การศึกษาปูนหมักที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์โบราณวัตถุ

โดย
นางสาวศศิวิมล สุขสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาปูนหมักที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์โบราณวัตถุ

โดย
นางสาวศศิวิมล สุขสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

THE STUDY ON LIME PUTTY FOR THE CONSERVATION OF ANCIENT OBJECTS

By

MISS Sasiwimon SUKSAWAT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Arts (CONSERVATION OF FINE ART)

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาปูนหมักที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์โบราณวัตถุ
โดย	นางสาวศศิวิมล สุขสวัสดิ์
สาขาวิชา	อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชญ มุกดามณี)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ ชาตินิยม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(พิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ)

626020007 : อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ประติมากรรมเทพนม, ปูนปั้น, ปูนฉาบ, ปูนสอ

นางสาว ศศิวิมล สุขสวัสดิ์: การศึกษาปูนหมักที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์โบราณวัตถุ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

ประติมากรรมเทพนม วัดพระยาทำวรวิหาร เป็นประติมากรรมปูนปั้นประดับเครื่องถ้วยที่ทรงคุณค่า มีทั้งหมด 4 องค์ตั้งอยู่รอบส่วนบนของเจดีย์โบราณ สันนิษฐานว่าสร้างขึ้นช่วงปลายรัชกาลที่ 2 ถึง รัชกาลที่ 3 จากการสำรวจพบคราบตะไคร่ทั่วทั้งองค์ บริเวณลวดลายปูนปั้นถูกพอกทับและมีร่องรอยการแตกหัก งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะเก็บข้อมูลและประเมินความเสื่อมสภาพของประติมากรรมเทพนมประจำทิศตะวันตกเฉียงใต้ ศึกษาองค์ประกอบปูนปั้นประติมากรรมดั้งเดิม และหาองค์ประกอบที่เหมาะสมของปูนที่นำไปใช้ในการอนุรักษ์ประติมากรรมปูนปั้น เริ่มด้วยขั้นตอนการสำรวจและประเมินสภาพประติมากรรมปูนปั้น ขั้นตอนที่สองได้ทำการเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในประติมากรรมเทพนม เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะของพื้นผิวและองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค SEM-EDX พบว่า ตัวอย่างปูน T1-1, T1-2, T1-3 และ T-2 มีธาตุองค์ประกอบคล้ายคลึงกันคือมีธาตุ C, O, Mg, Al, Si, K และ Ca ยกเว้นตัวอย่างปูน T1-1 ที่พบธาตุ N, F และ Au ในขณะที่ตัวอย่างอิฐ T1-4 จะพบธาตุ O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti และ Fe นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction พบผลึกควอตร์ซ, Calcite และ Margarite ในตัวอย่างปูน T1-1 และ T1-2 ขั้นตอนที่สามทำการเตรียมปูนขาวโดยการเผาปูนหินหรือปูนเปลือกไข่ แล้วตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิค IR spectroscopy พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเผาให้นานขึ้นจะได้ CaO ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ขั้นตอนที่สี่ทำการเตรียมชิ้นงานเลียนแบบปูนโบราณทั้งหมด 15 ตัวอย่าง โดยเป็นปูนฉาบ 9 ตัวอย่าง ปูนตำ 2 ตัวอย่าง ปูนปั้น 2 ตัวอย่าง และปูนสอ 2 ตัวอย่าง ขั้นตอนที่ห้าได้ทำการแช่แผ่นปูนตัวอย่างในน้ำเกลือเข้มข้น 2 % เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่ 50°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำสลับกันเป็นเวลา 14 วัน พบว่าปูนฉาบสูตร 1 : 3 และสูตร 2 : 5 หลังผ่านการดูดเกลือแผ่นปูนหลุดร่อนออกจากอิฐ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปูนฉาบสูตรนี้ยึดเกาะกับตัวอิฐไม่แข็งแรงเมื่อเทียบกับสูตร 2 : 3 และพบว่าสูตร 2 : 3 เป็นสูตรที่มีการดูดซับเกลือได้ดี นอกจากนี้ปูนตำจากปูนเปลือกไข่จะมีความคงตัวเมื่อเจอน้ำน้อยกว่าปูนตำจากปูนหิน สำหรับปูนปั้นทั้ง 2 สูตรหลังจากแช่ในน้ำเกลือ จะพบอนุภาคของ NaCl กระจายตัวในเนื้อปูนคล้ายคลึงกัน และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการดูดซับเกลือบนแผ่นปูนด้วยวัสดุดูดซับ 7 ชนิดที่ทำจากเซลลูโลส พบว่า Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด) มีประสิทธิภาพในการดูดซับเกลือดีกว่าวัสดุดูดซับอื่น

626020007 : Major (CONSERVATION OF FINE ART)

Keyword : Thepphanom statue, Lime stucco, Lime plaster, Lime binder

MISS Sasiwimon SUKSAWAT : THE STUDY ON LIME PUTTY FOR THE CONSERVATION OF ANCIENT OBJECTS Thesis advisor : Associate Professor Radchada Buntem, Ph.D.

Four Thepphanom statues of Wat Phraya Tham Worawihan, lime sculptures decorated with invaluable ceramic wares, were situated on the upper part of ancient Jedi. They were presumably constructed in the reign of late King Rama II to early King Rama III. From quick survey, moss stain, plastering on the carved patterns and the breakage were found all over the statues. This research aims to perform data recording and deterioration assessment on a Thepphanom of the southwest location, study on the the composition of the original lime stucco, and trial experiment on the proper composition of lime putty for the restoration. The first step was the survey and condition assessment of the statue. The second was to do sampling on the lime and bricks of the statue and then analysis by SEM-EDX. Lime samples labelled T1-1, T1-2, T1-3 and T-2 contained similar types of elements (C, O, Mg, Al, Si, K, Ca). However, in sample T1-1, N (orginated from protein glue), F (probably from water) and Au (originated from the lacquered work) were also found. While elements like O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti and Fe were found in sample T1-4. While the XRD results of T1-1 and T1-2 indicated the presence of quartze, calcite and margarite. The third step was the preparation of lime by calcination of lime stone or egg shell. From IR spectroscopic results, it was indicated that the longer calcination time, the purer the lime (CaO) obtained. The fourth step was the preparation of 15 lime putty samples: 9 samples of lime plaster, 2 samples of lime coater, 2 samples of lime stucco and two samples of lime binder. The fifth step was salt adsorption. Each sample was firstly kept in 2% (w/v) NaCl solution for 12 hr and subsequently oven dried for 12 hr. This wet-dry process was repeated for 14 days. The lime plasters with the ratios 1:3 and 2:5 were detached from the brisk surface while the 2:3 plaster was strongly binded to the brisk surface and showed high salt adsorption. The lime coater from egg shell was less stable as compared with that from lime stone. While 2 lime stucco samples showed similar distribution of NaCl particles. The final step was the salt desorption using seven different cellulose adsorbents. The Hydrogel_Urea (corncob) gave the highest salt adsorption efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาปูนหมักที่เหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์โบราณวัตถุ” สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างมากของรองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ ชาตินิยม ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และ นางสาวพิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ นักอักษรศาสตร์ทรงคุณวุฒิ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณการให้ความสนับสนุนและความช่วยเหลือจากสถาบันและบุคคล ดังนี้

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

กองโบราณคดี กรมศิลปากร

นายพงษ์ศาสตร์ ปรียะพานิช กรรมการผู้จัดการบริษัท ปรียะกิจ จำกัด

นางสาวจันทร์จิตรา แวงแสน และนางสาวกมลวรรณ สามกองงาม

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามถึงเป็นอย่างสูง ที่คอยสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันให้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นางสาว ศศิวิมล สุขสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย 1

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 1

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย 2

1.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 3

บทที่ 2 4

ทบทวนวรรณกรรม 4

2.1 ประวัติและความสำคัญวัดพระยาทำวรวิหาร 4

2.2 ลักษณะรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเจดีย์ยักษ์ วัดพระยาทำวรวิหาร 10

2.3 ชนิดของปูนโบราณ 12

2.4 ปูนขาว (Lime) 14

2.5 กระบวนการหมักปูน 15

2.6 กระบวนการ carbonation ของปูนหมัก 16
2.7 รูปผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต 17
2.8 อิฐโบราณ 18
2.9 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาประติมากรรมปูนปั้นเทพนม 19
บทที่ 3 21
วิธีดำเนินการวิจัย 21
3.1 อุปกรณ์ 21
3.2 สารเคมี 21
3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ 21
3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 23
3.5 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในการประดับเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ 24
3.6 การเตรียมปูนขาว 27
3.7 การเตรียมชิ้นงานปูนโบราณ 27
3.8 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ 33
3.9 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน 34
บทที่ 4 35
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 35
4.1 ผลการเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 35
4.2 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในประติมากรรมเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ . 39
4.3 การเตรียมปูนขาว 48
4.5 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ 56
4.6 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน 65
บทที่ 5 69
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 69

5.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 69
5.2 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในประติมากรรมเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ . 69
5.3 การเตรียมปูนขาว 69
5.4 การเตรียมชิ้นงานปูนโบราณ 70
5.5 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ 70
5.6 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน 71
รายการอ้างอิง 73
ประวัติผู้เขียน 77

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 3

ตารางที่ 2 ชนิดการสั่นและความถี่ของ $Ca(OH)_2$ และ$CaCO_3$ (Thriveni et al., 2014) 20

ตารางที่ 3 แบบการบันทึกสภาพประติมากรรมปูนปั้นเทพนม 26

ตารางที่ 4 รายงานบันทึกสภาพประติมากรรมปูนปั้นเทพนม วัดพระยาทำ 35

ตารางที่ 5 ตัวอย่างปูนฉาบทั้งหมด 9 ตัวอย่าง 50

ตารางที่ 6 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนฉาบจากกล้อง portable digital microscope 51

ตารางที่ 7 ตัวอย่างปูนตำทั้งหมด 2 ตัวอย่าง 53

ตารางที่ 8 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนตำจากกล้อง portable digital microscope 53

ตารางที่ 9 ตัวอย่างปูนปั้นทั้งหมด 2 ตัวอย่าง 54

ตารางที่ 10 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนปั้นจากกล้อง portable digital microscope 54

