมประกอบด้วยดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ ฟางข้าว น้ำสะอาด กำหนดอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:6 จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างอิฐแบบไม่เผามีกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 และยังมีขนาดก้อนที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ยังได้พัฒนาคุณภาพอิฐแบบไม่เผาด้วยวัสดุพอลิเมอร์จากน้ำยางธรรมชาติ [2] ส่วนผสมประกอบด้วยปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง น้ำยางธรรมชาติ น้ำสะอาด และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งพบว่าตัวอย่างอิฐแบบไม่เผามีคุณสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ทุกชั้นคุณภาพ และยังสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐแบบไม่เผา

เถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยโรงงานผลิตน้ำตาลจะนำชานอ้อยที่เกิดจากการหีบอ้อยไปเผาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเป็นการใช้ชานอ้อยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทำให้เกิดเถ้าชานอ้อยเป็นจำนวนมาก มีการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งด้านการเกษตร ด้านสิ่งแวดล้อมโดยช่วยในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งใช้ในงานทางวิศวกรรม เช่น ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของดินชั้นคันทาง [3] ใช้ปรับปรุงดินที่มีความเหนียว [4-5] ใช้ในการผลิตอิฐมอญ [6-7] อิฐบล็อก [8] เป็นต้น เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก จึงจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน เมื่อนำไปผสมปูนซีเมนต์และน้ำจะสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตให้ดีขึ้นได้ [9-10]

งานวิจัยนี้ ได้พัฒนาอิฐแบบไม่เผาที่มีการนำเถ้าชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาลมาผสมกับปูนซีเมนต์ ดิน และน้ำ แล้วอัดขึ้นรูปเป็นก้อน โดยมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน 6 อัตราส่วน แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ กำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสแตกร้าว แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติกับมาตรฐาน มอก. 77-2565 [11] พร้อมทั้งเสนอส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตอิฐแบบไม่เผาซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

2. วัสดุและอัตราส่วนผสมสำหรับผลิตอิฐ

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของอิฐในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดิน เถ้าชานอ้อย และน้ำประปา ตัวอย่างดินเก็บจากอำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม โดยเก็บที่ระดับความลึก 15 ถึง 30 เซนติเมตร จากผิวดิน นำมาอบให้แห้งสนิทและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ลักษณะของดินแสดงดังรูปที่ 1 และคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินแสดงดังตารางที่ 1 เมื่อ

จำแนกชนิดของดินด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) พบว่าเป็นดินทรายขนาดคละไม่ดีและมีดินตะกอนปะปน (SP-SM) ตัวอย่างเถ้าชานอ้อยนำมาจากโรงงานผลิตน้ำตาล เกิดจากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า นำมาอบให้แห้งสนิทและบดจนมีขนาดลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ดังรูปที่ 2 จากการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาของเถ้าชานอ้อย พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.20 และร้อยละ 7.32 ตามลำดับ

รูปที่ 1 ดินที่ใช้ผลิตอิฐแบบไม่เผา

รูปที่ 2 เถ้าชานอ้อยที่ใช้ผลิตอิฐแบบไม่เผา

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินที่ใช้เป็นส่วนผสมของอิฐแบบไม่เผา

คุณสมบัติ	ผลการทดลอง
ความถ่วงจำเพาะ	2.78
พิกัดเหลว	14.4
พิกัดพลาสติก	ทดสอบไม่ได้เนื่องจากดินไม่มีความเหนียว
ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ร้อยละ)	100
ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ร้อยละ)	10.6
D_{10} (มม.)	0.075
D_{30} (มม.)	0.12
D_{60} (มม.)	0.26
สัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_c)	0.74
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u)	3.47
ชนิดของดินจำแนกตามระบบ USCS	SP-SM

การผลิตอิฐแบบไม่เผาในงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดเช่นเดียวกับการทำอิฐบล็อกประสาน นั่นคือ ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานให้เกิดความแข็งแรง ดังนั้น จึงได้กำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับการผลิตบล็อกประสานโดยทั่วไป แล้วใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก จะได้อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันทั้งหมด 6 อัตราส่วนดังตารางที่ 2 สำหรับวิธีการกำหนดปริมาณน้ำได้นำส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 และ 50 มาสุ่มหาปริมาณน้ำที่สามารถอัดขึ้นรูปได้พอดี จากนั้น จึงกำหนดปริมาณน้ำของส่วนผสมอื่นๆ (ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40) โดยเทียบตามสัดส่วนของปริมาณเถ้าชานอ้อย

