



## การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของศิลาแลงโบราณ และศิลาแลงปัจจุบัน

## Comparison of Engineering Properties Between Ancient and Modern Laterite

เอกสิทธิ์ เทียนมาศ\*

Aekasit Thianmas

กิตติศักดิ์ วงษ์สุข\*

Kitisak Vongsook

เมธาวี สอนดี\*\*

Methawee Sorndee

Received : October 17, 2025

Revised : December 2, 2025

Accepted : December 19, 2025

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างศิลาแลงโบราณ (อายุประมาณ 600-700 ปี) จากอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร และศิลาแลงในยุคปัจจุบัน เพื่อสร้างฐานข้อมูลทางวิศวกรรมสำหรับการประเมินเสถียรภาพและการเลือกวัสดุทดแทนในการบูรณะโบราณสถาน การศึกษานี้ครอบคลุมการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติเชิงกล โดยอ้างอิงมาตรฐานสากล (BS1881-116 และ ASTM C 293) รวมถึงการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค ED-XRF ผลการวิจัย พบว่า ศิลาแลงปัจจุบันมีสมบัติทางวิศวกรรมที่เหนือกว่าศิลาแลงโบราณในด้านความหนาแน่นและกำลังรับแรง โดยศิลาแลงปัจจุบันมีความหนาแน่นเฉลี่ย 2,373 กก./ลบ.ม. และกำลังรับแรงอัด 24.84 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ศิลาแลงโบราณมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,122 กก./ลบ.ม. และ 16.70 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สำหรับการดูดซึมน้ำ ศิลาแลงโบราณมีค่าสูงกว่าที่ร้อยละ 8.41 ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันอยู่ที่ร้อยละ 4.73 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและโครงสร้าง พบว่า

\*อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
Lecturers of the Civil Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University(Corresponding Author) e-mail: muznui33@gmail.com

\*\*นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
Students of the Civil Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,

Kamphaeng Phet Rajabhat University

ศิลาแลงปัจจุบันมีปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) สูงถึง 68.22% และมีรูพรุนที่ไม่เชื่อมต่อกัน ส่งผลให้มีความแข็งแรงสูงกว่าส่วนศิลาแลงโบราณมีปริมาณซิลิคอน (Si) สูงกว่าและมีโครงสร้างรูพรุนที่เชื่อมต่อกัน ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนอนุรักษ์และการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับความเข้ากันได้ของโครงสร้างเดิม

**คำสำคัญ :** ศิลาแลงโบราณ / สมบัติทางวิศวกรรม / การดูดซึมน้ำ / กำลังรับแรงอัด / อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร

#### ABSTRACT

The objective of this research is to compare the engineering properties of ancient laterite (approximately 600–700 years old) from Kamphaeng Phet Historical Park and modern laterite available in the current market. The study aims to establish an engineering database for evaluating structural stability and selecting appropriate replacement materials for historical restoration. The research methodology encompasses physical, chemical, and mechanical property testing based on international standards (BS1881-116 and ASTM C 293), including microstructural analysis using Scanning Electron Microscope (SEM) and elemental analysis via Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF). The results indicate that modern laterite exhibits superior engineering properties compared to ancient laterite in terms of density and strength. Modern laterite shows an average density of 2,373 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength of 24.84 kg/cm<sup>2</sup>, whereas ancient laterite recorded averages of 2,122 kg/m<sup>3</sup> and 16.70 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. Regarding water absorption, ancient laterite demonstrated a higher rate at 8.41%, compared to 4.73% for modern laterite. Chemical and structural analyses revealed that modern laterite contains a high iron (Fe) content of 68.22% with non-interconnected pores, contributing to its higher strength. Conversely, ancient laterite has higher silicon (Si) content and interconnected porosity. These findings provide essential data for conservation planning and the selection of materials compatible with original structures.