ตารางที่ 11 ตัวอย่างปูนสอทั้งหมด 2 ตัวอย่าง 55

ตารางที่ 12 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนสอจากกล้อง portable digital microscope 55

ตารางที่ 13 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนจากกล้อง portable digital microscopec และภาพจาก Scanning Electron Microscope (SEM) หลังแช่ในสารละลายเกลือ NaCl 58

ตารางที่ 14 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนก่อน-หลังการดูดซับ NaCl จากกล้อง portable digital microscopec 66

ตารางที่ 15 ลักษณะเด่นที่พบของเนื้อปูนฉาบแต่ละสูตร 71

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ภาพวาดเจดีย์ยักษ์วัดนาคหรือวัดพระยาทำ เมื่อคราวที่นายจอห์น ครอเฟอร์ด เข้ามาสยามราว ค.ศ.1822(Crawfurd, 1987) 5

ภาพที่ 2 ภาพแม่พิมพ์ไม้ร่องลึกจากภาพถ่ายกระจกเปียกปรากฏในหนังสือ The English Governess at the Siamese Court โดยนางแอนนา เลียวโนเวนส์ หรือ Anna Herriette Leonowens พิมพ์ครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1870 (พ.ศ. 2413)(Leonowens, 1873) 7

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายเก่าเจดีย์วัดพระยาทำสันนิษฐานว่าเป็นต้นแบบกับภาพแม่พิมพ์ไม้ร่องลึกจากภาพถ่ายกระจกเปียกปรากฏในหนังสือของนางแอนนา เลียวโนเวนส์ (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร) 7

ภาพที่ 4 ภาพถ่ายเก่าพระสงฆ์ยืนถ่ายรูปอยู่ทางด้านเจดีย์วัดพระยาทำ โดยรูปแบบงานศิลปกรรมของหน้าบันที่ปรากฏมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายเก่าที่เชื่อว่าเป็นต้นแบบภาพที่ปรากฏในหนังสือของนางแอนนา เลียวโนเวนส์ (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร) 9

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายเก่าเจดีย์วัดพระยาทำวรวิหาร โดยปรากฏว่ารูปแบบสถาปัตยกรรมของอุโบสถนั้นมีสภาพต่างไปจากถ่ายเก่าอื่นๆ สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นภาพที่ถ่ายขึ้นก่อนที่จะบูรณะครั้งใหญ่ใน พ.ศ. 2498 (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร) 9

ภาพที่ 6 สภาพปัจจุบันเจดีย์ยักษ์ วัดพระยาทำวรวิหาร (a) ด้านทิศตะวันตก (b) ด้านทิศตะวันออก 10

ภาพที่ 7 ประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (a) และประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (b) หลังเกิดเหตุการณ์เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561 11

ภาพที่ 8 พบร่องรอยปูนปั้นดั้งเดิมบนประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (a)ที่ถูกปิดทับด้วยการประดับกระเบื้องในการบูรณะ พ.ศ. 2537 (b) 12

ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต 16

ภาพที่ 10 ผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในรูปแบบของ (a) Calcite, (b) Aragonite และ (c) Vaterite (Liendo et al., 2022) 17

ภาพที่ 11 (a) ดินเหนียวที่นำมาผสมแกลบข้าว (b) เครื่องผสมองค์ประกอบที่ใช้ในการทำอิฐ 18

ภาพที่ 12 (a) การตากอิฐกลางแดด (b) ขั้นตอนการนำอิฐแห้งมาเผาในเตาทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน 18

ภาพที่ 13 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่อง Scanning Electron Microscope(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2563) 19

ภาพที่ 14 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 22

ภาพที่ 15 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) 22

ภาพที่ 16 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) 22

ภาพที่ 17 ลวดลายปูนปั้นและการประดับกระเบื้องประติมากรรมเทพนมที่ถูกปิดทับ 23

ภาพที่ 18 ประติมากรรมเทพนมประดับกระเบื้องเซรามิค ที่ถูกบูรณะในปี พ.ศ.2538 23

ภาพที่ 19 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม 24

ภาพที่ 20 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนสอดั้งเดิมด้านหลังประติมากรรมเทพนม 25

ภาพที่ 21 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง 25

ภาพที่ 22 บริเวณเก็บตัวอย่างอิฐบริเวณด้านหลังประติมากรรมเทพนม 25

ภาพที่ 23 (a) ขั้นตอนทดสอบการดูดซับเกลือ (b) ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างปูนปั้นสีแดงบริเวณด้านหลังประติมากรรมเทพนม 26

ภาพที่ 24 ผงหินปูน (a) ก่อนเผา (b) หลังเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550ºC 27

ภาพที่ 25 ผงปูนไข่ (a) ก่อนเผา (b) หลังเผาที่อุณหภูมิ 550ºC เป็นเวลา 49 ชั่วโมง 27

ภาพที่ 26 (a) การเตรียมหมักปูนในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ปูนขาว 200 กรัม (b) น้ำสะอาด 400 มิลลิลิตร 28

ภาพที่ 27 (a) การผสมปูนขาวกับน้ำ (b) กวนผสมปูนให้เป็นเนื้อเดียวกัน 28

ภาพที่ 28 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนฉาบ 29

ภาพที่ 29 ขั้นตอนการเตรียมปูนตำ 30

ภาพที่ 30 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนปั้น 31

ภาพที่ 31 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนสอ 32

ภาพที่ 32 ขั้นตอนการแช่ปูนในน้ำเกลือ 33

ภาพที่ 33 ดูดซับเกลือบนแผ่นปูนตัวอย่างที่ 7 (A = Hydrogel (เซลลูโลส), B = Hydrogel (เปลือกข้าวโพด), C = Hydrogel (ไหมข้าวโพด))..... 34

ภาพที่ 34 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูนตัวอย่างที่ 4 (D = กระดาษสา, E = Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด), F = Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด), G = Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด))..... 34

ภาพที่ 35 การเก็บตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง(ตัวอย่างT1-1)39

ภาพที่ 36 การเก็บตัวอย่างปูนสอดั้งเดิมด้านหลังประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2)..... 39

ภาพที่ 37 การเก็บตัวอย่างปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)..... 40

ภาพที่ 38 ตัวอย่างเศษอิฐเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)..... 40

ภาพที่ 39 ตัวอย่างปูนปั้นบริเวณชายผ้าประติมากรรมเทพนมซึ่งมีร่องรอยทาสีแดง (ตัวอย่าง T2).. 40

ภาพที่ 40 (a) ภาพตัวอย่าง T1-1 ชิ้นส่วนปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง (b) ภาพ SEM ของปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีเส้นใยเป็นส่วนผสม..... 42

ภาพที่ 41 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง (ตัวอย่าง T1-1) 42

ภาพที่ 42 ตัวอย่างชิ้นส่วนปูนสอประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2) 43

ภาพที่ 43 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนสอประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2) 43

ภาพที่ 44 ตัวอย่างชิ้นส่วนปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)..... 44

ภาพที่ 45 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)..... 44

ภาพที่ 46 ตัวอย่างชิ้นส่วนอิฐประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)..... 45

ภาพที่ 47 ข้อมูล SEM-EDX ของอิฐประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)..... 45

ภาพที่ 48 ตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยสีแดง (ตัวอย่าง T2)..... 46

ภาพที่ 49 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนปั้นประติมากรรม..... 46

ภาพที่ 50 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง T1-1 ชิ้นส่วนปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง โดยเทคนิค X-ray diffraction ได้พบผลึกทรายในรูปของ Quartz และ Margarite และพบผลึกของ Calcite..... 47

ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง T1-2 ชิ้นส่วนปูนสอประติมากรรมเทพนมโดยเทคนิค X-ray diffraction ได้พบผลึกทรายในรูปของ Quartz และ Margarite นอกจากนั้นยังพบผลึกของ $CaCO_3$ ในรูปของ Calcite 47

ภาพที่ 52 IR spectrum ของปูนหิน (a) ก่อนเผา (b) หลังเผา 48

ภาพที่ 53 IR spectrum ของปูนไข่(a)ก่อนเผา(b)-(d) หลังเผาเป็นเวลา 14, 21 และ49 ชั่วโมง ตามลำดับ 48

ภาพที่ 54 ปูนหมักและการทดสอบสมบัติความเป็นด่าง 49

ภาพที่ 55 แผ่นปูนอบแห้ง 57

ภาพที่ 56 ผล EDX ของตัวอย่างปูนฉาบ (2:3 (ปูนหิน) บนพื้นอิฐ) 57

ภาพที่ 57 ตัวอย่างที่ 7 ก่อนแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย (กรอบสีแดง) และ Calcite (กรอบสีฟ้า) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Muscovite (●), Calcite (●), $Ca(OH)_2$ (●), Fe_2O_3 (●) 64

ภาพที่ 58 ตัวอย่างที่ 7 หลังแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย (กรอบสีแดง), Calcite (กรอบสีฟ้า) และอนุภาค NaCl (กรอบสีเขียว) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Muscovite (●), Calcite (●) 64

ภาพที่ 59 ตัวอย่างที่ 12 ปูนปั้น (อัตราส่วนในการวิจัย) ก่อนแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย และ $CaCO_3$ ในรูปของ Calcite และ Aragonite (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Calcite (●), aragonite (●), $Ca(OH)_2$ (●) 65

ภาพที่ 60 ตัวอย่างที่ 12 ปูนปั้น (อัตราส่วนในการวิจัย) หลังแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาค Calcite (กรอบสีฟ้า) และ Aragonite ซึ่งมีผลึกเป็นรูปคล้ายเข็ม (กรอบสีแดง) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Calcite (●), aragonite (●), $Ca(OH)_2$ (●), NaCl (○) 65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยมีการนำปูนมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ฉาบ และปั้น ตั้งแต่วัฒนธรรมทวารวดี (ประมาณพุทธศตวรรษที่ 11-16)(สุขกมล วงศ์สวรรค์, 2545) และได้พบหลักฐานเรื่อยมา ทั้งในอาณาจักรศรีวิชัย อาณาจักรสุโขทัย อาณาจักรอยุธยา (ประมาณพุทธศตวรรษที่ 19-24) เป็นต้น