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมสำหรับการทำอิฐแบบไม่เผา

ที่	สัญลักษณ์	สัดส่วนของวัสดุโดยน้ำหนัก			
		ปูนซีเมนต์	ดิน	เถ้าชานอ้อย	น้ำ
1	BA0	1	6	0	0.4
2	BA10	0.9	6	0.1	0.43
3	BA20	0.8	6	0.2	0.46
4	BA30	0.7	6	0.3	0.49
5	BA40	0.6	6	0.4	0.52
6	BA50	0.5	6	0.5	0.55

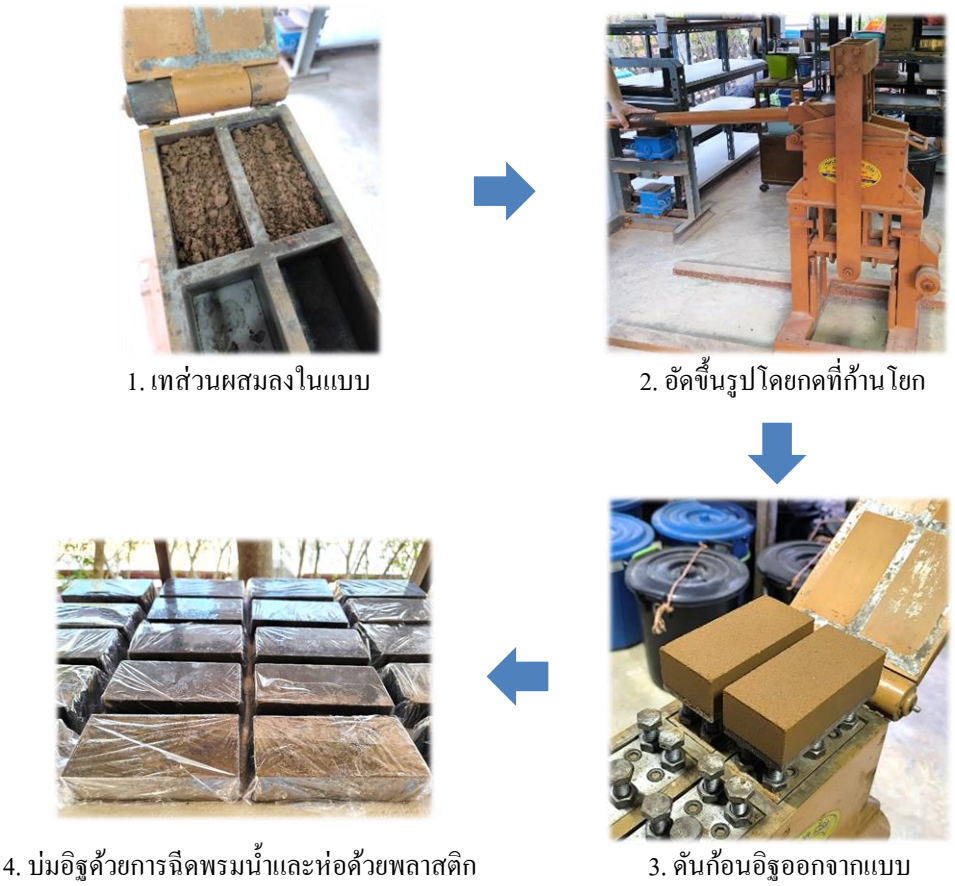
3. ขั้นตอนศึกษา

การผลิตตัวอย่างอิฐเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 โดยเริ่มจากการผสมวัสดุตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางที่ 2 นำไปเทลงในแบบของเครื่องอัดชนิดมือโยกแล้วทำการอัดขึ้นรูปส่วนผสมโดยกดที่ก้านโยกจนสุด จากนั้นดันอิฐออกจากแบบจะได้ก้อนอิฐที่มีขนาด 65 มม. x 140 มม. x 40 มม. ซึ่งเท่ากับขนาดของแบบอัด จากนั้น นำไปวางพักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มด้วยการรดน้ำให้ทั่วและห่อด้วยพลาสติกจนครบอายุการทดสอบ ตัวอย่างอิฐทุกก้อนจะถูกควบคุมความหนาแน่นแห้งให้มีค่าประมาณ 1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้วิธีคำนวณเป็นน้ำหนักของส่วนผสมที่ต้องตวงเพื่อเทลงในแบบอัด