**Keywords :** Ancient Laterite / Engineering Properties / Water Absorption / Compressive Strength / Kamphaeng Phet Historical Park

## บทนำ

เมืองกำแพงเพชร ในฐานะส่วนหนึ่งของเมืองมรดกโลกทางวัฒนธรรม เป็นที่ตั้งของโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่มีอายุเก่าแก่ราว 600-700 ปี (พุทธศตวรรษที่ 18-20) ซึ่งก่อสร้างขึ้นในช่วงรอยต่อระหว่างยุคสุโขทัยและอยุธยาตอนต้น ลักษณะเด่นเชิงวิศวกรรมของโบราณสถานในพื้นที่นี้ โดยเฉพาะกลุ่มวัดเขตธัญญิกอาทิ วัดพระนอน วัดป่ามืด และวัดช้างรอบ คือการนำ “ศิลาแลง” มาใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง ซึ่งบ่งบอกถึงความเชี่ยวชาญด้านวัสดุของช่างสกุลกำแพงเพชร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโบราณสถานเหล่านี้ผ่านกาลเวลามาอย่างยาวนานและได้รับการประกาศให้อยู่ภายใต้แผนการอนุรักษ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 การศึกษาและติดตามสภาพความมั่นคงแข็งแรงของวัสดุจึงเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนอนุรักษ์อย่างยั่งยืน

การดำเนินงานอนุรักษ์และบูรณะโบราณสถานให้สัมฤทธิ์ผลอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องบูรณาการองค์ความรู้เชิงลึกทางวิศวกรรม โดยเฉพาะข้อมูลสมบัติของวัสดุก่อสร้างดั้งเดิม เนื่องจากศิลาแลงโบราณได้ผ่านกระบวนการเสื่อมสภาพ และเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีมาเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้สมรรถนะในการรับน้ำหนักและความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมลดทอนลงไปจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุก่อสร้างโบราณสถานอยู่จำนวนหนึ่ง อาทิ การศึกษาสมบัติทางกลของอิฐทดแทนเพื่อการอนุรักษ์ (สุนัย โตศิริมงคล และคณะ, 2563) การวิเคราะห์กำลังอัดและค่าคงที่ยืดหยุ่นของอิฐก่อโบราณเปรียบเทียบกับอิฐก่อทดแทน (สุรพัศ นิธิปฏิภม และคณะ, 2564) และการศึกษาสมบัติทางกลและกำลังรับแรงอัดของอิฐโบราณ (ชวลวิทย์ ภารสงัด และคณะ, 2566) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่วัสดุประเภทอิฐ โดยยังขาดองค์ความรู้และการศึกษาเจาะจงในวัสดุศิลาแลงซึ่งเป็นวัสดุหลักที่สำคัญในสถาปัตยกรรมไทยโบราณ ดังนั้น การวิเคราะห์สมบัติทางวิศวกรรมที่สำคัญ ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด จึงเป็นโจทย์วิจัยที่จำเป็นเร่งด่วน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างศิลาแลงโบราณ (อายุประมาณ 600-700 ปี) และศิลาแลงในยุคปัจจุบัน เพื่อให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลทางวิศวกรรมที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างโบราณ และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกสรรวัสดุทดแทนที่มีคุณภาพและเหมาะสมที่สุดในการดำเนินงานบูรณะโบราณสถานในอนาคตต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างทดสอบ งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณจากอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร โดยมาจากศิลาแลงที่ร่วงหล่น ในขณะที่ตัวอย่างทดสอบศิลาแลงปัจจุบันมาจากร้านค้าทั่วไป ดังภาพที่ 1



ศิลาแลงโบราณ



ศิลาแลงปัจจุบัน

ภาพที่ 1 ตัวอย่างทดสอบ

2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ การทดสอบความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำใช้ตัวอย่างทดสอบที่ได้มาทำการทดสอบ ในขณะที่การทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงตัด ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างทดสอบมาทำการตัดแต่งให้มีขนาดรูปทรงมาตรฐาน จำนวน 2 รูปทรง ประกอบด้วย ขนาด  $10 \times 10 \times 10$  เซนติเมตร กำลังรับแรงอัด และขนาด  $10 \times 10 \times 20$  เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงตัด การเตรียมตัวอย่างทดสอบแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การตัดศิลาแลงเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

3. การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมประกอบด้วย

3.1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1) ลักษณะทั่วไป ตรวจสอบด้วยวิธีการสังเกต

2) ความหนาแน่น การหาค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากการนำตัวอย่างทดสอบที่ได้มาทำการวัดขนาด และทำการชั่งน้ำหนัก

3) การดูดซึมน้ำ สามารถบอกถึงความคงทนของตัวอย่างทดสอบ นำตัวอย่างทดสอบที่ได้มาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้ง ดังภาพที่ 3

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

เมื่อ  $W_w$  คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ, กก.

$W_s$  คือ น้ำหนักที่อบแห้ง, กก.



