

ผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร

Rammed earth from local materials of Kamphaeng Phet Province

เอกสิทธิ์ เทียนมาศ^{1*}, พัชรรัตน์ หารไชย¹, มานพ ตันเคน¹ และประภัสสร ห่อทอง²

Aekasit Thianmas^{1*}, Patchareerat HaraChai¹, Manop Tonken¹ and Prapatsara Hothong²

Received: 24 May 2025 ; Revised: 14 July 2025 ; Accepted: 5 August 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง 3 ชนิด ได้แก่ เศษศิลาแลง จากงานตกแต่ง ผงหินอ่อนจากอุตสาหกรรมเหมืองหินอ่อน และขี้เถ้าอ้อยจากโรงงานน้ำตาล กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินกับวัสดุท้องถิ่น เท่ากับ 1 : 5 จากนั้นจึงขึ้นรูปตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ผนังดินอัดแต่ละประเภทมีความหนาแน่นสูงสุด และทำการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การทนต่อการชะล้าง และกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบ พบว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของผนังดินอัดจากศิลาแลง คือ ร้อยละ 12.00 ให้ความหนาแน่นสูงสุดที่ 2.17 ก./ลบ.ซม. ผนังดินอัดผสมผงหินอ่อนมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมร้อยละ 16.00 ให้ความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.86 ก./ลบ.ซม. และผนังดินอัดผสมขี้เถ้าอ้อยมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมร้อยละ 18.00 ให้ความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.49 ก./ลบ.ซม. ในด้านสมบัติทางกายภาพ ผนังดินอัดแต่ละประเภทมีสีและน้ำหนักแตกต่างกัน โดยผนังดินอัดจากศิลาแลงมีสีส้มแดงและมีน้ำหนักมากที่สุด ผนังดินอัดผสมผงหินอ่อนมีสีน้ำตาลอมขาว ส่วนผนังดินอัดผสมขี้เถ้าอ้อยมีสีดำ น้ำหนักเบา และมีผิวเรียบเนียนที่สุด สำหรับกำลังรับแรงอัด พบว่า ผนังดินอัดจากศิลาแลงมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 70.50 ± 7.00 กก./ตร.ซม. ตามมาด้วยผนังดินอัดผสมผงหินอ่อนที่ 38.50 ± 2.63 กก./ตร.ซม. และผนังดินอัดผสมขี้เถ้าอ้อยมีกำลังอัดต่ำที่สุดที่ 22.50 ± 2.73 กก./ตร.ซม. อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ผนังดินอัดเป็นวัสดุก่อสร้างเชิงสถาปัตยกรรมยังคงขึ้นอยู่กับความพึงพอใจในความเป็นธรรมชาติ สีสัน ความสวยงาม และเสน่ห์เฉพาะตัวของวัสดุนั้นๆ

คำสำคัญ: ผนังดินอัด, วัสดุท้องถิ่น, ศิลาแลง, ผงหินอ่อน, ขี้เถ้าอ้อย

Abstract

This study investigates the properties of rammed earth made from local materials in Kamphaeng Phet Province by utilizing three types of waste materials: laterite from decorative applications, marble powder from the marble mining industry, and sugarcane bagasse ash from sugar factories. The cement-to-soil ratio was fixed at 1:5 with local materials. Samples were prepared to determine the optimum moisture content that yields the highest density for each type of rammed earth wall. Engineering properties including surface characteristics, density, water absorption, erosion resistance, and compressive strength were then tested. The results indicate that the optimum moisture content for rammed earth with laterite is 12.00%, producing a maximum density of 2.17 g/cm³. Rammed earth mixed with marble powder exhibited an optimum moisture content of 16.00%, with a maximum density of 1.86 g/cm³. Rammed earth mixed with sugarcane bagasse ash showed an optimum moisture content of 18.00%, with a maximum density of 1.49 g/cm³. Regarding physical properties, each type of rammed earth wall differed in color and weight: the laterite-based rammed earth exhibited a reddish-orange color and the highest weight, the marble powder mixture showed a brownish-white hue, and the sugarcane bagasse ash mixture was black, lightweight, and had the smoothest surface

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

² คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

¹ Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

² Faculty of Humanities and Social Sciences, Kamphaeng Phet Rajabhat University

* Corresponding author: Aekasit Thianmas, E-mail: muznui33@gmail.com

texture. In terms of compressive strength, the laterite rammed earth wall attained the highest strength of 70.50 ± 7.00 kg/cm², followed by the marble powder mixture at 38.50 ± 2.63 kg/cm², and the sugarcane bagasse ash mixture with the lowest strength at 22.50 ± 2.73 kg/cm². Nevertheless, the selection of rammed earth as an architectural building material remains dependent on preferences for naturalness, color, aesthetic appeal, and the unique charm of each material.