ปูนหมัก (Lime Putty) เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในสถาปัตยกรรมไทยโบราณ ใช้ในการก่อสร้างโบราณสถานต่างๆ โดยนำปูนหมักไปผสมกับทราย ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสาน เรียกว่า ปูนสอ (Mortar) และเมื่อนำปูนหมักไปผสมกับทรายและเส้นใย เป็นวัสดุฉาบผิวเรียกว่า ปูนฉาบ (Plaster) นอกจากนี้ยังมีการนำปูนหมักไปผสมกับทราย เส้นใย และกาว นำไปปั้นเป็นลวดลายต่างๆ ใช้ในการประดับตกแต่งสถาปัตยกรรม เรียกว่า ปูนปั้น (Stucco)

ปัจจุบันพบว่ามีการศึกษาคุณสมบัติของปูนที่จะนำไปใช้ในการอนุรักษ์น้อยมาก และยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน บางกรณีพบว่ามีการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือซีเมนต์ขาวเข้าไปในเนื้อปูนในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อให้ปูนแข็งตัวได้เร็วขึ้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อทั้งงานสถาปัตยกรรมและประติมากรรมโบราณ ดังนั้นในงานศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นให้ได้ปูนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานอนุรักษ์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบปูนปั้นประติมากรรมดั้งเดิม

1.2.2 หาองค์ประกอบที่เหมาะสมของปูนที่นำไปใช้ในการอนุรักษ์ประติมากรรมปูนปั้น

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.3.1 ทราบองค์ประกอบและเทคนิคการทำปูนปั้นดั้งเดิมของประติมากรรมเทพนม

1.3.2 ได้ปูนที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์ประติมากรรมปูนปั้น โดยเป็นปูนที่มีความยืดหยุ่นและเข้ากันได้ดีกับปูนปั้นดั้งเดิม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาองค์ประกอบปูนปั้นดั้งเดิมของประติมากรรมเทพนม วัดพระยาทำวรวิหาร

1.4.2 ศึกษาปูนที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์ประติมากรรมเทพนม วัดพระยาทำวรวิหาร

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 สำรวจและประเมินสภาพประติมากรรมปูนปั้น

เนื่องจากลวดลายปูนปั้นดั้งเดิมนั้นถูกปิดทับเป็นเวลานาน ทำให้ลวดลายปูนปั้นส่วนใหญ่นั้นชำรุดเสียหาย โดยการเก็บข้อมูลก่อนการอนุรักษ์อย่างละเอียดนั้นจะช่วยในเรื่องของการประเมินสภาพพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างรวมไปถึงพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการทำการทดลองอนุรักษ์ปูนปั้นประติมากรรมนั้นด้วย

1.5.2 เก็บตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมดั้งเดิม

จากข้อมูลการศึกษาพบว่าประติมากรรมที่ประดับเจดีย์ วัดพระยาทำวรวิหาร ส่วนใหญ่ได้รับบูรณะในพ.ศ.2538 โดยการประดับกระเบื้องเซรามิคทับลงไปบนลวดลายเดิม ทำให้ต้องเก็บตัวอย่างปูนปั้นดั้งเดิมที่ถูกปิดทับมาทำการศึกษาเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ประติมากรรมต่อไป

1.5.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของปูนปั้นดั้งเดิม

ทำการศึกษาลักษณะองค์ประกอบของปูนปั้นทั้งหมด เช่น ขนาดเม็ดทราย หรือองค์ประกอบในปูนปั้น โดยนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ เช่น Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX), X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) เพื่อหาองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในปูนปั้น

1.5.4 เตรียมปูนปั้นที่ใช้ในการอนุรักษ์

การเตรียมปูนปั้นโดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ ร่วมกับข้อมูลปูนปั้นที่ช่างนิยมใช้ในปัจจุบัน เพื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติของปูนปั้นให้มีความเหมาะสมต่อการใช้ในงานอนุรักษ์มากขึ้น

1.5.5 ทำการอนุรักษ์ปูนปั้น

ในขั้นตอนนี้มีความจำเป็นจะต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญในการปั้นลวดลายประติมากรรมแต่ต้องทำการควบคุมทั้งวัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด เพื่อให้ถูกหลักการงานอนุรักษ์

1.5.6 เฝ้าติดตามผลการอนุรักษ์ปูนปั้น

เป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาข้อดีข้อเสียของปูนปั้นใหม่ที่นำมาทำการอนุรักษ์ประติมากรรม ว่ามีความเหมาะสมหรือสามารถเข้ากับปูนปั้นดังเดิมได้หรือไม่

1.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของระยะเวลาการศึกษา 12 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2565 และเสนอวิทยานิพนธ์ภายในเดือนมิถุนายน 2566

ตารางที่ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ช่วงเวลาการดำเนินงาน (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. สืบค้นข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. วางแผนการทดลองและเขียนโครงร่างการวิจัย												
3. ขออนุมัติหัวข้อวิทยานิพนธ์												
4. เก็บตัวอย่างปูนปั้นดั้งเดิม												
5. ศึกษาลักษณะโครงสร้างของปูนปั้นดั้งเดิม												
6. เตรียมตัวอย่างปูนปั้นที่ใช้ในการอนุรักษ์												
7. ทำการอนุรักษ์ปูนปั้นและเฝ้าติดตามผล												
8. รวมข้อมูลผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์												
9. สอบวิทยานิพนธ์												
10. แก้ไขวิทยานิพนธ์												
11. ส่งวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์												

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ประวัติและความสำคัญวัดพระยาทำวรวิหาร

วัดพระยาทำวรวิหาร เป็นพระอารามหลวงชั้นตรี ชนิดวรวิหาร เดิมชื่อ “วัดนาค” สันนิษฐานว่าสร้างขึ้นสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลาย (กรมการศาสนา, 2525) วัดพระยาทำหรือชื่อเดิมวัดนาคนั้นตั้งอยู่ริมคลองมอญฝั่งด้านทิศเหนือ โดยมีวัดกลาง ตั้งอยู่ฝั่งด้านทิศใต้ของคลองมอญ เมื่อวัดนาคได้เปลี่ยนชื่อเป็นวัดพระยาทำ วัดกลางจึงได้เปลี่ยนชื่อโดยรวมชื่อวัดกลางกับวัดนาค เป็นชื่อใหม่ว่า “วัดนาคกลาง” หลักฐานเอกสารทางประวัติศาสตร์สมัยกรุงธนบุรีได้กล่าวถึงวัดนาค เมื่อครั้งพระเจ้าตากสินมหาราชเสด็จไปปราบก๊กพระฝาง (เรือน) ที่ตั้งตัวเป็นใหญ่ในฝ่ายเหนือ ซึ่งหนึ่งในนั้นปรากฏชื่อ พระธรรมเจดีย์จากวัดนาคไปบวชพระสงฆ์ที่เมืองพิษณุโลก(วัดพระยาทำวรวิหาร, 2550) (นอกจากนี้ยังมีเนื้อหาเกี่ยวกับการยกข้ออธิกรณ์ปาราชิก พระราชาคณะสี่รูปประกอบด้วย พระพิมลธรรม วัดโพธาราม พระธรรมโคดม พระอภัยสารถ วัดหงส์ และพระพรหมมุนี วัดบางยี่เรือ จากการชำระความพบว่าทั้ง 4 รูป กระทำผิดจริง จึงให้สึกทั้งหมด และได้มีการแต่งตั้งพระธรรมเจดีย์วัดนาคเป็นพระพิมลธรรม ให้มาครองวัดโพธาราม(กองวรรณคดีและประวัติศาสตร์ กรมศิลปากร, 2535) จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าวัดพระยาทำ หรือ ชื่อเดิมว่า “วัดนาค” เป็นวัดที่มาตั้งแต่ในสมัยอยุธยาหรืออย่างน้อยก็ก่อนก่อตั้งกรุงธนบุรี ทั้งนี้ภายในวัดยังมีศิลปวัตถุ ธรรมาสน์ไม้ที่เป็นงานช่างฝีมือช่วงอยุธยาตอนปลาย(ประยูร อุลุชาฎะ, 2541)

ต่อมาในสมัยรัตนโกสินทร์ พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก รัชกาลที่ 1 ทรงแต่งตั้งให้พระนิกรมมุนี จากวัดหงส์ไปครองวัดนาค(ทิพากรวงศ์, 2503) ทั้งนี้เพราะเกิดเหตุการณ์จะให้รวมวัดนาคกับวัดกลางเข้าด้วยกัน(ราชบัณฑิตยสถาน, 2531) นอกจากนี้พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกทรงโปรดให้บูรณปฏิสังขรณ์พระอารามต่างๆ ทั้งในพระนครและหัวเมืองต่างๆ ไม่ปรากฏข้อมูลว่าโปรดให้บูรณะวัดนาคหรือวัดพระยาทำ แต่ จ.ศ. 1149 (พ.ศ. 2330)(สำนักนายกรัฐมนตรี, 2525) มีเนื้อหาเกี่ยวกับการเสด็จทอดกฐินหลวงตามพระอารามต่างๆ แบ่งเป็นวัน ตามความตอนหนึ่งว่า “วันพฤหัสบดี แรม 6 ค่ำ เดือน 11 วัดบางหว้าน้อย วัดทอง **วัดนาค** วัดกลาง” ต่อมาใน จ.ศ. 1163 (พ.ศ. 2344) มีเนื้อหาเกี่ยวกับการเกณฑ์เลือกตำรวจหรือทหารเพื่อคุ้มกันในการเสด็จพระราชดำเนินไปพระราชทานกฐิน “**วัดพระยาทำ**ที่ 1 ตำรวจในขวา 54 ตำรวจใหญ่ขวา 32 รวม 86 ทหารในซ้ายขวา 9 พล พันซ้าย 2 ขวา 1 รวม 3...” จะเห็นได้ว่าในหมายรับสั่งทั้ง 2 ฉบับ นี้ทำให้พอทราบ

ได้ว่าวัดนาคน่าจะมีการเปลี่ยนเป็นชื่อวัดพระยาทำในระหว่าง จ.ศ. 1149 – 1163 (พ.ศ. 2330 – 2344)(กองโบราณคดี กรมศิลปากร, ม.ป.ป.)