ภาพที่ 3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.2 สมบัติทางเคมี การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF)

3.3 สมบัติเชิงกล

1) กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของตัวอย่างทดสอบศิลาแลง ทำการทดสอบตามอ้างอิงมาตรฐาน BS1881-116 ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 10x10x10 ซม. จำนวน 9 ชุด ๆ ละ 3 ตัวอย่าง

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)

$P$  คือ น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

$A$  คือ พื้นที่รับแรง (ตร.ซม.)

2) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) หรือ โมดูลัสการแตกร้าว (R) ของตัวอย่างทดสอบศิลาแลง ทำการทดสอบตามอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 293 ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 10x10x20 ซม. จำนวน 9 ชุด ๆ ละ 3 ตัวอย่าง

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

เมื่อ  $R$  คือ กำลังรับแรงดัด หรือ โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)

$P$  คือ น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

$L$  คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กึ่งกลางแท่นรองรับ (ซม.)

$b$  คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (ซม.)

$d$  คือ ความสูงของตัวอย่างทดสอบ (ซม.)



กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)



กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)

ภาพที่ 4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

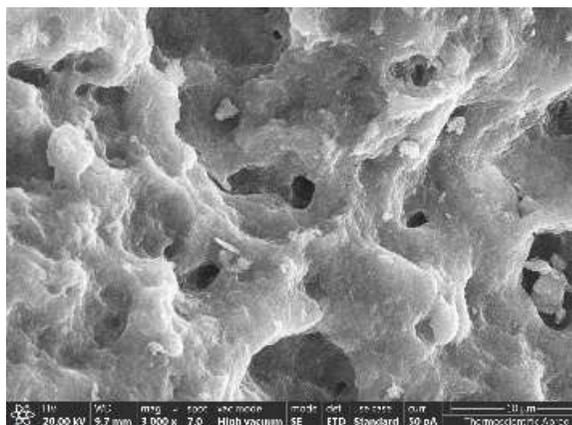
### ผลการวิจัย

#### สมบัติทางวิศวกรรมของศิลาแลงโบราณ และศิลาแลงปัจจุบัน

1. ลักษณะทั่วไปของศิลาแลงโบราณ เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธีการสังเกต พบว่า ศิลาแลงมีสีน้ำตาลอ่อน และมีรูพรุนปรากฏทั่วก้อน (Watsantachad, 2005) ซึ่งเป็นผลจากการใช้งานและการผุกร่อนตามสภาพอากาศ เมื่อทำการตรวจสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จะเห็นว่า ศิลาแลงโบราณมีลักษณะโครงสร้างเป็นของแข็งที่มีรูพรุนเชื่อมต่อกัน ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันมีลักษณะสีส้มแดงอย่างชัดเจน เมื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นว่าศิลาแลงมีลักษณะเนื้อแน่น และมีรูพรุนน้อยกว่าอย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 5-6



ภาพถ่ายลักษณะทั่วไป

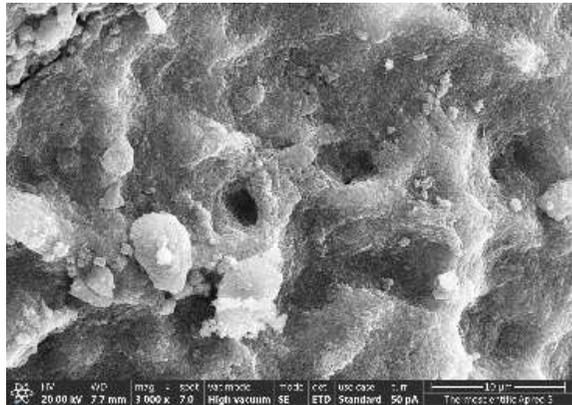


ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

ภาพที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของเศษศิลาแลงโบราณ



ภาพถ่ายลักษณะทั่วไป



ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

ภาพที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของเศษศิลาแลงปัจจุบัน

2. สมบัติทางเคมี การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างศิลาแลงโบราณ ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักของศิลาแลงโบราณ คือ Fe (44.63 %w/w), Si (36.52 %w/w), และ Al (10.97 %w/w) ตามลำดับ ในขณะที่ธาตุอื่นๆ มีค่าน้อยมาก (ไม่เกิน 3 %w/w) สอดคล้องกับ Watsantachad (2005) ที่ทำการศึกษาการศึกษาศิลาแลงที่ใช้ในสถาปัตยกรรมเขมรในประเทศไทย ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบัน พบ Fe (68.22 %w/w), Si (17.32 %w/w), และ Al (8.45 %w/w) ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