Keywords: Rammed earth, local materials, laterite, marble powder, sugarcane bagasse ash

บทนำ

ในยุคปัจจุบันนี้การก่อสร้างในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่มักใช้โครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและก่อผนังด้วยอิฐที่มาจากการผลิตของอุตสาหกรรม จึงควรมีทางเลือกอื่นของวัสดุและการก่อสร้างที่ลดต้นทุนในการผลิตและลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ดินจึงเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ในธรรมชาติ ถึงแม้ว่าดินจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค ซึ่งในการก่อสร้างมักถูกใช้เพื่อสร้างผนังรับน้ำหนักที่มีความแข็งแรงทนทานโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผา และเมื่อหมดอายุในการใช้งานแล้วก็สามารถที่จะย่อยสลายกลับคืนสู่ธรรมชาติได้ดีกว่าวัสดุอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในท้องตลาด

ผนังดินอัดเป็นการก่อสร้างผนังบ้านหรืออาคารด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมของดินซึ่งนำมาใช้แทนอิฐทั่วไปที่มาจากการผลิตของอุตสาหกรรม ซึ่งข้อดีของการใช้ดินอัดนั้นเป็นการช่วยลดมลพิษทางอากาศได้เนื่องจากอิฐต้องผ่านกระบวนการเผาด้วยเตาดินอัดสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาและดินเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่นที่อาศัย มีวิธีในการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งยังสามารถที่จะย่อยสลายได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของดินแต่ละชนิดแต่ละภูมิภาคนั้นจะมีความแตกต่างกันจึงทำให้ดินอัดมีความแข็งแรงที่ต่างกันจึงต้องมีการทดสอบความประสิทธิภาพก่อนที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้าง

จังหวัดกำแพงเพชรเป็นแหล่งรวมของวัสดุท้องถิ่นที่มีเอกลักษณ์โดดเด่นสะท้อนถึงภูมิปัญญาและทรัพยากรอันอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ หนึ่งในนั้น คือ ศิลาแลง ซึ่งเป็นดินที่มีสีส้มแดงอันเป็นเอกลักษณ์ มักถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างโบราณสถาน แสดงถึงความคงทนและสุนทรียภาพที่ผูกพันกับประวัติศาสตร์ หินอ่อน ที่พบมากในอำเภอพรานกระต่าย ที่มีความสวยงามและหลากหลาย เหมาะสำหรับการตกแต่งและงานประติมากรรม อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตเหล่านี้มักก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่ดี อาจกลายเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ การนำเศษวัสดุเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ไม่เพียงแต่ช่วยลดปัญหาขยะอุตสาหกรรม

แต่ยังเป็นการสร้างนวัตกรรม สร้างอาชีพ และส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืน

ดังที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเศษวัสดุท้องถิ่นที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในจังหวัดกำแพงเพชร ได้แก่ เศษศิลาแลง ผงหินอ่อน และเศษซีเมนต์เก่าอ้อยนำมาผ่านตะแกรง จากนั้นนำไปผสมกับดินปูนซีเมนต์ และน้ำ ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำมาอัดให้เป็นก้อน จากนั้นนำดินอัดที่เป็นก้อนแล้วมาทดสอบความแข็งแรงเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ทำหน้าที่ได้เหมือนกับอิฐที่มาจากการผลิตของอุตสาหกรรมและมีมาตรฐาน รวมทั้งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสภาพแวดล้อม

การทดลอง

1. สํารวจเศษวัสดุท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจเศษวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมจังหวัดกำแพงเพชร โดยทำการคัดเลือกเศษวัสดุมาใช้ในการขึ้นรูป จำนวน 3 ประเภท ดังนี้

1) เศษศิลาแลง จากการตัดแต่งอิฐศิลาแลงในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยผู้วิจัยจะนำเศษศิลาแลงมาผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เศษศิลาแลงที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 3.01 และพบสารประกอบ SiO₂ และ Fe₂O₃ เป็นหลัก (เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และประภัศรา ห่อทอง, 2567)

2) เศษผงหินอ่อน ได้จากอุตสาหกรรมการตัดแต่งหินอ่อน อำเภอพรานกระต่าย โดยผู้วิจัยจะนำผงหินอ่อนมาอบให้แห้ง เศษผงหินอ่อนไม่ต้องทำการร่อนเนื่องจากมีความละเอียดค่อนข้างสูง เศษผงหินอ่อนที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.92 และพบสารประกอบ CaCO₃ เป็นหลัก (เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และคณะ, 2567)

3) เศษซีเมนต์เก่าอ้อย จากโรงงานน้ำตาล จังหวัดกำแพงเพชร เศษซีเมนต์เก่าอ้อยที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.18 และพบสารประกอบ SiO₂ และ Al₂O₃ เป็นหลัก