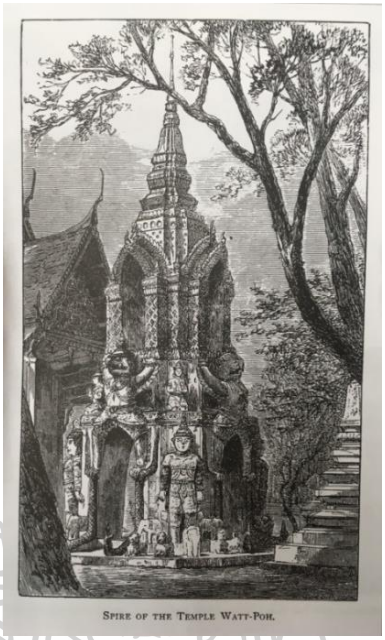
ข้อมูลหนังสือประวัติวัดพระยาทำ ได้กล่าวระบุ “วัดนาค” ได้เปลี่ยนชื่อเป็น “วัดพระยาทำ” ในสมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธเลิศหล้านภาลัย รัชกาลที่ 2 พระองค์โปรดเกล้าฯ ให้เจ้าพระยารัตนาธิเบศร์ (กุน) สมุหนายก รับเป็นธุระในการซ่อมและสร้างทับวัดเดิม และขนานนามวัดใหม่ว่า “วัดพระยาทำ” พร้อมกับถวายให้เป็นพระอารามหลวง(ราชบัณฑิตยสถาน, 2531) อย่างไรก็ตาม ในช่วงปลายรัชกาลราวปี ค.ศ. 1822 (พ.ศ. 2365) นายจอห์น ครอเฟอร์ด ทูตอังกฤษเข้าที่มาสยามเพื่อเจริญทางพระราชไมตรี ได้เที่ยวชมสถานที่ต่างๆ ทั้งฝั่งพระนครและฝั่งธนบุรี ซึ่งสันนิษฐานว่าคงได้เดินทางมาที่วัดพระยาทำ เพราะปรากฏหลักฐานภาพวาดเจดีย์ยักษ์วัดพระยาทำ ในคราวนั้นยังระบุชื่อเป็นวัดนาค ดังปรากฏในหนังสือ Journal of an Embassy to the Courts of Siam and Cochin China ที่จัดพิมพ์ในปี ค.ศ. 1967 (พ.ศ.2510)(Crawfurd, 1987) (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ภาพวาดเจดีย์ยักษ์วัดนาคหรือวัดพระยาทำ เมื่อคราวที่นายจอห์น ครอเฟอร์ด เข้ามาสยามราว ค.ศ.1822(Crawfurd, 1987)

ครั้นต่อมาในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 3 ราว พ.ศ. 2374 โปรดให้ดำเนินการปฏิสังขรณ์และฉลองพระอารามต่างๆ ทั้งในกรุงเทพฯและหัวเมือง ดังข้อความตอนหนึ่งที่ปรากฏในพระราชพงศาวดารกรุงรัตนโกสินทร์รัชกาลที่ 3 เล่ม 1 ของเจ้าพระยาทิพากรวงศ์ ความตอนหนึ่งว่า

> "...ในปีเถาะนั้น น้ำลดแล้ว โปรดเกล้าฯ ให้จัดการฉลองวัดราชโอรสาราม ซึ่งเป็นวัดเดิม และวัดพลับด้วยทรงผนวชอยู่วัดนั้น ให้ปฏิสังขรณ์แล้วชื่อวัดสิทธาราม วัดภคินีนาถชำรุดมากโปรดให้ปฏิสังขรณ์ขึ้นด้วย วัดท้ายตลาดเป็นที่ได้เสด็จอยู่แต่ยังทรงพระเยาว์โปรดให้บูรณะขึ้นชื่อวัดโมฬีโลก วัดอรุณราชวราราม 1 วัดระฆัง 1 **วัดพระยาทำ 1** วัดสุวรรณ 1 วัดสระเกศ 1 วัดเหล่านี้ทรงได้บูรณะ การก็ยังไม่สำเร็จ แต่โปรดให้ฉลองเสียครั้ง 1 ก่อน ณ วันอาทิตย์เดือน 2 ขึ้น 13 ค่ำ..."

รัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 โปรดให้บูรณปฏิสังขรณ์หรือเปลี่ยนนามวัดใหม่ทั้งในพระนครและหัวเมืองต่างๆ แต่ไม่ปรากฏข้อมูลว่าวัดพระยาทำได้รับการบูรณปฏิสังขรณ์ในช่วงเวลานี้ อย่างไรก็ตามในช่วงต้นรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 เจดีย์วัดพระยาทำได้ปรากฏในหนังสือ The English Govemess at the Siamese Court โดยนางแอนนา เลียวโนเวนส์ หรือ Anna Herriette Leonowens พิมพ์ครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1870 (พ.ศ. 2413)(Leonowens, 1873) แต่ในหนังสือดังกล่าวได้ระบุเป็นว่าเป็นที่วัดโพธิ์ (ภาพที่ 2) จากภาพที่ปรากฏในหนังสือเล่มนี้เหมือนกับภาพวาดในสมัยรัชกาลที่ 2 เมื่อครั้งที่นายจอห์น ครอเฟอร์ด เข้ามาในสยาม ภาพเจดีย์วัดโพธิ์ที่ปรากฏในหนังสือของนางแอนนา เลียวโนเวนส์ เป็นภาพแม่พิมพ์ไม้ร่องลึกจากภาพถ่ายกระจกเปียกซึ่งสันนิษฐานว่าภาพต้นฉบับนั้นถ่ายขึ้นในช่วงปลายรัชกาลที่ 4 โดยนายฟรานซิส จิต เป็นผู้ถ่ายภาพ นอกจากนี้ภาพในหนังสือของแอนนา เลียวโนเวนส์ ยังเป็นมุมเดียวตรงกันกับภาพถ่ายเก่าที่ปรากฏข้อมูลในสำนักหอจดหมายแห่งชาติ กรมศิลปากร อีกด้วย (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 ภาพแม่พิมพ์ไม้ร่องลึกจากภาพถ่ายกระจกเปียกปรากฏในหนังสือ The English Governess at the Siamese Court โดยนางแอนนา เลียวโนเวนส์ หรือ Anna Herriette Leonowens พิมพ์ครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1870 (พ.ศ. 2413)(Leonowens, 1873)

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายเก่าเจดีย์วัดพระยาทำสันนิษฐานว่าเป็นต้นแบบกับภาพแม่พิมพ์ไม้ร่องลึกจากภาพถ่ายกระจกเปียกปรากฏในหนังสือของนางแอนนา เลียวโนเวนส์ (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร)

สมัยรัชกาลที่ 5 เมื่อพระครูสุนทรากษรวิจิตร์ (แจ้ง) ดำรงตำแหน่งเจ้าอาวาสวัด ได้ปรากฏหลักฐานเอกสารกระทรวงธรรมการ ในช่วง ร.ศ. 126 – 129 (พ.ศ. 2450 – 2453) มีเนื้อหาข้อความกล่าวถึงบัญชีรายรับ – รายจ่ายของวัด โดยระบุว่าใน ร.ศ. 126 (พ.ศ. 2450) วัดได้ดำเนินการเก็บผลประโยชน์วัดพระยาทำที่ได้จากการเก็บค่าเช่าจอดเรือค้าขายบริเวณหน้าวัดและได้นำเงินมาจ้างคนมาดำเนินการถางหญ้าและต้นไม้ ใน ร.ศ. 126 – 127 (พ.ศ. 2450 – 2451) พระครูสุนทรากษรวิจิตร์ (แจ้ง) เจ้าอาวาสวัดพระยาทำกับพระนรินทราภรณ์ ซึ่งดำรงตำแหน่งเป็นมัคนายกวัด ได้จัดการซ่อมแซมกุฏิสงฆ์ ศาลาการเปรียญ และที่ต่างๆ ภายในวัด ในการนี้พระนรินทราภรณ์ได้บริจาคทุนทรัพย์ซ่อมแซมศาลาการเปรียญด้วย ร.ศ. 127 - 128 (พ.ศ. 2451 - 2452) ทางวัดพระยาทำได้ดำเนินการก่อถนน 1 สาย และสร้างสะพาน 1 สะพาน รวมถึงได้จ้างคนมาดำเนินการถางหญ้า และใน ร.ศ.129 (พ.ศ. 2453) ได้ดำเนินการปฏิสังขรณ์สถานที่ต่าง ๆ (สำนักหอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร, 2450)

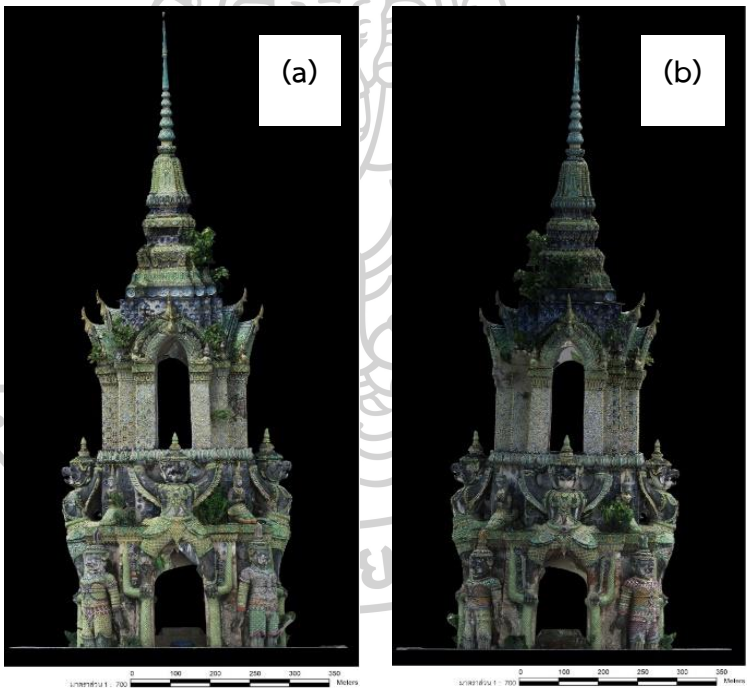
จากข้อมูลหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นว่าวัดพระยาทำวรวิหาร หรือแต่เดิมชื่อว่า “วัดนาค” นี้น่าจะสร้างขึ้นในสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลาย โดยมีหลักฐานที่กล่าวถึงชัดเจนในช่วงสมัยกรุงธนบุรี ทั้งนี้ในช่วงสมัยกรุงธนบุรีจนถึงต้นกรุงรัตนโกสินทร์ ปรากฏหลักฐานเป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าวัดพระยาทำหรือวัดนาคนี้เป็นวัดที่มีความสำคัญอยู่พอสมควรด้วยมีระดับพระเถระชั้นผู้ใหญ่ที่สำคัญในช่วงเวลานั้นจำพรรษาอยู่ นอกจากนี้เจดีย์วัดพระยาทำ คงเป็นสถานที่หนึ่งที่ชาวตะวันตกรับรู้มาตั้งแต่ในช่วงรัชกาลที่ 2 เพราะได้ปรากฏในภาพวาดบันทึกของนายจอห์น ครอเฟอร์ด หลังจากนั้นต่อมาก็คงมีชาวตะวันตกมาสถานที่แห่งนี้และได้นำไปเผยแพร่ต่อ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าเจดีย์ยักษ์วัดพระยาทำวรวิหารจึงเป็นโบราณสถานที่มีความสำคัญเพราะเปรียญเสมือนเป็นตัวแทนของภาพความทรงจำของชาวตะวันตกที่เข้ามาในสยามราวช่วงรัชกาลที่ 2 – 5 (ภาพที่ 4 และ5)