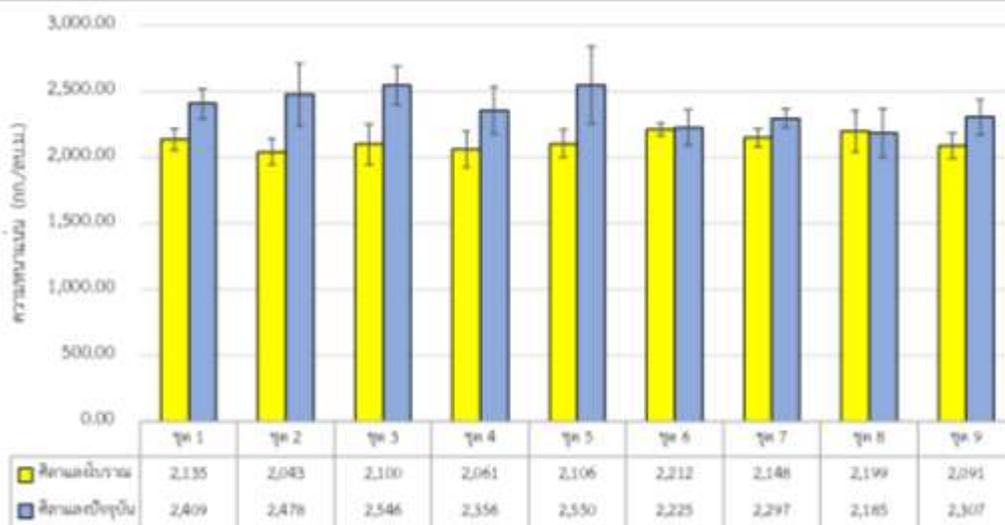
ตารางที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบันด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF)

ลำดับ	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ (% w/w)	
		ศิลาแลงโบราณ	ศิลาแลงปัจจุบัน
1	Al	10.9728	8.4504
2	Si	36.5223	17.3235
3	K	2.9520	1.1017
4	Ca	0.8374	3.2923
5	Ti	1.7926	0.9420
6	Mn	1.4586	0.2190
7	Fe	44.6275	68.2184
8	Rb	0.1186	-
9	Zr	0.3918	0.0973

ตารางที่ 1 (ต่อ)

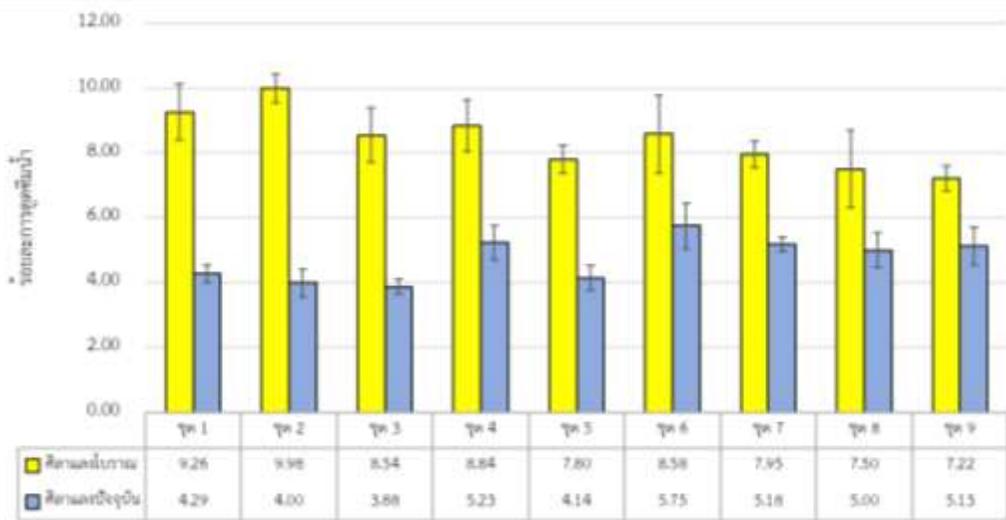
ลำดับ	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ (% w/w)	
		ศิลาแลงโบราณ	ศิลาแลงปัจจุบัน
10	Pb	0.3264	-
11	S	-	0.3553