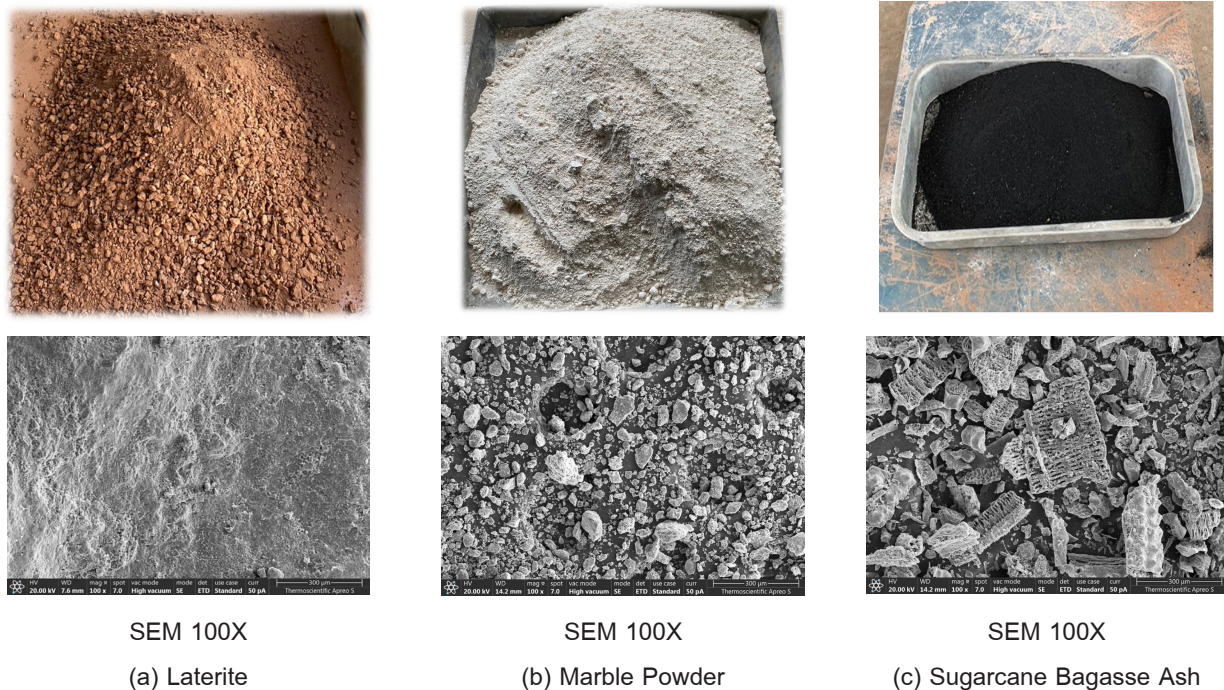


Figure 1 Local materials of Kamphaeng Phet Province

2. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ดิน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว น้ำสะอาด และเศษวัสดุท้องถิ่น 3 ประเภท คือ เศษศิลาแลง ผงหินอ่อน และซีเมนต์อ้อย

3. การเตรียมส่วนผสมและขึ้นรูปตัวอย่าง

1) ออกแบบส่วนผสม กำหนดส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ดินและวัสดุท้องถิ่น เท่ากับ 1 : 5 วีระวัฒน์ วรณกุล และคณะ (2566) ผังดินอัดจากดินลมหอบ ใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ดิน เท่ากับ 1 : 6 ; ภัทรนันท์ ทักขนันท์ (2549) ผังดินอัดจากเศษซากอาคาร ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ดิน เท่ากับ 1 : 5 และ เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และคณะ (2564) อีฐ ดินดิบผสมปูนซีเมนต์และใยมะพร้าว ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ดิน เท่ากับ 1 : 4) โดยปริมาตรน้ำเริ่มที่ 9 – 20 % ดัง Table 1 – 3

Table 1 Mix design for laterite rammed earth test specimens.

Sample	Soil (kg.)	Laterite (kg.)	White Portland Cement (kg.)	Water
A-1	-	5.00	1.00	9 %
A-2	-	5.00	1.00	10 %
A-3	-	5.00	1.00	11 %
A-4	-	5.00	1.00	13 %

Table 2 Mix design for marble powder rammed earth test specimens.

Sample	Soil (kg.)	Marble Powder (kg.)	White Portland Cement (kg.)	Water
D-1	3.00	2.00	1.00	11 %
D-2	3.00	2.00	1.00	13 %
D-3	3.00	2.00	1.00	15 %
D-4	3.00	2.00	1.00	17 %

Table 3 Mix design for sugarcane bagasse ash rammed earth test specimens.