คุณสมบัติที่ทดสอบประกอบด้วยกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน โมดูลัสแตกร้าวที่อายุ 28 วัน และการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ทั้งนี้ กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำมีเกณฑ์กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก.77-2565 ส่วนโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ไม่ได้มีเกณฑ์กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก.77-2565 แต่เนื่องจากเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อการแตกหักซึ่งเกี่ยวข้องกับความเสียหายของอิฐเมื่อมีการขนย้ายหรือได้รับการกระทบกระเทือน งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาค่าโมดูลัสแตกหัก

ในเบื้องต้น ได้มีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของขนาดทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนาของตัวอย่างอิฐ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร วัดขนาดของอิฐที่อายุ 28 วันเพื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอิฐที่อัดเสร็จใหม่ๆ พบว่า ความคลาดเคลื่อนของตัวอย่างอิฐทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนา มีค่าน้อยกว่า 1.00 มิลลิเมตร ซึ่งในมาตรฐาน มอก.77-2565 กำหนดว่า ขนาดคลาดเคลื่อนด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนา ต้องไม่เกิน 2, 5 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น อิฐแบบไม่เผาที่ผสมเถ้าชานอ้อยจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของขนาด นั่นคือ สามารถผลิตอิฐให้มีขนาดเป็นไปตามที่ต้องการได้

การทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสแตกร้าว ทำตามมาตรฐาน มอก.243-2520 [12] โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะนำตัวอย่างอิฐวางบนแท่นของเครื่องกดในแนวนอนแล้วทำการกดจนวิบัติดังรูปที่ 4 ค่ากำลังรับแรงอัดคำนวณได้โดยนำแรงกดสูงสุดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง การดูดซึมน้ำทำได้โดยนำตัวอย่างอิฐไปแช่น้ำจนอิ่มตัวทั่วทั้งก้อนและนำไปอบจนแห้งสนิท ทำการชั่งน้ำหนักในสภาพอิ่มตัวและสภาพแห้งของก้อนตัวอย่าง การดูดซึมน้ำคำนวณได้โดยนำค่าผลต่างของน้ำหนักอิฐในสภาพอิ่มตัวและสภาพแห้งหารด้วยน้ำหนักอิฐในสภาพแห้ง



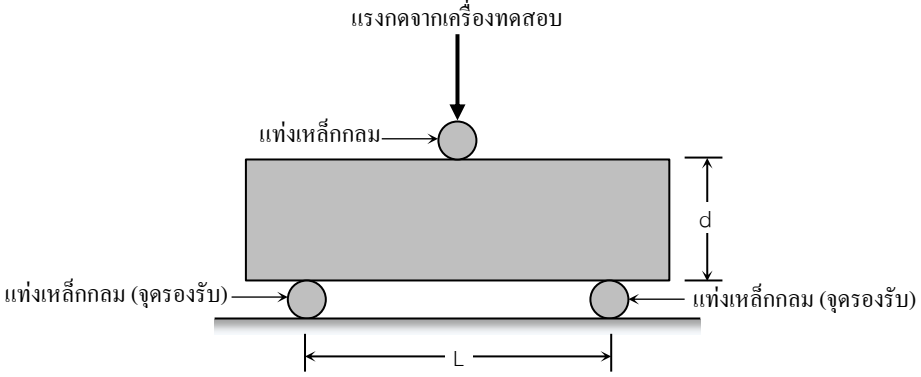
รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตอิฐแบบไม่เผาสำหรับใช้ทดสอบในงานวิจัย