3. ความหนาแน่น สามารถหาได้จากการนำศิลาแลงโบราณมาทำการชั่งน้ำหนัก และหาปริมาตรโดยการใช้วิธีการแทนที่ด้วยน้ำ เนื่องจากศิลาแลงโบราณมีขนาดที่ไม่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถหาปริมาตรด้วยวิธีการคำนวณได้ ซึ่งค่าความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณ อยู่ในช่วงระหว่าง 2,043 ถึง 2,212 กก./ลบ.ม. ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันมีค่าความหนาแน่น อยู่ในช่วงระหว่าง 2,185 ถึง 2,550 กก./ลบ.ม. ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 6



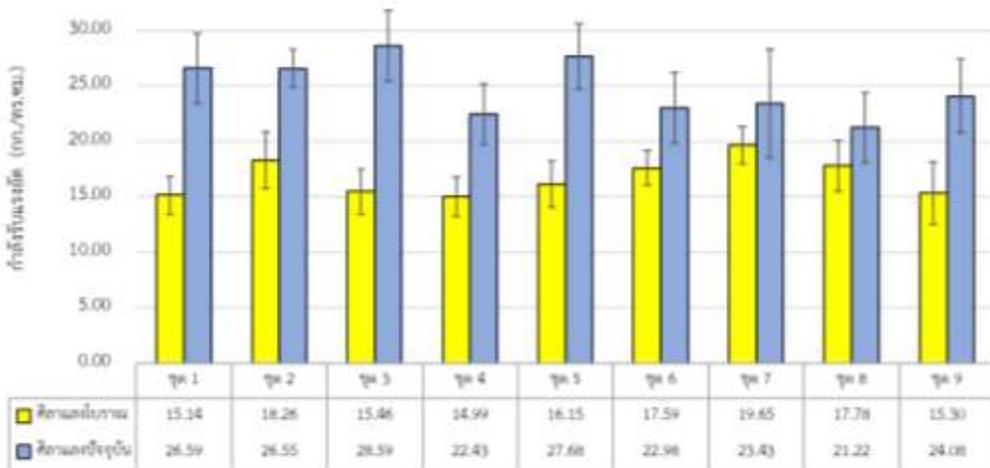
ภาพที่ 6 ความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบัน

4. ร้อยละการดูดซึมน้ำ สามารถหาได้จากการนำตัวอย่างทดสอบที่ได้มาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเปียก แล้วนำไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักหลังอบแห้ง แล้วทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (นท แสงเทียน และคณะ, 2548; วงศพัทธ์ พิบูลสุภประดิษฐ์, 2557) ซึ่งค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณ อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 7.22-9.98 ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 3.88-5.75 ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบัน

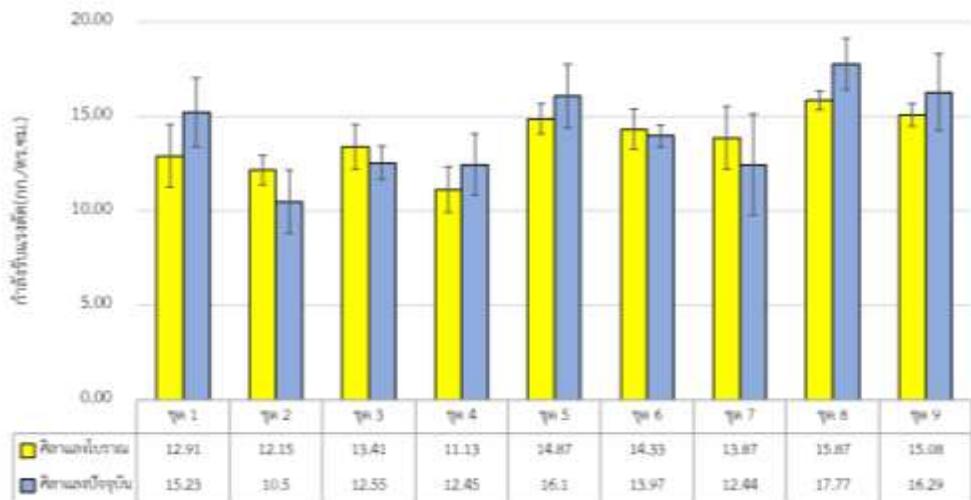
5. กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อ้างอิงการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน BS1881-116 (British Standards Institution, 1983) โดยนำตัวอย่างทดสอบไปทำการตัดแต่งให้ได้ขนาด 10 x 10 x 10 ซม. ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณ มีค่าอยู่ในช่วง 15.14-19.65 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันมีค่าอยู่ในช่วง 21.22-28.59 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบัน

6. กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) อ้างอิงการทดสอบกำลังรับแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C 293 (American Society for Testing and Materials, 2016) โดยนำตัวอย่างทดสอบไปทำการตัดแต่งให้ได้ขนาด 10 x 10 x 20 ซม. ซึ่งค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณในอุทยานประวัติศาสตร์

จังหวัดกำแพงเพชร มีค่าระหว่าง 11.13 -15.87 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบันมีค่าอยู่ในช่วง 10.50-17.77 กก./ตร.ซม. ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบัน

การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างศิลาแลงโบราณกับศิลาแลงปัจจุบัน

การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างศิลาแลงโบราณจากอดีตกับศิลาแลงปัจจุบัน ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธีการสังเกต พบว่า ศิลาแลงโบราณมีสีน้ำตาลอ่อน มีลักษณะรูพรุนทั้งก้อน ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบัน มีลักษณะสีส้มแดงอย่างชัดเจน และมีน้ำหนักที่มากกว่าศิลาแลงโบราณ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากปัจจัยด้านการใช้งานและการผุกร่อนตามสภาพอากาศที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างศิลาแลงโบราณ เมื่อทำการวิเคราะห์เจาะลึกถึงโครงสร้างภายในด้วยเทคนิค SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อดูลักษณะสัณฐานวิทยาของรูพรุน พบว่า ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของศิลาแลงโบราณ แสดงให้เห็นโครงสร้างที่เป็นของแข็งโดยมีลักษณะเด่นคือ รูพรุนที่มีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งลักษณะความต่อเนื่องของรูพรุนนี้มักส่งผลต่อสมบัติการระบายน้ำและความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ ในขณะที่ศิลาแลงปัจจุบัน แม้จะพบลักษณะโครงสร้างที่มีรูพรุนเช่นเดียวกัน แต่จากการวิเคราะห์ภาพ SEM พบว่ารูพรุนเหล่านั้น ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งส่งผลให้มีความหนาแน่นของเนื้อวัสดุที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณ

2. สมบัติเชิงเคมี ศิลาแลงทั้งสองชนิดประกอบด้วย Fe, Si, และ Al เป็นหลัก แต่ศิลาแลงปัจจุบันพบปริมาณ Fe สูงถึง 68.22 %w/w ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีมีความเข้มมากกว่า โดยธาตุเหล็กเหล่านี้จะสะสมตัวอยู่ในรูปของสารประกอบ  $Fe_2O_3$  (Red Hematite) ซึ่งเป็นแม่สีธรรมชาติที่มีสีแดงสนิม ส่งผลให้เนื้อศิลาแลงแสดงสีส้มแดงอย่างชัดเจน ในทางกลับกันศิลาแลงโบราณ มีปริมาณ Si สูงกว่า (36.52 %w/w) ซึ่ง Si มักอยู่ในรูปของซิลิกา ( $SiO_2$ ) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานต่อการสึกกร่อนให้กับศิลาแลง ในขณะที่ Al จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานโครงสร้างช่วยให้เนื้อศิลาแลงมีความเสถียร นอกจากนี้การ

วิเคราะห์เชิงลึกถึงภัยคุกคามที่แตกต่างกันของธาตุรอง โดยซิลิกาแลงโบราณพบธาตุ Rb (0.12 %w/w) และ Pb (0.33 %w/w) ขณะที่ซิลิกาแลงปัจจุบันพบธาตุ S (0.36 %w/w) ซึ่งความแตกต่างทางเคมีนี้สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางธรณีวิทยา และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในแต่ละยุคสมัย

### 3. สมบัติทางวิศวกรรม

การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของซิลิกาแลงโบราณกับซิลิกาแลงปัจจุบัน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของซิลิกาแลงโบราณกับซิลิกาแลงปัจจุบัน