Sample	Soil (kg.)	Sugarcane bagasse ash (kg.)	White Portland Cement (kg.)	Water
B-1	4.00	1.00	1.00	13 %
B-2	4.00	1.00	1.00	15 %
B-3	4.00	1.00	1.00	17 %
B-4	4.00	1.00	1.00	20 %

2) การเตรียมส่วนผสมและขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบจากส่วนผสม Table 1 – 3 ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการตักจำนวน 3 ชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง ตามมาตรฐานการบดอัดดิน (D 1140 - 54 Test Method for Laboratory Compaction

Characteristics of Soil Using Standard Effort) ให้ได้ตัวอย่างทดสอบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) 10.00 ซม. ความสูง (h) 11.50 ซม. ทำการบ่มในอากาศเป็นระยะเวลา 28 วัน เพื่อรอการทดสอบต่อไป

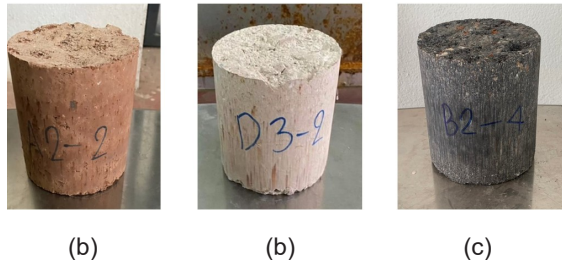


Figure 2 Rammed earth test specimens from local materials

(a) laterite rammed earth test specimens

(b) marble powder rammed earth test specimens

(c) sugarcane bagasse ash rammed earth test specimens

4. วิธีการทดสอบ

1) ความหนาแน่น (Density) สามารถหาได้จากการนำตัวอย่างทดสอบมาทำการวัดขนาด และชั่งหามวล ค่าความหนาแน่นคำนวณได้จากสมการ

$$\rho = m / V$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น, กก./ลบ.ม.

m คือ มวล, กก.

V คือ ปริมาตรที่ได้จากการวัด, ลบ.ม.

2) การดูดซึมน้ำ (Absorption) สามารถบอกถึงความคงทนของตัวอย่างทดสอบ นำตัวอย่างทดสอบที่ได้มาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเปียก แล้วนำไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง ทําการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.109-2517 และ ASTM C 140-70 (ASTM International, 2026a)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100$$

เมื่อ W_w คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ, กก.

W_s คือ น้ำหนักที่อบแห้ง, กก.

3) ค่ากำลังต้านแรงอัด อ้างอิงมาตรฐาน ASTM C39 (ASTM International, 2026b) ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine สำหรับค่าความต้านแรงอัดสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงอัดต่อพื้นที่รับแรง มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม. สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = P/A$$

เมื่อ σ คือ กำลังรับแรงอัด, กก./ตร.ซม

P คือ แรงอัดสูงสุด, กก.

A คือ พื้นที่รับแรงอัด, ตร.ซม.



Figure 3 Compressive strength test

4) การทดสอบชะล้าง ใช้เครื่องฉีดน้ำที่มีแรงดันน้ำ 80 บาร์ ระยะห่างในการยิงฉีดน้ำ 1 เมตร ระยะเวลาในการฉีดน้ำ 60 วินาที เพื่อตรวจสอบความคงทนของตัวอย่าง โดยรายงานผลเป็นค่าความสึกของพื้นผิวที่ถูกชะล้าง



Figure 4 Erosion resistance test

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบผนังดินอัดแต่ละประเภทมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด โดยใช้วิธีการทดสอบการบดอัดดินตามมาตรฐาน ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

- ผนังดินอัดจากศิลาแลง ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 12.00 ส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.17 กก./ลบ.ซม.

- ผนังดินอัดผสมผงหินอ่อน พบว่า ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 16.00 ส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.86 กก./ลบ.ซม.

- ผงดินอัดผสมซีเมนต์ 1:1 พบว่า ที่ปริมาณความชื้น ร้อยละ 18.00 ส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีความหนาแน่นสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1.49 ก./ลบ.ซม.

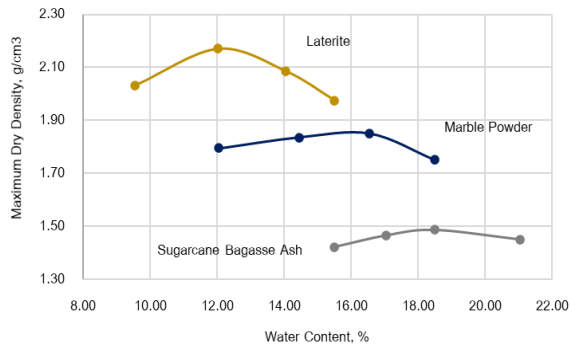


Figure 5 Optimum moisture content for specimens from local materials

2) สมบัติทางวิศวกรรมของผงดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น

2.1 ลักษณะพื้นผิว เมื่อพิจารณาลักษณะทาง

กายภาพด้วยการสังเกต พบว่า ตัวอย่างทดสอบจะมีลักษณะพื้นผิวและสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น ผงดินอัดจากศิลาแลงมีสีส้มแดง และมีน้ำหนักที่มากกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบอื่น ผงดินอัดผสมผงหินอ่อนมีสีน้ำตาลอมขาว เนื่องจากสีจากผงหินอ่อน ในขณะที่ผงดินอัดผสมซีเมนต์ 1:1 มีสีน้ำตาลเข้ม และมีผิวที่เรียบเนียนกว่าตัวอย่างทดสอบอื่น ดังนั้น จะเห็นได้ว่าผงดินอัดจากวัสดุท้องถิ่นทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุที่นำมาผสม ดัง Figure 6