รูปที่ 4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอิฐ

สำหรับการทดสอบโมดูลัสการแตกร้าวทำได้ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยวางก้อนอิฐในแนวนอนลงบนจุดรองรับที่เป็นแท่งเหล็กกลม นำแท่งเหล็กกลมอีกอันหนึ่งวางด้านบนของก้อนตัวอย่างที่ตำแหน่งกึ่งกลางแล้วใช้เครื่องทดสอบกดแท่งเหล็กดังกล่าวจนกระทั่งก้อนอิฐวิบัติ ทำการคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกร้าวดังนี้

$$\text{โมดูลัสแตกร้าว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)} = \frac{3WL}{2bd^2} \quad (1)$$

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



รูปที่ 5 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐแบบไม่เผาจะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2565 ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำดังตารางที่ 3 ทั้งนี้ มีข้อสังเกตว่า ค่าการดูดซึมน้ำเป็นการกำหนดค่าสูงสุด เนื่องจากอิฐที่มีการดูดซึมน้ำมากจะส่งผลเสียในหลายๆ ด้าน เช่น มีความแข็งแรงลดลงเนื่องจากน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้ออิฐสามารถทำให้เกิดการพองตัวของวัสดุหรือทำให้เกิดรอยแตกร้าวได้ เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราและตะไคร่น้ำ รวมทั้งทำให้ปูนฉาบแห้งเร็วเกินไป ส่งผลให้การยึดติดระหว่างปูนฉาบและอิฐไม่ดีพอและอาจทำให้ปูนฉาบแตกร้าวหรือหลุดล่อนได้ง่าย นอกจากนี้ อิฐที่มีการดูดซึมน้ำน้อยจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศมากกว่า เนื่องจากมีโอกาสที่น้ำจะซึมเข้าไปในโครงสร้างน้อยลง

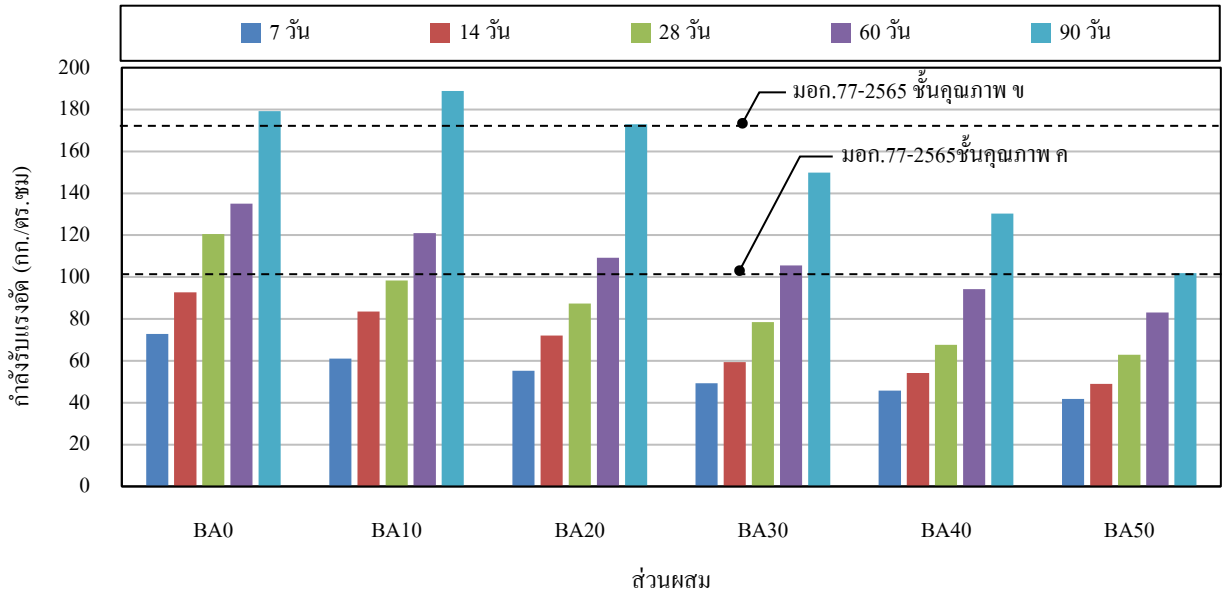
ตารางที่ 3 ข้อกำหนดกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐตามมาตรฐาน มอก.77-2565

ชั้นคุณภาพ	กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (เมกะปาสคาล (กก./ตร.ซม.))		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