ลำดับ	สมบัติทางวิศวกรรม	หน่วย	ซิลิกาแลงโบราณ		ซิลิกาแลงปัจจุบัน	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	ความหนาแน่น	กก./ลบ.ม.	2,122 (100%)	57.59	2,373 (112%)	132.88
2	การดูดซึมน้ำ	ร้อยละ	8.41 (100%)	0.88	4.73 (56%)	0.66
3	กำลังรับแรงอัด	กก./ตร.ซม.	16.70 (100%)	1.67	24.84 (149%)	2.58
4	กำลังรับแรงดัด	กก./ตร.ซม.	13.74 (100%)	1.50	14.14 (103%)	2.36

### อภิปรายผล

การเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของซิลิกาแลงโบราณและซิลิกาแลงปัจจุบัน พบว่า ซิลิกาแลงปัจจุบันมีสมบัติที่ดีกว่าในด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การรับแรงอัด และการรับแรงดัด โดยจากผลการทดสอบความหนาแน่น พบว่า ซิลิกาแลงปัจจุบันมีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่า (2,373 กก./ลบ.ม.) เมื่อเทียบกับซิลิกาแลงโบราณ (2,122 กก./ลบ.ม.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซิลิกาแลงปัจจุบันมีโครงสร้างที่แน่นและแข็งแรงกว่าซิลิกาแลงโบราณ การที่ซิลิกาแลงปัจจุบันมีความหนาแน่นสูงขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความทนทานของวัสดุในงานก่อสร้าง ทำให้สามารถรับแรงได้ดีขึ้นสอดคล้องกับ Iffat (2015) ว่า ความหนาแน่นเชื่อมโยงไปถึงความทนทาน โดยวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้มีความทนทานที่สูงขึ้น

นอกจากนี้ การทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า ซิลิกาแลงโบราณมีการดูดซึมน้ำสูงกว่าซิลิกาแลงปัจจุบัน (8.41 % เทียบกับ 4.73 %) สังเกตได้จากภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของซิลิกาแลงโบราณที่แสดงให้เห็นว่ามีรูพรุนปรากฏทั่วทั้งก้อน และมีลักษณะโครงสร้างเป็นของแข็งที่มีรูพรุนเชื่อมต่อกันจึงส่งผลให้วัสดุสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับวงศพัทธ์ พิบูลศุภประดิษฐ์ (2557); แสงสุรีย์ พังแดง และคณะ (2563) และ Sengün et al. (2015) ที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงบวกที่ชัดเจนระหว่างความพรุนกับค่าการดูดซึมน้ำ โดยวัสดุที่มีความพรุนสูงค่าการดูดซึมน้ำจะสูงขึ้นตามไปด้วย

ในด้านของกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด พบว่า ซิลิกาแลงปัจจุบันมีความสามารถในการรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดสูงกว่าเมื่อเทียบกับซิลิกาแลงโบราณซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความหนาแน่นข้างต้น

ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อค่ากำลังรับแรงอัดของศิลาแลง คือ ความหนาแน่นของวัสดุ โดยศิลาแลงที่มีความหนาแน่นสูง (โพรงน้อย) จะส่งผลให้ค่ารับกำลังแรงอัดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย (พูนวิทย์ ปู้ดป่วน และคณะ, 2565)

ดังนั้น ในงานบูรณะและเสริมความมั่นคงของโบราณสถาน การเลือกวัสดุซ่อมแซมโบราณสถานต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้กับวัสดุเดิม โดยเฉพาะสมบัติด้านความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ ซึ่งแม้ศิลาแลงปัจจุบันจะมีกำลังรับแรงอัดสูงแต่ก็ต้องระมัดระวังในการใช้งาน เนื่องจากความสามารถในการดูดซึมน้ำเป็นตัวบ่งชี้ความทนทานต่อการผุกร่อน ดังนั้น การบูรณะการมาตรการลดความชื้น เช่น การจัดการระบบระบายน้ำและการป้องกันความชื้นจากดิน จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการยืดอายุการใช้งานของโบราณสถาน

ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของศิลาแลงโบราณ เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการบูรณะโบราณสถาน หรือการพัฒนาวัสดุทดแทนต่อไป

ข้อเสนอแนะการวิจัยขั้นต่อไป

ในการวิจัยขั้นต่อไปควรศึกษาศิลาแลงโบราณจากแหล่งโบราณสถานอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ข้อมูลได้มีความสมบูรณ์และครบถ้วน