ภาพที่ 4 ภาพถ่ายเก่าพระสงฆ์ยืนถ่ายรูปอยู่ทางด้านเจดีย์วัดพระยาทำ โดยรูปแบบงานศิลปกรรมของหน้าบันที่ปรากฏมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายเก่าที่เชื่อว่าเป็นต้นแบบภาพที่ปรากฏในหนังสือของนางแอนนา เลียวโนเวนส์ (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร)

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายเก่าเจดีย์วัดพระยาทำวรวิหาร โดยปรากฏว่ารูปแบบสถาปัตยกรรมของอุโบสถนั้นมีสภาพต่างไปจากถ่ายเก่าอื่นๆ สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นภาพที่ถ่ายขึ้นก่อนที่จะบูรณะครั้งใหญ่ใน พ.ศ. 2498 (หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร)

2.2 ลักษณะรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเจดีย์ยักษ์ วัดพระยาทำวรวิหาร

เจดีย์ตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของอุโบสถ ปัจจุบันยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าสิ่งก่อสร้างนี้คือสถาปัตยกรรมประเภทใดและมีหน้าที่การใช้งานอย่างไร แต่ชุมชนบริเวณวัดพระยาทำมักจะเรียกสิ่งก่อสร้างนี้ว่า “เจดีย์ยักษ์” เพราะปรากฏรูปยักษ์ 4 ตน ยืนอยู่ที่บริเวณส่วนฐาน รวมถึงยังไม่ทราบแน่ชัดว่าสร้างขึ้นในสมัยใด ซึ่ง น. ณ ปากน้ำ สันนิษฐานว่าน่าจะสร้างขึ้นในรัชกาลที่ 3 หรือเป็นของเก่า แต่ได้รับการบูรณะในรัชกาลที่ 3 (ประยูร อุลุชาฎะ, 2540) นอกจากนี้ ข้อมูลของประวัติวัดระบุขนาดที่วัดได้โดยรอบ 10 วา สูง 12 วา 3 ศอก มีคำพูดคล้องจองกันว่า “ยักษ์สี่ตน คนดำดิน ครุฑจับนาคินทร์ คชสารครึ่งตัว”(ราชบัณฑิตยสถาน, 2531) ซึ่งเจดีย์นี้มีลักษณะโครงสร้างก่ออิฐ ถือปูน เรียงอิฐแบบ Flemish bond (กองโบราณคดี กรมศิลปากร) มีรูปทรงเป็นทรงปราสาทเครื่องยอด แบบปราสาทยอดเจดีย์(สมคิด จิระทัศนกุล, 2554) จากสภาพปัจจุบันพบว่าพื้นของเจดีย์มีการปูด้วยแผ่นหินอ่อน และมีกำแพงแก้วล้อมรอบ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 สภาพปัจจุบันเจดีย์ยักษ์ วัดพระยาทำวรวิหาร (a) ด้านทิศตะวันตก (b) ด้านทิศตะวันออก

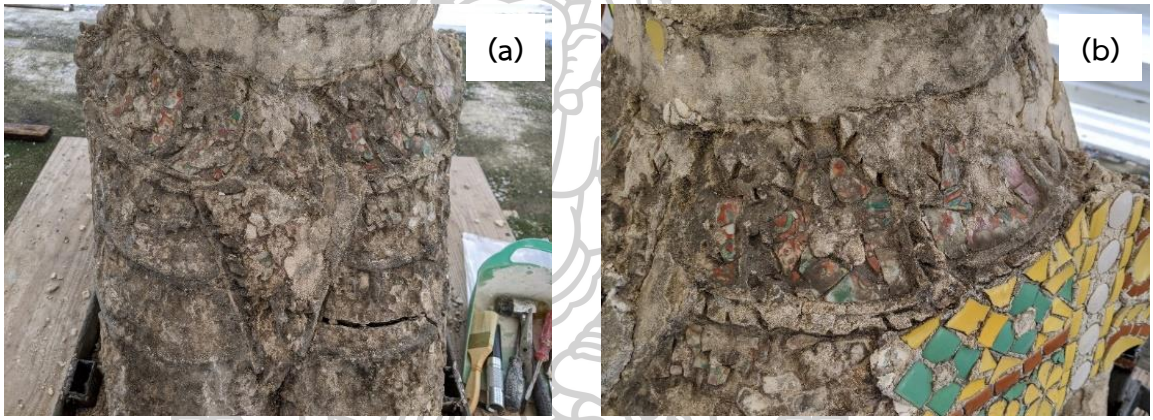
ส่วนฐาน ตั้งแต่ระดับพื้นที่ปูด้วยแผ่นหินแกรนิต (หน้าแข้งประติมากรรมรูปยักษ์) จรดชั้น 2 ซึ่งคือส่วนที่ครุฑแบกอยู่ (ส่วนก่อนถึงฐานบัวที่เป็นบัวแวง) จากภายนอกแสดงให้เห็นลักษณะของผังสี่เหลี่ยมย่อมุมไม้สิบสอง โดยทำเป็นหน้ากระดานสูง (ลักษณะคล้ายกับเรือนฐานชั้นล่าง) โดยปั้นเป็นรูป “ครุฑยุดนาค” อยู่ในลักษณะแบกรับตัวเรือนธาตุ (ส่วนที่เป็นเรือนธาตุคือบริเวณชั้น 2) โดยออกแบบให้อยู่ตรงกับซุ้มทางเข้าภายในทั้ง 4 ด้าน ซึ่งทำเป็นรูปโค้งแหลมคล้ายกลีบบัวที่ล้อตามแนว

การยืนของประติมากรรมครุฑพอดี ด้วยลักษณะของครุฑที่เป็นงานปูนปั้นประติมากรรมกึ่งลอยตัว มีเฉพาะตั้งแต่ส่วนเอวลงมาเท่านั้นที่ปั้นติดกับส่วนฐานเพื่อรองรับน้ำหนัก สิ่งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงเทคนิควิธีชั้นสูงของช่างในสมัยโบราณได้เป็นอย่างดี แต่จากสภาพปัจจุบันไม่ปรากฏบริเวณส่วนที่เป็นเศียรของนาค สันนิษฐานว่าคงจะถูกปูนพื้นทับ ทั้งนี้ บริเวณมุมที่มีการหยักมุมแต่ละจุดทั้ง 4 จุด จะประดับด้วยประติมากรรมรูปยักษ์จุดละ 1 ตน ที่แสดงอากัปกิริยายืนถือห่วงที่เปรียบเสมือนเฝ้ารักษาเจดีย์องค์นี้ไว้

เหนือจากประติมากรรมรูปยักษ์ทั้ง 4 ตน ปรากฏประติมากรรมรูปเทวดาในอากัปกิริยาพนมมือ ซึ่งเป็นงานประติมากรรมลอยตัวเช่นเดียวกับยักษ์ โดยประติมากรรมทั้งหมดมีการประดับตกแต่งด้วยกระเบื้องถ้วยที่เกิดจากการตัดขลิบเป็นรูปต่างๆ มีทั้งเครื่องถ้วยสีเดี่ยว เครื่องถ้วยลายครามและเครื่องถ้วยเบญจรงค์ ซึ่งการประดับตกแต่งด้วยการนำเครื่องถ้วยมาตัดขลิบแล้วใช้ปูนยึดติดไปบนสถาปัตยกรรมหรือประติมากรรมนี้เป็นรูปแบบที่นิยมมากในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้นช่วงรัชกาลที่ 2-3 เนื่องจากเป็นช่วงมีการติดต่อค้าขายกับชาวจีน นอกจากนี้บริเวณผนังด้านหลังประติมากรรมเทพนมยังประดับด้วยถ้วยกระเบื้องแบบเต็มใบด้วย (ภาพที่ 7)

ภาพที่ 7 ประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (a) และประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (b) หลังเกิดเหตุการณ์เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561

ข้อมูลการสำรวจในคราวที่มีการบูรณปฏิสังขรณ์ พ.ศ. 2537 (กองโบราณคดี, 2553) ประติมากรรมทุกองค์ได้รับการบูรณะใหม่ทั้งหมดโดยใช้เหล็กเส้นในการเสริมความมั่นคงและประดับตกแต่งด้วยเครื่องถ้วยสีต่างๆ ต่อมาเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561 ได้เกิดอุบัติเหตุขณะดำเนินงานบูรณะเรื่องโครงสร้างฐานรากของเจดีย์ ทำให้พบว่าการบูรณะใน พ.ศ. 2537 นั้นได้ทำการประดับทับลงไปบนลวดลายปูนปั้นเดิมของงานประติมากรรม (ดังภาพที่ 8) เห็นเด่นชัดได้จากประติมากรรมเทพนม ซึ่งจากการศึกษาอายุสมัยของเครื่องถ้วยที่ใช้ในการประดับพบว่าน่าจะอยู่ในช่วงรัชกาลที่ 2-3 นอกจากนี้บางบริเวณบนลวดลายปูนปั้นยังพบร่องรอยสีดำและสีทอง ซึ่งอาจจะเป็นร่องรอยของการลงรักปิดทองบนงานประติมากรรมอีกด้วย จากข้อมูลข้างต้นทำให้เกิดประเด็นในการศึกษาองค์ประกอบของปูนปั้นดั้งเดิมที่พบ เพื่อใช้ในการอนุรักษ์ประติมากรรมให้กลับคืนสู่สภาพดั้งเดิมที่สุด โดยยังคงรักษาคุณค่าทางประวัติศาสตร์สืบต่อไปในอนาคต