4. ผลการศึกษาวิจัย

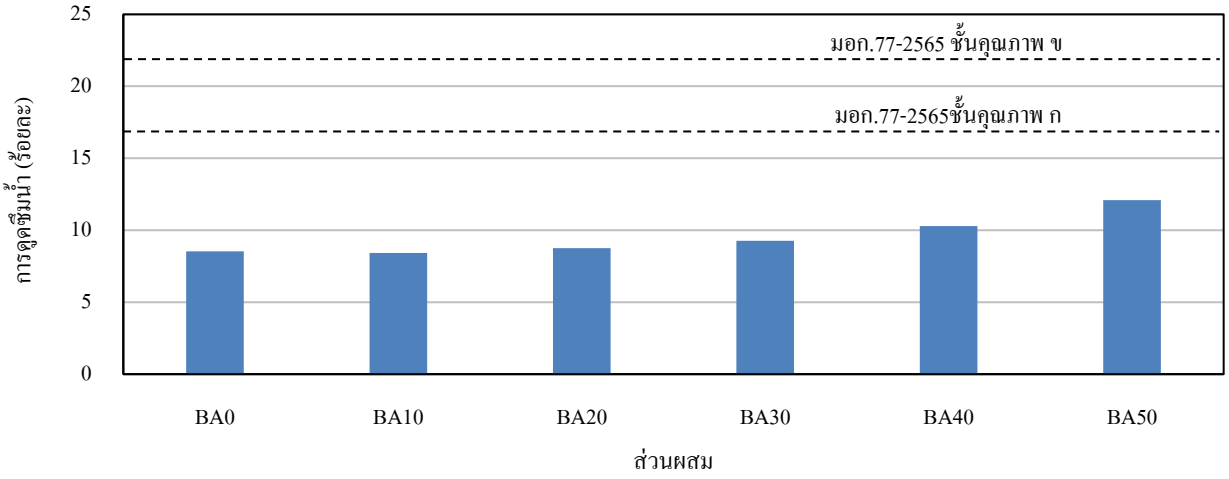
กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14, 28, 60 และ 90 วันของอิฐแบบไม่เผาทั้ง 6 อัตราส่วนผสมซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจาก 5 ก้อนตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 6 จะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยในช่วงอายุ 28 วัน จนถึง 90 วัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่

ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ถึง 30 (BA10, BA20 และ BA30) สามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าชานอ้อย (BA0) ทั้งนี้ เนื่องจากเถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุปอซโซลาน สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะยาว ทำให้กำลังรับแรงอัดในระยะยาวของส่วนผสม BA10, BA20 และ BA30 เพิ่มขึ้นได้ดีกว่าส่วนผสม BA0 ในช่วงอายุไม่เกิน 60 วัน การใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยส่วนผสม BA0 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด แต่ที่อายุ 90 วัน ส่วนผสม BA10 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด อธิบายได้ว่า เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับอิฐ ดังนั้น เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง แต่ในระยะยาว (อายุ 90 วัน) ส่วนผสม BA10 สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจนมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าส่วนผสม BA0 ได้ นอกจากนี้ ส่วนผสม BA10 มีปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคของเถ้าชานอ้อยเข้าไปแทรกตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินได้พอดี (Packing effect) ทำให้มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2565 พบว่าที่อายุ 28 วัน มีเพียงส่วนผสม BA0 ที่มีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์ของอิฐชั้นคุณภาพ ค เมื่ออายุเพิ่มขึ้นเป็น 60 วัน ส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์ของอิฐชั้นคุณภาพ ค ได้แก่ BA0, BA10, BA20 และ BA30 และที่อายุ 90 วัน ทุกส่วนผสมสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดจนผ่านเกณฑ์ของอิฐชั้นคุณภาพ ค ได้ โดยส่วนผสม BA0, BA10 และ BA20 ยังมีกำลังรับแรงอัดผ่านชั้นคุณภาพ ข ด้วย