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและเศษตัวอย่างศิลาแลงโบราณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบ และสถานที่ทำการทดสอบตลอดระยะเวลาของการทำการวิจัย ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- ชวัลวิทย์ ภารสัด, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, กันตภณ จินทราคำ, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, ชัยณรงค์ อธิสกุล, และ สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์. (2566). สมบัติทางกลของอิฐโบราณ และกำลังรับแรงอัดของอิฐก่อเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานในเชียงใหม่. *ความท้าทายด้านวิศวกรรมโยธาหลังการระบอบการปกครองใหญ่*. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28. (น. MAT02-1-MAT02-8). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2214/1167>
- นท แสงเทียน, ภัทราวรรณ พันธุ์สุวรรณ, นครินทร์ สุกพันธุ์, และกิตติศักดิ์ ชันติวิชัย. (2548). ศิลาลงเทียม. *วารสารวิศวกรรมสาร มช.*, 32(4), 577-584. <https://www.thaiscience.info/journals/Article/KKEJ/10906185.pdf>
- วงศ์พัทธ์ พิบูลศุภประดิษฐ์. (2557). *หน่วยน้ำหนัก กำลังอัด และการดูดซึมน้ำของบล็อกศิลาแลงเทียมที่ใช้เศษศิลาแลงเป็นมวลรวมหยาบ* [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี]. iThesis มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/5608/2/fulltext.pdf>
- สุนัย โตศิริมงคล, พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์, และชัยณรงค์ อธิสกุล. (2563). สมบัติทางกลของอิฐทดแทนเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานของไทย. *วิศวกรรมโยธา กับโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. (น. MAT03-1- MAT03-10). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce25/article/download/199/30>
- สุรพัศ นิธิปฏิคม, สุนัย โตศิริมงคล, ชัยณรงค์ อธิสกุล, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์, และพีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย. (2564). กำลังอัด และค่าคงที่ยืดหยุ่นของอิฐก่อโบราณ และอิฐก่อทดแทนรูปแบบปริซึม. *วิศวกรรมโยธากับการพัฒนาอย่างไร้ขีดจำกัด*. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28. (น. MAT03-1- MAT03-10). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce26/article/download/933/408/10837>
- แสงสุรีย์ พังแดง, ดารุณี แก้วพิกุล, ธวัชชัย โทอินทร์, และศรารวณ ศาสวัตภิรมย์. (2563). สภาพความขึ้นต่อกำลังของหินศิลาแลงสำหรับการก่อสร้างที่ไม่ใช้วัสดุเชื่อมประสาน. *วิศวกรรมโยธา กับโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 (WRE35-1-WRE35-4). วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. <https://conference.thaince.org/index.php/ncce25/article/view/664/340>

พูนวิทย์ ปู้ดบัววน, เอกสิทธิ์ เทียนมาศ, และมาณพ ต้นเคน. (2565). สมบัติทางวิศวกรรมของศิลาแลง จังหวัด กำแพงเพชร. ใน ชมัชชา ตันตีสันติสม (บ.ก.), *บันทึกของพระราชินี พัฒนาชุมชนท้องถิ่น ก้าวไกล ด้วย งานวิจัยสร้างสรรค์*. การประชุมวิชาการระดับชาติสำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2 (หน้า 832-839). สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

<https://research.kpru.ac.th/research2/pages/filere/1648651360.pdf>

American Society for Testing and Materials (ASTMs). (2016). *ASTM C 293 Standard testing Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)*. United States.

British Standards Institution (BSI). (1983). *BS 1881-116: Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes*. BSI.

Iffat, S. (2015). Relation Between Density and Compressive Strength of Hardened Concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(11), 743-747.

<https://www.challengejournal.com/index.php/cjcr/article/view/197/156>

Şengün, N., Demirdağ, S., Akbay, D., Uğur, İ., and Altındağ, R. (2015). The effect of rock properties on the capillary water absorption coefficients of the different natural stone types. *EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium: Future development of rock mechanics* (pp. 571-576). [https://www.researchgate.net/publication/282852838\\_The\\_effect\\_of\\_rock\\_properties\\_on\\_the\\_capillary\\_water\\_absorption\\_coefficients\\_of\\_the\\_different\\_natural\\_stone\\_types](https://www.researchgate.net/publication/282852838_The_effect_of_rock_properties_on_the_capillary_water_absorption_coefficients_of_the_different_natural_stone_types)

Watsantachad, N. (2005). *A study of laterite used in Khmer architecture in Thailand* [Doctoral dissertation, The University of York]. <https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/14072/1/428413.pdf>