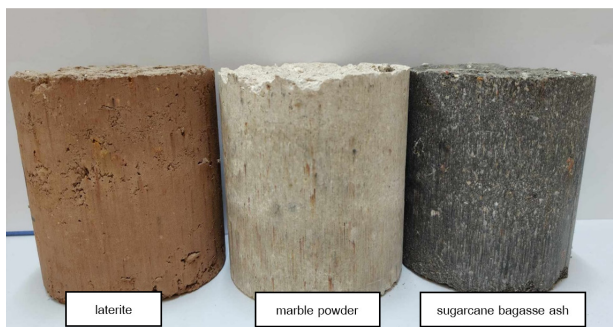


Figure 6 Rammed earth test specimens

2.2 ค่าความหนาแน่น ทำการทดสอบกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า ตัวอย่างทดสอบผงดินอัดจากศิลาแลง, ผงหินอ่อน และซีเมนต์ 1:1 มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.15 ± 0.12 , 1.90 ± 0.05 และ 1.59 ± 0.04 ก./ลบ.ซม. ตามลำดับ จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ค่าความหนาแน่นของ

ตัวอย่างทดสอบมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุท้องถิ่นที่นำมาใช้ ดัง Figure 7

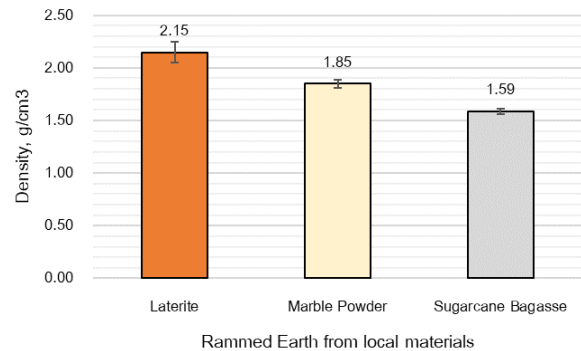


Figure 7 Density test for specimens from local materials

2.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ทำการ

ทดสอบกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า

ผงดินอัดจากศิลาแลงมีค่าต่ำสุด (ร้อยละ 7.16 ± 0.35) รองมาผงดินอัดผสมผงหินอ่อน (ร้อยละ 10.51 ± 0.57) ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบผงดินอัดผสมซีเมนต์ 1:1 มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด (ร้อยละ 17.65 ± 0.65) เนื่องจากผงดินอัดผสมซีเมนต์ 1:1 มีอัตราส่วนช่องว่างและความหนาแน่นน้อยจึงดูดซึมน้ำได้มาก อีกทั้งซีเมนต์ยังจัดเป็นวัสดุธรรมชาติ มีองค์ประกอบประเภทอินทรีย์วัตถุที่ดูดซึมน้ำได้ดีจึงส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีค่าดูดซึมน้ำมากตามไปด้วย (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และอัญชิสา สันติจิตโต, 2555; ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และกนกวรรณ มะสุวรรณ, 2558) ดัง Figure 8

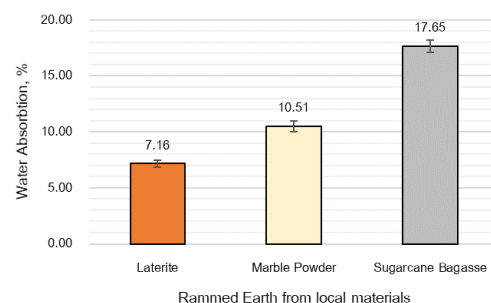


Figure 8 Water absorption test for specimens from local materials

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IS 1725 (Bureau of Indian Standards, 1982) กำหนดให้การดูดซึมน้ำไม่ควรเกินร้อยละ 15 ภายใน 24 ชั่วโมง พบว่า ผงดินอัดผสมซีเมนต์ 1:1 มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ามาตรฐานซึ่งอาจทำให้วัสดุเสื่อม

สภาพเร็วขึ้น และส่งผลต่อการคงรูปและความแข็งแรง ในขณะที่พื้นดินอัดจากศิลาแลง และผงหินอ่อนมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานและถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.4 การทดสอบชะล้างด้วยน้ำ พบว่า ตัวอย่างทดสอบพื้นดินอัดจากศิลาแลง และผงหินอ่อนผสมผงหินอ่อนในทุกอัตราส่วนผสมมีการถูกชะล้างและสูญเสียเนื้อดินเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบพื้นดินอัดผสมซีเมนต์อ้อยมีการสูญเสียเนื้อดินเป็นวงกว้าง ความลึกของเนื้อดินที่ถูกชะล้างลงไปต่างกันขึ้นกับความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ โดยตัวอย่างที่มีความหนาแน่นมากการถูกชะล้างจะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดัง Figure 9