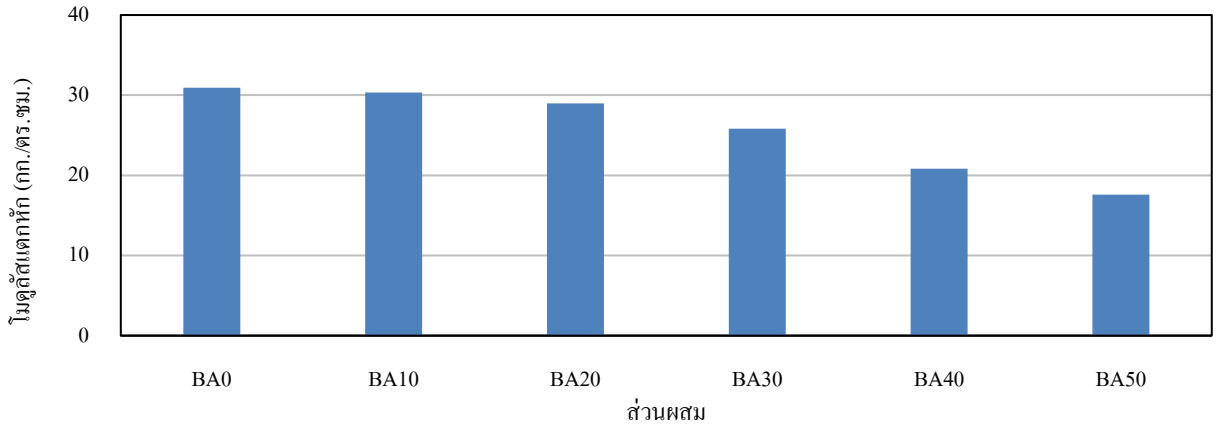
รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของอิฐที่อายุ 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างอิฐ 5 ก้อนในแต่ละส่วนผสมเพื่อหาค่าเฉลี่ย ได้ผลดังรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าชานอ้อย ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคของเถ้าชานอ้อยมีความพรุนสูงจึงสามารถดูดซึมน้ำได้สูง กล่าวได้ว่า การผสมเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำด้อยลง (เนื่องจากการดูดซึมน้ำของอิฐควรมีค่าต่ำ) อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ หากพิจารณาตามมาตรฐาน มอก.77-2565 ซึ่งกำหนดการดูดซึมน้ำของอิฐไม่เกินร้อยละ 17 และ 22 ของชั้นคุณภาพ ก และ ข ตามลำดับ จะเห็นว่าทุกอัตราส่วนมีการดูดซึมน้ำผ่านชั้นคุณภาพ ก และ ข



รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำของอิฐแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของอิฐแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน โดยเป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างอิฐ 5 ก้อน แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่า โมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากโมดูลัสแตกร้าวคือค่ากำลังรับแรงดัดของอิฐซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ดังนั้น เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงจึงทำให้โมดูลัสแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดัดลดลง สังเกตได้ว่า ค่าโมดูลัสแตกร้าวของอิฐมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด โมดูลัสแตกร้าวหรือกำลังรับแรงดัดของอิฐมีความเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อการแตกหักเมื่อได้รับแรงกระแทก ดังนั้น การเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยจะทำให้อิฐแตกหักได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ส่วนผสมที่มีเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 (BA10 และ BA20) มีโมดูลัสแตกร้าวน้อยกว่าส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าชานอ้อย (BA0) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้ความทนทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 8 โมดูลัสแตกร้าวของอิฐแบบไม่เผาที่อายุ 28 วัน

จากการนำอิฐแบบไม่เผาไปทดลองก่อเป็นแผงขนาดประมาณ 60 ซม. x 25 ซม. และฉาบผิวโดยใช้ปูนฉาบที่มีจำหน่ายในท้องตลาดดังรูปที่ 9 พบว่าปูนมีการยึดเกาะกับอิฐได้ดีทั้งในการก่อและการฉาบเช่นเดียวกับอิฐทั่วไป เมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60 วัน ไม่มีการหลุดล่อน

นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์[1*], พิชิตชัย พลราช[2], นนทพัทธ์ รุจาคม[3] และมีศักดิ์ธนา พัวพิทยาธร[4]

(ก) (ข)