ภาพที่ 8 พบร่องรอยปูนปั้นดั้งเดิมบนประติมากรรมเทพนมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (a)ที่ถูกปิดทับด้วยการประดับกระเบื้องในการบูรณะ พ.ศ. 2537 (b)

2.3 ชนิดของปูนโบราณ

ปูนโบราณนั้นมีด้วยกันหลากหลายชนิด ซึ่งปูนส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ใช้สำหรับก่อสร้างอาคารโบราณสถานหรือประติมากรรมประเภทต่าง นอกจากนี้ปูนโบราณยังสามารถใช้ในการตกแต่งผิวภายนอกแทนการใช้สีในปัจจุบัน โดยสามารถแบ่งประเภทของปูนโบราณตามลักษณะการใช้งานได้ทั้งหมด 3 ประเภทดังต่อไปนี้

2.3.1 ปูนปั้น (Stucco)

ปูนปั้น เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการนำปูนหมัก ผสมกับทราย เส้นใยกระดาษและน้ำกาวประสาน ปูนปั้นที่มีชื่อเสียงในประเทศไทยคือปูนปั้นเมืองเพชรบุรี จากการศึกษาพบว่าปูนปั้นเพชรบุรีนั้นมีอัตราส่วนผสม ปูนหมัก 43% ทราย 22% เส้นใยกระดาษ 5% กาวหรือตัวประสาน 30% โดย

จะมีวิธีการผสมวัสดุต่างๆให้เข้ากันโดยการตำหรือโขลก บางครั้งช่างจึงเรียกปูนชนิดนี้ว่า “ปูนตำ” โดยปูนปั้นจะแข็งตัวเมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ หากปูนแข็งตัวเร็วเกินไปจะทำให้เกิดรอยร้าวบนพื้นผิวปูน ดังนั้นจึงมีการงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติปูนปั้นโดยการทดลองใส่ผงซิลิกาบดละเอียดผสมเข้าไปในปูนปั้น เพื่อให้ปูนมีคุณสมบัติด้านการต้านทานการหดตัว การรับกำลังที่สูงขึ้นและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากขึ้น(สุรชัย ทรัพย์เพิ่ม และสมสุข แขมคำ, 2558) โดยผงซิลิกาที่ใส่เข้าไปนั้นจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการด้านการยึดประสานที่ดี และเรียกวัสดุนี้ว่าวัสดุ ปอซโซลาน (Pozzolan)

2.3.2 ปูนสอ (Mortar)

ปูนสอหรือปูนก่อ คือปูนขาวที่ผสมกับทราย ใช้สำหรับเชื่อมประสานอิฐหรือหิน ที่ใช้ในการก่อสร้างผนังหรือพื้น ในบางที่จะมีการผสมกาวหนังสัตว์หรือหรือน้ำอ้อยลงไปด้วย เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการเชื่อมประสานนั้น

2.3.3 ปูนฉาบ (Plaster)

ปูนฉาบที่ใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถานเกิดจากส่วนผสมของปูนหมักและทรายตามอัตราส่วนของแต่ละชั้น อัตราส่วนผสมระหว่างปูนหมักกับทรายนั้น สามารถแบ่งออกได้ 2 อัตราส่วน ส่วนที่หนึ่งใช้ส่วนผสม 2 : 5 โดยปริมาตร เพื่อเป็นปูนฉาบ ส่วนปูนส่วนที่สอง สำหรับใช้ฉาบผิวนอกสุดนั้นต้องเพิ่มส่วนผสมคือกระดาษสาหรือกระดาษฟาง ตำให้เข้ากัน

ปูนฉาบชั้นใน เมื่อนำไปใช้มักจะมีการผสมกาวเข้าไปด้วย กาวที่ใช้คือกาวที่เคี่ยวด้วยหนังสัตว์ และบางครั้งอาจจะผสมด้วยหัวน้ำอ้อย การฉาบจะฉาบอย่างน้อย 3 ชั้น ปูนชั้นในและชั้นกลางใช้ส่วนผสมปูนต่อทราย คือ 2 : 5 โดยปริมาตร ส่วนชั้นนอกใช้ส่วนผสมที่ 1 : 3 โดยปริมาตร ความหนาของปูนฉาบแต่ละชั้นอยู่ระหว่าง 9-20 มิลลิเมตร มักจะมีการขัดให้พื้นผิวปูนหยาบเพื่อช่วยเรื่องการเกาะตัว ปูนฉาบจะหดตัวค่อนข้างมาก เพราะฉะนั้นจึงจะต้องใช้น้ำฉีดพรมเล็กน้อย เพื่อไม่ให้ปูนฉาบแห้งเร็วเกินไป

ปูนฉาบชั้นนอกสุด หรือที่เรียกว่า ปูนตำ เป็นปูนที่ผสมด้วยกระดาษและกาว โดยการใช้งานจะค่อยฉาบปูนที่ละพื้นที่ แล้วขัดด้วยเกรียงเหล็กขนาดเล็ก กดให้ปูนแนบกับผนังปูนฉาบชั้นนอกให้แน่น แล้วขัดผิวให้มันจนกระทั่งเสร็จทั่วผนัง ความหนาของผิวปูนตำเพียง 2-3 มิลลิเมตรเท่านั้น

2.4 ปูนขาว (Lime)

การแบ่งปูนขาวตามลักษณะการแข็งตัวได้ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) ปูนขาวที่แข็งตัวในอากาศ (Air Lime หรือ Non-Hydraulic Lime) ได้มาจากการนำหินซึ่งมีแคลเซียมคาร์บเนต (Calcium carbonate หรือ $CaCO_3$) เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น หินปูน หินอ่อน หินชอล์ก หรือเปลือกหอย โดยทั่วไปนำมาเผาด้วยอุณหภูมิ 925-1340 องศาเซลเซียส (Boynton, 1980) เพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป เมื่อเผาจะได้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เรียกกระบวนการนี้ว่า แคลซิเนชัน (Calcination) (Kirca, 2018) จะได้ปูนที่เรียกว่า ปูนสุก (Quicklime หรือ Calcium Oxide,CaO)(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549)

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

โดยปูนที่ได้นี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นได้เร็วมาก เมื่อนำก้อนปูนดิบไปพรมน้ำหรือฉีดน้ำใส่จะเกิดการแตกตัวเป็นผงปูนขาวไฮเดรต (Dry Hydrate) หรือเมื่อนำไปแช่น้ำจะกลายเป็นปูนหมัก [$Ca(OH)_2$] เรียกกระบวนการนี้ว่า ไฮเดรชัน (Hydration) หรือสเลกกิ้ง (Slaking) (Snow & Torney, 2014) ซึ่งเมื่อนำปูนดิบหรือผงปูนขาวไฮเดรตมาแช่ในน้ำจะได้ปูนหมัก (Lime Putty)

$$CaO(s) + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2(s)$$

การแบ่งปูนขาวตามองค์ประกอบทางเคมี สามารถแบ่งได้ดังนี้

(1) ปูนขาวแคลเซียมสูง (High-Calcium Lime) ซึ่งได้มาจากการเผาหินปูนที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 50 แต่มีแมกนีเซียมเคาร์บอเนตอยู่เพียงไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งก็คือปูนขาวทั่วไปที่ใช้ในการก่อสร้างแบบโบราณ

(2) ปูนขาวแมกนีเซียม (Magnesian Lime) ได้มาจากการเผาหินปูนแมกนีเซียน (Magnesian Limestone) ที่มีแมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 35

(3) ปูนขาวโดโลไมต์ (Dolomite Lime) ได้มาจากการเผาหินปูนโดโลไมต์ที่มีแมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 35 ถึงร้อยละ 46 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549) เมื่อนำไปเผาจะได้ควิกไลม์ (CaO) และเพริเคลส (Periclase) หรือแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันให้กลายเป็นบรูไซต์ (Brucite, $Mg(OH)_2$) นานกว่าการเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และบลูไซต์จะใช้เวลานานกว่ามากในการแข็งตัวเป็นแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ซึ่งสารประกอบที่คงเหลือในปูนไดโลไมต์นี้ มีโอกาสจะทำปฏิกิริยากับฝนกรดทำให้เกิดสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตได้ง่าย(Boynton, 1980) ดังนั้น

โดยหลักการแล้วจึงไม่ควรนำปูนโดโลไมต์มาใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถาน เพราะเกลือซัลเฟตเป็นอันตรายต่อวัสดุโบราณที่มีรูพรุน เช่น อิฐและหิน

(4) ปูนขาวยิปซัม (Selenitic Lime) ซึ่งได้มาจากการเพิ่มแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4.2H_2O$) ประมาณร้อยละ 5 ลงในส่วนผสมของปูนขาว หรืออาจเป็นการเติมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงไปในเตาเผาปูน เติมกรดซัลฟุริกลงไปในน้ำที่หมักแช่ปูน หรือเติมยิปซั่มลงไปในปูนขาวไฮดรอลิก เพื่อทำให้ปูนขาวแข็งตัวได้เร็วขึ้นและแข็งแรงขึ้น แต่เนื่องจากมีซัลเฟตเป็นส่วนประกอบอยู่จึงไม่เหมาะจะนำไปใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถานเช่นเดียวกับปูนไดโลไมต์

2.5 กระบวนการหมักปูน

กระบวนการหมักปูน คือ การนำปูนขาวที่ได้จากการเผาหินปูน มาหมักในน้ำสะอาดอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยระหว่างการหมักปูนนั้นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอ

ขั้นตอนแรกในการหมักปูนคือการนำหินปูนเผาสุก ที่มีก้อนขนาดใหญ่มาเคาะออกเป็นก้อนเล็กๆหรือทำการบดให้เรียบร้อย เพื่อเป็นการลดความรุนแรงจากปฏิกิริยาการแตกตัวของปูนในน้ำ โดยบ่อหมักปูนควรสร้างด้วยวัสดุที่แข็งแรง ในการหมักปูนนั้นจำเป็นจะต้องใส่น้ำไว้ในบ่อหมักก่อนแล้วค่อยๆใส่ก้อนปูนลงไปในน้ำที่เตรียมไว้ เมื่อใส่ปูนลงไปในบ่อน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า การเกิดไฮเดรชันของปูนขาว มีสมการทางเคมี คือ $CaO(s) + H_2O \text{ ----> } Ca(OH)_2(s)$ ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาให้กวนปูนจนกว่าปฏิกิริยาจะหยุด หลังจากนั้นร่อนหรือกรองปูนที่ได้ลงในบ่อน้ำอีกครั้ง เพื่อกรองเอาสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออก เช่น ก้อนปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยาแล้ว ทำการหมักปูนทิ้งไว้อย่างน้อย ๒ สัปดาห์ แต่เพื่อให้ได้ปูนคุณภาพดีควรหมักทิ้งไว้อย่างน้อย ๒ เดือนขึ้นไป ในระหว่างการหมักควรมีการถ่ายน้ำปูนอย่างสม่ำเสมอ น้ำปูนที่ทำการถ่ายทิ้งสามารถนำไปสลัดใส่ผนังปูนฉาบได้เพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน

ข้อมูลการศึกษาวิจัยพบว่าการทำให้ปูนหมักมีคุณภาพที่ดีนั้นมีด้วยกันหลายปัจจัย จากการศึกษาของ Rodriguez-Nevarro และคณะ (1998) ได้ทำการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา (Morphology) ขนาดผลึกของปูนหมักใหม่และปูนที่มีการหมักเป็นระยะเวลานานแล้ว โดยใช้เทคนิคต่างๆในการวิเคราะห์ โดยมีการเตรียมแคลเซียมออกไซด์ (ตัวอย่าง A) และปูนเผาสุกที่เตรียมแบบดั้งเดิมจากกัวเตมาลา (ตัวอย่าง B) มาใช้ในการหมักปูน โดยทั้ง 2 ตัวอย่างนั้นได้ใช้อัตราส่วนระหว่างปูนขาวเผาสุขและน้ำ 1 ต่อ 3 อุณหภูมิแรกเริ่มอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่าง A นั้นหมักเป็นระยะเวลา 2 เดือน และตัวอย่าง B หมักเป็นระยะเวลา 14 เดือน และได้ใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มาทำการวิเคราะห์พบว่า ผลึกของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะเป็นปริซึมหกเหลี่ยม เมื่อทำการหมักปูนเป็นระยะนานปริซึมหกเหลี่ยมแท่งยาวจะมีการสึกกร่อนและมีการแตกตัวออกเป็นผลึกแบนมากขึ้นและใน

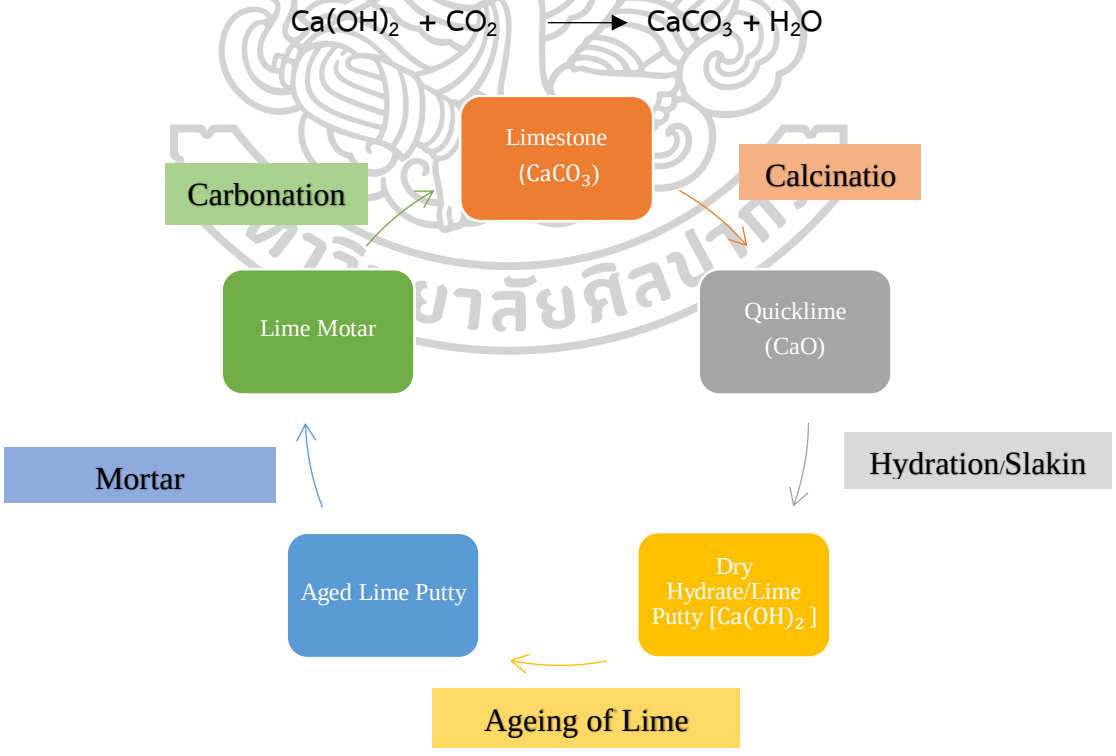
ขณะเดียวกันก็ได้พบนิวเคลียสในผลึกเหล่านั้นด้วย นอกจากนี้การศึกษายังพบว่าพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นในปูนแปรผันตรงกับระยะเวลาการหมักที่นานขึ้น (Rodriguez-Navarro, Hansen, & Ginell, 1998)

การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับน้ำที่ดีซึ่งน่าจะส่งผลต่อความเป็นพลาสติกที่เพิ่มขึ้นของเนื้อปูนหมักและด้วยขนาดอนุภาคที่เล็กลงทำให้สามารถยึดเกาะพื้นผิวจำเพาะได้สูงขึ้น จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปูนที่หมักเป็นระยะเวลานานเป็นปูนที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าปูนหมักด้วยระยะเวลาน้อย

การกวนปูน (Agitation) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลในเชิงบวกต่อการหมักปูน เพราะการกวน/ปั่นปูนขณะค่อยๆเทปูนลงในน้ำนั้นจะช่วยลดอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้นและยังเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคปูนขาวด้วย โดยจากการวิจัยของ Dornap พบว่ายิ่งทำการกวนปูนในความเร็วที่สูงจะทำให้ได้เนื้อปูนหมักที่มากขึ้น (Boynton, 1980)

2.6 กระบวนการ carbonation ของปูนหมัก

เมื่อปูนหมักถูกนำไปใช้งาน น้ำที่เป็นส่วนประกอบจะระเหยออกและปูนหมักจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ในอากาศ ส่งผลให้ปูนหมักแข็งตัวกลับไปเป็นหินปูนอีกครั้ง โดยกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการคาร์บอเนชัน (Carbonation) (ดังภาพที่ 9)



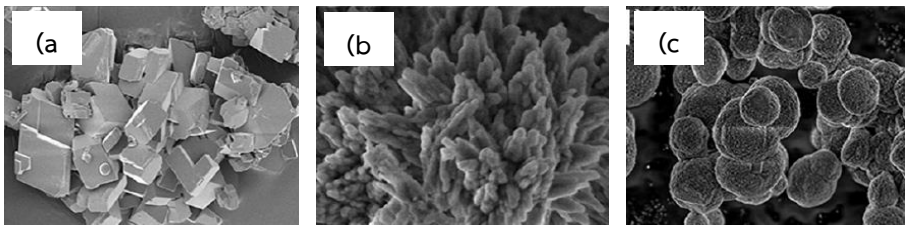
ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต

การศึกษาของนักวิจัยหลายท่านพบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนกลับไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตได้ดี ก็ต่อเมื่อปูนสอที่ใช้นั้นมีความพรุนและดูดซับน้ำได้ดี การที่ปูนสอมีรูพรุนมากจะยิ่งทำให้การแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์ดีไปด้วย โดยการแพร่กระจายนี้ไม่ควรมากกว่า 25 มิลลิเมตร และในบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์100% ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 25-95% อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตได้เร็วขึ้นด้วย(Van Balen & Van Gemert, 1994)

การเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตจะเพิ่มน้ำหนักประมาณ 35% และปริมาตรประมาณ 11.8% โดยการเปลี่ยนนั้นจะเริ่มบริเวณรอบนอกเข้าไปสู่แกนกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อตัวของแคลไซต์จะทำให้เกิดการระเหยของน้ำและในที่สุดกระบวนการคาร์บอเนชั่นจะหยุดลงในพื้นที่รอบนอกแล้วจะไปเกิดต่อในพื้นที่ด้านในที่มีน้ำเพียงพอ(Moorehead, 1986) จากการวิจัยของ Cazalla และคณะ พบว่าปูนหมักที่ใช้เวลาหมักน้อยจะทำให้การกลับไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตใช้เวลานานยิ่งขึ้นและยังส่งผลให้ปูนนั้นเกิดรอยแตกร้าวง่ายยิ่งขึ้น(Cazalla, Rodriguez-Navarro, Sebastian, Cultrone, & De la Torre, 2000)

2.7 รูปผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในธรรมชาติสามารถพบในรูปแบบของหินปูน หินอ่อน และหินชอล์ก (Chalk) ซึ่งเกิดจากการทับถมของเปลือกหอยและปะการัง โดย $CaCO_3$ นั้นมีรูปผลึกที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ Calcite, Aragonite และ Vaterite ดังรายละเอียดรูปร่างผลึกในภาพที่ 10 การเปลี่ยนรูปผลึกของ $CaCO_3$ จะเกิดขึ้นดังนี้ เริ่มแรก Amorphous Calcium Carbonate จะเปลี่ยนรูปไปเป็น Calcite และ Vaterite หลังจากนั้น Vaterite จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น Calcite ซึ่งเป็นรูปแบบผลึกที่มีความเสถียรมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามรูปผลึก Aragonite และ Vaterite สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ pH ระดับความอิ่มตัวและความเข้มข้นของสารที่เติมลงไป (additive concentration) (Liendo, Arduino, Deorsola, & Bensaid, 2022) โดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 40ºC และมีการเติมแมกนีเซียมไอออนลงไป พบว่าจะมีการเกิดรูปผลึกแบบ Aragonite (Jones, 2017)