Figure 9 Erosion resistance test for specimens from local materials

2.5 กำลังรับแรงอัด ทำการทดสอบกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่า ตัวอย่างทดสอบพื้นดินอัดจากศิลาแลง สามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุด เท่ากับ 70.50 ± 7.00 กก./ตร.ซม. รองมาพื้นดินอัดผสมผงหินอ่อน เท่ากับ 38.50 ± 2.63 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบพื้นดินอัดผสมซีเมนต์อ้อย สามารถรับกำลังอัดได้น้อยที่สุด เท่ากับ 22.50 ± 2.73 กก./ตร.ซม. ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความหนาแน่น โดยตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีความแข็งแรงและมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า เนื่องจากอนุภาคภายในวัสดุอยู่ใกล้กันมาก ส่งผลให้วัสดุมีความต้านทานต่อการถูกบีบอัดมากขึ้น ดัง Figure 10

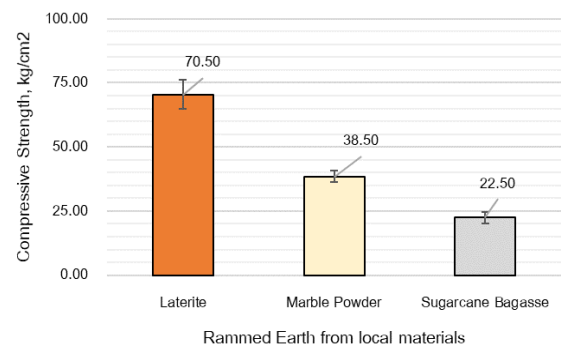


Figure 10 Compressive Strength Test for specimens from local materials

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IS 1725 (Bureau of Indian Standards, 1982) กำลังรับแรงอัดขั้นต่ำ 25.49 กก./ตร.ซม. พบว่า พื้นดินอัดจากศิลาแลง และผงหินอ่อนมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ในขณะที่พื้นดินอัดผสมซีเมนต์อ้อยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ดังนั้น การเลือกใช้งานต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับบริบทและข้อกำหนดต่อไป

3) การสำรวจความพึงพอใจต่อพื้นดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร ทำการขึ้นรูปพื้นดินอัดจากเศษวัสดุท้องถิ่น ขนาดความกว้าง 20 ซม. ความยาว 70 ซม. และความสูง 80 ซม. ดัง Figure 11

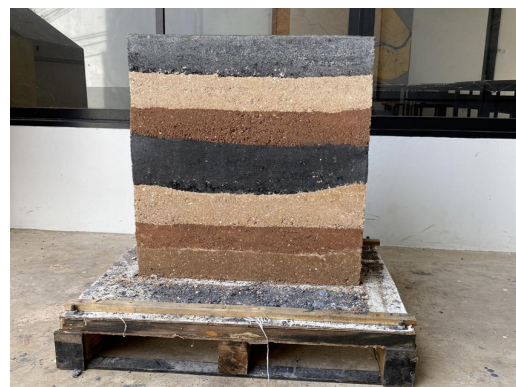


Figure 11 Rammed earth from local materials of Kamphaeng Phet Province.

จากผลการการสำรวจความพึงพอใจต่อพื้นดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร โดยทำการสำรวจจากนักวิชาการ สถาปนิก วิศวกร ผู้รับเหมา และบุคคลทั่วไป ได้ผลการศึกษาดัง Table 4 และ 5

Table 4 Please specify the status of the respondent

	Description	Frequency	%
1. Gender	☐ Male	36	72.00
	☐ Female	14	28.00
2. Age	☐ < 30 years	11	22.00
	☐ 31–40 years	26	52.00
	☐ 41–50 years	8	16.00
	☐ > 50 years	5	10.00
3. Occupation	☐ Academic	5	10.00
	☐ Engineer, Contractor, Architect, etc.	20	40.00
	☐ Others	25	50.00
4. Level of knowledge about rammed earth	☐ Low	28	56.00
	☐ Moderate	15	30.00
	☐ High	7	14.00

จาก Table 4 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 72 เพศหญิงร้อยละ 14 มีอายุระหว่าง 31-40 ปี เป็นกลุ่มบุคคลทั่วไปร้อยละ 50 รองมาเป็นกลุ่มวิศวกร ผู้รับเหมา สถาปนิก และช่าง ร้อยละ 40 และส่วนใหญ่ไม่มีความรู้เรื่องผนังดินอัด

Table 5 Survey results on satisfaction with rammed earth walls made from local materials in Kamphaeng Phet Province