รูปที่ 9 การทดลองนำอิฐแบบไม่เผาไปก่อและฉาบ (ก) การก่อ (ข) การฉาบ

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐแบบไม่เผาที่ได้จากงานวิจัยนี้กับอิฐมอญดั้งเดิม (ที่ผ่านการเผา) ซึ่งจะเห็นว่าอิฐแบบไม่เผามีกำลังรับแรงอัด โมดูลัสแตกร้าว และความหนาแน่นสูงกว่าอิฐมอญดั้งเดิม ส่วนการดูดซึมน้ำและขนาดคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำกว่าอิฐมอญดั้งเดิม จึงกล่าวได้ว่า อิฐแบบไม่เผามีกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ โมดูลัสแตกร้าว และขนาดคลาดเคลื่อนที่เหนือกว่าอิฐมอญดั้งเดิม ในขณะที่ความหนาแน่นยังด้อยกว่าอิฐมอญดั้งเดิม

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐแบบไม่เผากับอิฐมอญดั้งเดิมที่ผ่านการเผา

คุณสมบัติ	**อิฐแบบไม่เผาในงานวิจัยนี้***	**อิฐมอญดั้งเดิม**	**มาตรฐาน มอก.77-2565**
กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	78.5 ถึง 120.5 (อายุ 28 วัน) 105.6 ถึง 135.1 (อายุ 60 วัน) 150.0 ถึง 188.9 (อายุ 90 วัน)	26.4 ถึง 141.2[2] [13]	ไม่ต่ำกว่า 214 (ชั้นคุณภาพ ก) ไม่ต่ำกว่า 173 (ชั้นคุณภาพ ข) ไม่ต่ำกว่า 102 (ชั้นคุณภาพ ค)
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	8.4 ถึง 9.3	13.5 ถึง 17.7[2] [13]	ไม่เกิน 17 (ชั้นคุณภาพ ก) ไม่เกิน 22 (ชั้นคุณภาพ ข)
โมดูลัสแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	25.8 ถึง 30.9	5.5 ถึง 11.5[3] [14]	ไม่กำหนด
ขนาดคลาดเคลื่อน (มม.)	น้อยกว่า 1.0	1.0 ถึง 9.5[2] [13]	±2 ถึง ±5 ขึ้นกับขนาด
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.800	1.255 ถึง 1.389[3] [14]	ไม่กำหนด

หมายเหตุ: *เป็นคุณสมบัติอิฐแบบไม่เผาของส่วนผสม BA0, BA10, BA20 และ BA30

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐแบบไม่เผาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ มอก.77-2565 ดังแสดงในตารางที่ 3 จะได้ส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน คือ ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 (BA30) สำหรับอิฐชั้นคุณภาพ ค เนื่องจากเป็นส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 60 วันและการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์ โดยสามารถใช้ปริมาณเถ้าชานอ้อยได้สูงสุด ทั้งนี้ หากพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุ 90 วัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 (BA20) คือส่วนผสมที่เหมาะสมที่สามารถนำไปผลิตอิฐชั้นคุณภาพ ข ได้

กล่าวได้ว่า การใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการพัฒนาอิฐแบบไม่เผาเป็นการนำวัสดุที่มีมูลค่าต่ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และสามารถช่วยให้กำลังรับแรงอัดของอิฐเพิ่มขึ้นได้เมื่อใช้เถ้าชานอ้อยในปริมาณที่เหมาะสม (แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10) นอกจากนี้ ยังช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งทำให้เกิดความประหยัดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมต่อ เช่น การพัฒนาอิฐแบบไม่เผาให้มีความหนาแน่นลดลงจนเทียบเท่ากับอิฐมอญดั้งเดิม การศึกษาทางด้านความทนทาน (การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความทนทานต่อการกัดกร่อน ความทนทานต่อความชื้น) การนำความร้อน การทนต่อไฟไหม้ การป้องกันเสียง การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐที่ผ่านการอัดขึ้นรูปโดยไม่มีการอบแห้งกับอิฐที่อัดขึ้นรูปและนำไปอบแห้ง เป็นต้น