No.	Satisfaction	Average	S.D.
1	The product has beautiful color and is attractive	4.56	0.50
2	The product is well-crafted with no cracks	4.00	0.55
3	The product is strong	4.50	0.55
4	The product is resistant to water erosion	4.38	0.53
5	The product is cost-effective	4.30	0.51
6	The product is reasonably priced	4.08	0.35
7	Overall satisfaction with rammed earth walls from local materials	4.23	0.65
Summary		4.29	0.56

จากผลการสำรวจ พบว่า ความพึงพอใจโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.29 ± 0.56 เมื่อพิจารณาในรายประเด็น พบว่าผลิตภัณฑ์มีสี ความสวยงาม และความดึงดูดใจ มีค่าความพึงพอใจสูงสุด เท่ากับ 4.56 ± 0.50 บ่งบอกถึงการออกแบบ

และรูปลักษณะเป็นจุดแข็งของผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น โดยอาจจะเป็นผลจากการใช้วัสดุท้องถิ่นที่มีลักษณะเฉพาะตัวและเป็นเอกลักษณ์ รองลงมา คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง เท่ากับ 4.50 ± 0.55 ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงทนต่อการชะล้างด้วยน้ำ เท่ากับ 4.38 ± 0.53 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคุ้มค่าคุ้มทุน เท่ากับ 4.30 ± 0.51 ความพึงพอใจรวมต่อผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น เท่ากับ 4.23 ± 0.65 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีราคาเหมาะสม เท่ากับ 4.08 ± 0.35 และผลิตภัณฑ์ที่มีความประณีต ไม่มีรอยแตกร้าวค่าความพึงพอใจต่ำที่สุด เท่ากับ 4.00 ± 0.55 เนื่องจากตัวชิ้นงานที่ขึ้นรูปจริงยังมีลักษณะผิวบางส่วนที่ยังไม่ค่อยเรียบเนียน ถ้าปรับปรุง/พัฒนาส่วนนี้ได้ชิ้นงานจะมีความสมบูรณ์มากขึ้น อย่างไรก็ตามด้านความทนทานต่อการชะล้าง แม้คะแนนในด้านนี้จะค่อนข้างดี (4.38 ± 0.53) แต่สามารถพัฒนาให้ผนังมีความทนทานต่อสภาพอากาศที่รุนแรงได้มากขึ้น เช่น การใช้วัสดุหรือการเคลือบผิวที่ช่วยเพิ่มความทนทาน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น พบว่า การใช้วัสดุผสมเพิ่มที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยผนังดินอัดจากศิลาแลงมีสีส้มแดง และมีน้ำหนักที่มากกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างทดสอบอื่น ผนังดินอัดผสมผงหินอ่อนมีสีน้ำตาลอมขาว เนื่องจากสีจากผงหินอ่อน ในขณะที่ผนังดินอัดผสมซีเมนต์มีสีเทา มีน้ำหนักเบา และมีผิวที่เรียบเนียนกว่าตัวอย่างทดสอบอื่น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในรูปแบบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าในด้านกำลังต้านทานแรงอัดตัวอย่างทดสอบผนังดินอัดจากศิลาแลง สามารถรับกำลังอัดได้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 70.50 ± 7.00 กก./ตร.ซม. รองลงมาคือ ผนังดินอัดผสมผงหินอ่อน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ย 38.50 ± 2.63 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ผนังดินอัดผสมซีเมนต์มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยต่ำที่สุดอยู่ที่ 22.50 ± 2.73 กก./ตร.ซม.

ในส่วนของความหนาแน่น ตัวอย่างทดสอบผนังดินอัดจากศิลาแลง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 2.15 ± 0.12 ก./ลบ.ซม. และด้านการดูดซึมน้ำ ผนังดินอัดผสมซีเมนต์มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ร้อยละ 17.65 ± 0.65 ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูลที่มีความเสถียร ซึ่งยืนยันได้ว่าผนังดินอัดจากศิลาแลงมีความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุและมีศักยภาพสูงที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับงานโครงสร้างรับน้ำหนัก ในขณะที่ผนังดินอัดผสมซีเมนต์อาจเหมาะสมกับงานตกแต่งที่ไม่ได้เน้นการรับน้ำหนัก

Table 6 Summary of performance test results for local rammed earth

specimens	Density (g./cm ³)	Water absorption, (%)	Erosion Resistance	Compressive Strength (kg./cm ²)
Laterite 	2.15 ± 0.12	7.16 ± 0.35	- The specimen was tested without damage.	70.50 ± 7.00
Marble Powder 	1.90 ± 0.05	10.51 ± 0.57	- The specimen was tested and exhibited slight damage.	38.50 ± 2.63
Sugarcane Bagasse Ash 	1.59 ± 0.04	17.65 ± 0.65	- The specimen was tested and exhibited clear damage.	22.50 ± 2.73

เมื่อพิจารณาสมบัติของวัสดุท้องถิ่นที่ใช้ พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะมีความสำคัญในการกำหนดความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกำลังต้านทานแรงอัด วัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะสูง เช่น เศษศิลาแลง จะช่วยเพิ่มความหนาแน่นและกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีกว่าวัสดุอื่น ๆ นอกจากนี้ เศษศิลาแลงยังมีสารประกอบ SiO_2 และ Fe_2O_3 ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการเสริมความแข็งแรงและความทนทานของผนังดินอัด ทำให้ผนังดินอัดจากเศษศิลาแลงมีความต้านทานต่อแรงอัดได้ดีที่สุด

โดยผนังดินอัดจากศิลาแลง และผนังดินอัดผสมผงหินอ่อน มีค่ากำลังต้านทานแรงอัด และการดูดซึมน้ำผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน IS 1725 (Bureau of Indian Standards, 1982) ในขณะที่ผนังดินอัดผสมซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ผนังดินอัดเป็นวัสดุก่อสร้างเชิงสถาปัตยกรรมยังคงขึ้นอยู่กับความพึงพอใจในความเป็นธรรมชาติ สีสน ความสวยงาม และเสน่ห์เฉพาะตัวของวัสดุนั้นๆ

การวิเคราะห์ด้านความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อม พบว่าการผลิตผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่น ช่วยลดผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อม เนื่องจากการใช้วัสดุท้องถิ่นช่วยลดการขนส่งและการใช้พลังงานในการผลิต ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ การใช้วัสดุท้องถิ่นในกระบวนการผลิตยังช่วยลดการพึ่งพาวัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนสูงและการใช้พลังงานมาก เช่น อิฐที่ต้องผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานสูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในด้านการก่อสร้างผนังดินอัด ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญสูง เนื่องจากการผลิตและการติดตั้งสามารถทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อน ต่างจากการก่อผนังด้วยอิฐที่ต้องการช่างผู้มีความชำนาญและทักษะเฉพาะทางในการเรียงอิฐอย่างมีคุณภาพ การลดความจำเป็นในการใช้แรงงานที่มีทักษะสูงสามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างและเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงการสร้างที่อยู่อาศัยในพื้นที่ต่าง ๆ

การใช้ผนังดินอัดจากวัสดุท้องถิ่นจึงสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาความยั่งยืน ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงทรัพยากรในการก่อสร้างที่ยั่งยืนและมีต้นทุนต่ำในระยะยาว

อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้จะสมบูรณ์ยิ่งขึ้นถ้ามีการศึกษาสมบัติต่าง ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น เช่น การศึกษาอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละท้องถิ่น สำหรับการศึกษาในระดับขั้นต่อไปควรมีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การประเมินเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้เศษวัสดุท้องถิ่นในการสร้างผนังดินอัดกับวัสดุก่อสร้างทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่สนับสนุนด้านทุนวิจัย ประเภททุนสนับสนุนงานมูลฐาน ปี 2566 และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์การทดสอบ เครื่องมือมือทดสอบ และสถานที่ทำการทดสอบตลอดระยะเวลาของการทำการวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และกนกวรรณ มะสุวรรณ. (2558). การศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 38(1), 71–86.
- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และอัญชิสา สันติจิตโต. (2555). คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มเพื่อวัสดุก่อสร้าง. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 9(1), 113–124.
- ภัทรนันท์ ทักชนนท์. (2549). *โครงการวิจัยและพัฒนาวัสดุก่อสร้างจากเศษซากอาคาร* [รายงานวิจัย]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระวัฒน์ วรรณกุล, อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ และวรวิทย์ โพธิ์จันทร์. (2566). การพัฒนาดินลมหอบผสมซีเมนต์สำหรับการก่อสร้างผนังดินอัด กรณีศึกษาในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)*, 18(2), 25–37.
- เอกสิทธิ์ เทียนมาศ และประภัสสร ห่อทอง. (2567). การพัฒนาวัสดุก่อสร้างจากเศษศิลาแลงจังหวัดกำแพงเพชร. *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 18*, 111–116.
- เอกสิทธิ์ เทียนมาศ, มาณพ ดันเคน, พัชรรัตน์ หารไชย, ศิริวัฒน์ แสนธรรมา และประภัสสร ห่อทอง. (2567). กระเบื้องหินทรายเทียมจากผงหินอ่อนพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 6(3), 288–301.
- เอกสิทธิ์ เทียนมาศ, มาณพ ดันเคน, ชนะชัย เขียวสด และปฏิภาณ ชัยพิทักษ์. (2564). การปรับปรุงสมบัติของอิฐดินดิบโดยใช้ปูนซีเมนต์และใยมะพร้าว. *การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ (GNRU) ครั้งที่ 21*, 149–163.
- ASTM International. (2026a). *ASTM C140/C140M-26: Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0140_C0140M-26
- ASTM International. (2026b). *ASTM C39/C39M-26: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-26
- Bureau of Indian Standards. (1982). *IS 1725:1982. Specification for soil based blocks used in general building construction* (1st revision). Bureau of Indian Standards.