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติของอิฐแบบไม่เผาที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ดิน เถ้าชานอ้อย และน้ำ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 และใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก และนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำและโมดูลัสแตกร้าวที่อายุ 28 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงอายุไม่เกิน 60 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น โดยส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อย 0 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด แต่ที่อายุ 90 วัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อย 10 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด
- เมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนโมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลง
- ที่อายุ 60 วัน ตัวอย่างอิฐที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30 มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ชั้นคุณภาพ ค และที่อายุ 90 วัน ตัวอย่างอิฐทุกส่วนผสมมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ของอิฐชั้นคุณภาพ ค โดยส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20 ยังมีกำลังรับแรงอัดผ่านชั้นคุณภาพ ข ด้วย
- อิฐแบบไม่เผาไม่มีปัญหาเรื่องการหดตัวและการบิดเบี้ยว ทำให้ขนาดและรูปทรงของก้อนอิฐเป็นไปตามที่ต้องการ โดยความคลาดเคลื่อนของขนาดทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านหนามีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77-2565
- อิฐแบบไม่เผามีการยึดเกาะกับปูนก่อและปูนฉาบได้ดีเช่นเดียวกับอิฐทั่วไป และไม่เกิดการหลุดล่อน
- ส่วนผสมที่แนะนำซึ่งมีกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐาน มอก.77-2565 ชั้นคุณภาพ ค และสามารถใช้ปริมาณเถ้าชานอ้อยได้สูงที่สุด คือ ส่วนผสมที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่า บทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Janpetch N. Quality development of bricks without burning by using polymeric materials from natural latex (Research report), Ayutthaya, 2020.

[2] Janpetch N. Improvement the quality of brick without burn with straw fiber in central region for sustainable commercial use (Research report), Ayutthaya, 2019.

[3] Jethwa, R. H., Momin, S. S., Devi, B. M., Chore, H.S. Evaluation of bagasse ash in stabilization of pavement sub-grade. In: Agnihotri, A. K., Reddy, K. R., Chore, H. S. (ed.). *Proceedings of Indian Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Conference (IGGEC)*, Singapore: Springer, 2021, pp. 477-482.

[4] Vaishnava, R., Kumar, A., & Kumar, S. Use of bagasse ash as a filler material in soils. In: *International Conference on Smart Technologies for Energy, Environment, and Sustainable Development*, India, 4-5 December 2020, pp. 145-151.

[5] Putri, R. D., Apriyanti, Y., & Hambali, R. Utilization of bagasse ash plus cement to increase the shear strength of clay soil. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Indonesia*, IOP Publishing, October 2022, pp. 012044.

[6] Dharek, M. S., Sreekeshava, K. S., Vengala, J., Pramod, K., Sunagar, P., & Shivaprakash, M. V. (2022). Experimental investigations on utilization of bagasse ash in adobe bricks. In: Nandagiri, L., Narasimhan, M.C., Marathe, S., Dinesh, S. (ed.). *Sustainability Trends and Challenges in Civil Engineering*: Singapore: Springer, 2021, pp. 487-496.

[7] Madurwar, M. V., Mandavgane, S. A. and Ralegaonkar, R. V. Use of sugarcane bagasse ash as brick material. *Current Science*, 2014, 107(6), pp.1044-1051.

[8] Bunjongsiri, K., Chearnkiatpradab, B., and Bunjongsiri, J. A Short review on the utilization of sugarcane bagasse ash in the manufacture of concrete block in Thailand. *SAU Journal of Science & Technology*, 2020, 6(2), pp. 14-24.

[9] Chusilp, N., Jaturapitakkul, C. and Kiattikomol, K. Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. *Construction and Building Materials*, 2009, 23(11), pp. 3352-3358.

[10] Mansaneira, E. C., Schwantes-Cezario, N., Barreto-Sandoval, G. F. and Martins-Toralles, B. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material. Dyna, 2017, 84(201), pp. 163-171.

[11] Thai Industrial Standard Institute. TCPS 77: 2565. *Thai industrial standard of building bricks*. Bangkok: TISI, 2022.

[12] Thai Industrial Standard Institute. TCPS 243: 2520. *Standard method of sampling and testing brick and structure clay tile*. Bangkok: TISI, 1977.

[13] Nokkaew, K., Phaikaew, S., Harachai, K., Metham, M. and Sooksil, N. Quality evaluation of Mon Brick produced in Sanuk Group Province. In: *Proceeding of the 27th National Convention on Civil Engineering*, Chiang Rai: The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage, 2022, pp. MAT04-1-MAT04-6.

[14] Chuchaisong, P, Wongthong, S. *Study of the properties of clay bricks produced in Chon Buri Province*. BSc project. Burapha University, 2009.