ภาพที่ 10 ผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในรูปแบบของ (a) Calcite, (b) Aragonite และ (c) Vaterite (Liendo et al., 2022)

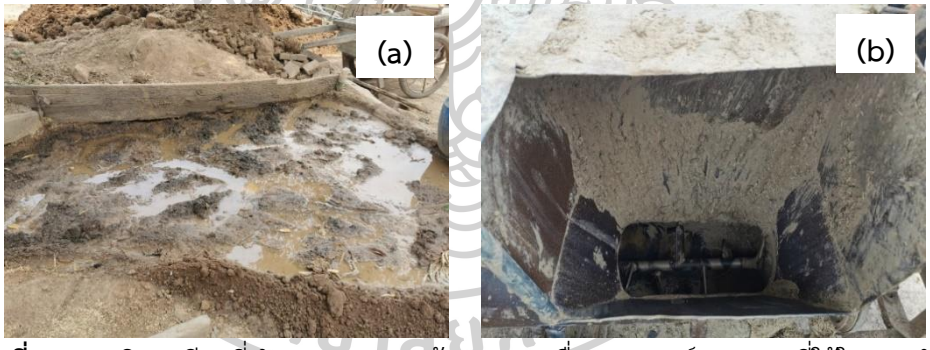
2.8 อิฐโบราณ

อิฐเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างอาคารสถาปัตยกรรมตั้งแต่สมัยอดีตและมีการใช้งานมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยอิฐโบราณสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. อิฐโบราณเผาแกลบ มีผิวสัมผัสค่อนข้างหยาบ ไม่เรียบเนียน มีการผสมแกลบลงไปในดินเหนียว และโรยขี้เถ้าไปบนอิฐ ทำให้อิฐชนิดนี้มีรูพรุนและความแข็งแรงน้อยเมื่อเทียบกับชนิดอื่น

2. อิฐโบราณเผาฟืน เป็นอิฐที่มีผิวเรียบ เนื้ออิฐหนาแน่นและแข็งแกร่งกว่าอิฐเผาแกลบ เนื่องจากใช้ดินเหนียวผสมทรายละเอียด แล้วเผาด้วยไม้ฟืนทำให้อิฐชนิดนี้ถูกเผาในอุณหภูมิที่มากกว่าอิฐเผาแกลบ

โดยการผลิตอิฐโบราณมีวิธีการและขั้นตอนการผลิต คือ นำดินเหนียวผสมแกลบหรือทรายละเอียด (ดังภาพที่ 10) มาปั้นขึ้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแม่พิมพ์ตามขนาดที่ต้องการ หลังจากนั้นนำอิฐที่ขึ้นรูปไปตากแดด โดยพื้นที่ตากอิฐจำเป็นต้องโรยขี้เถ้า เพื่อไม่ให้อิฐติดกับพื้นดิน แล้วโรยขี้เถ้าบนอิฐอีกครั้งเพื่อป้องกันอิฐติดกัน(ดังภาพที่ 11a) หลังจากนั้นทิ้งตากแดดไว้จนอิฐแห้งเป็นก้อน จึงเริ่มนำมาแต่งรูปร่างอีกครั้งเพื่อเก็บรายละเอียดให้สวยงาม นำอิฐแห้งมาเผาในเตาเป็นระยะเวลา 7 วัน (ดังภาพที่ 11b) เมื่อครบกำหนดเวลาแล้ว ต้องรอให้เตาเผาเย็น แล้วจึงนำอิฐที่เผาเสร็จสมบูรณ์ออกจากเตา (ดังภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 (a) ดินเหนียวที่นำมาผสมแกลบข้าว (b) เครื่องผสมองค์ประกอบที่ใช้ในการทำอิฐ

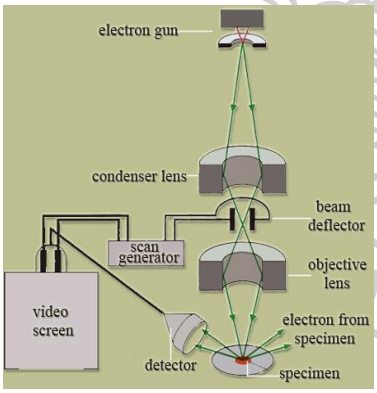
ภาพที่ 12 (a) การตากอิฐกลางแดด (b) ขั้นตอนการนำอิฐแห้งมาเผาในเตาทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน

2.9 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาประติมากรรมปูนปั้นเทพนม

2.9.1 เทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

เทคนิค Scanning Electron Microscopy เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ส่องกราดบนผิวตัวอย่าง ใช้สำหรับขยายขนาดภาพชิ้นตัวอย่างให้มองเห็นโครงสร้างและรายละเอียดพื้นผิวภายนอกของชิ้นตัวอย่างได้ถึงแสนเท่า ซึ่งภาพที่ได้เป็นลักษณะสามมิติและมีความลึก ปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่ช่วยในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในชิ้นตัวอย่าง

หลักการทำงานของเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนให้กับระบบ อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลายเป็นลำอิเล็กตรอน โดยสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ ถ้าต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) แล้วกราดลงไปบนผิวตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น สัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอกนิกส์ แล้วนำไปสร้างเป็นภาพที่เรียกว่า “SEM image (ภาพ SEM)”(ดังภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่อง Scanning Electron Microscope(สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2563)

เมื่อกราดลำอิเล็กตรอนไปยังผิวตัวอย่าง นอกจากจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิแล้วยังเกิดอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electron) ซึ่งจะให้ผลออกมาเป็นภาพที่เรียกว่า “back-scattered electron (BSE) image” ซึ่งจะให้ข้อมูลเป็นตำแหน่งของอะตอมธาตุที่มีมวลอะตอมแตกต่างกัน โดยธาตุที่มีมวลอะตอมมากกว่าจะเห็นเป็นจุดสว่างมากกว่าธาตุที่มีมวลอะตอมน้อยกว่า นอกจากเกิดอิเล็กตรอนกระเจิงกลับแล้วยังเกิด “characteristic X-ray (รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นจำเพาะ)” ซึ่งได้จากกระบวนการต่อไปนี้

1. ลำอิเล็กตรอนที่กราดไปบนผิวตัวอย่างไปทำให้อิเล็กตรอนวงในของธาตุหลุด
2. อิเล็กตรอนในระดับพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่พร้อมกับคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นจำเพาะสำหรับธาตุแต่ละชนิด
3. วัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่ได้และรายงานออกมาเป็นชนิดและปริมาณของธาตุ

โดยเทคนิคการศึกษาพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นจำเพาะ แล้วแปรผลออกมาเป็นชนิดและปริมาณของธาตุนี้จะเรียกว่า Energy Dispersive X-ray ซึ่งมักจะเชื่อมต่อ detector หรือหัววัดกับ Scanning Electron Microscope

2.9.2 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สารประกอบที่มีโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน จะให้รูปแบบการเลี้ยวเบน หรือ diffraction pattern แตกต่างกัน โดยเราสามารถเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบน ของสารประกอบที่ศึกษากับฐานข้อมูลที่ได้มีการรวบรวมรูปแบบการเลี้ยวเบนของสารต่างๆ ไว้ ซึ่งจะทำให้เราทราบชนิดของสารประกอบที่เราศึกษาได้

2.9.2 เทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เทคนิคนี้สารตัวอย่างจะดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรด แสงในช่วงความยาวคลื่นนี้จะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนในพันธะต่างๆ ให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น ระดับพลังงานเหล่านี้เรียกว่า “vibrational state” โดยอิเล็กตรอนในพันธะที่แตกต่างกัน จะถูกกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดที่มีพลังงานแตกต่างกัน จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะทำให้ทราบชนิดของหมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดจะพล็อตระหว่าง % transmittance เทียบกับ wavenumber (cm^{-1}) ดังนั้นจากตำแหน่งของความถี่ของแสงอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในสารนั้นได้ มีการศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT- IR spectroscopy ในการศึกษาสารประกอบที่เกี่ยวกับปูน (ดังข้อมูลในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ชนิดการสั่นและความถี่ของ $Ca(OH)_2$ และ$CaCO_3$ (Thriveni et al., 2014)

ความถี่ (cm^{-1})	ชนิดของการสั่น
877	การงอของพันธะ C—O (CO_3) ของ $CaCO_3$
1410-1490	การสั่นของพันธะ C—O (CO_3) ของ $CaCO_3$
3642	การยืดของพันธะ O-H ของ $Ca(OH)_2$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจสภาพและเก็บข้อมูล เก็บตัวอย่างปูนสอ ปูนปั้นและเซรามิคบริเวณเทพนมทิศตะวันตกเฉียงใต้ เพื่อทำการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ศึกษาการหมักปูน และการศึกษาปูนชนิดต่างๆตามกรรมวิธีโบราณโดยฉาบปูนตัวอย่างลงบนอิฐ เพื่อทำการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ เก็บข้อมูลลักษณะส่วนผสมเพื่อการอนุรักษ์ประติมากรรมเทพนมในอนาคต ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยโดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์

1. กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล
2. แบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพประติมกรรม
3. สมุดบันทึกข้อมูลและเครื่องเขียน
4. สายวัด
5. ถุงมือยาง
6. หน้ากากกันฝุ่นขนาดเล็ก (N 95)
7. แว่นขยาย
8. สำลีและสำลีพันก้าน
9. มีดผ่าตัด
10. ถุงพลาสติกซสำหรับเก็บตัวอย่าง
11. ปากคีบ
12. ปีกเกอร์ (Beaker)
13. ขาตั้ง (Stand)
14. ครกหินและสาก
15. เครื่องชั่ง (Balance)
16. ช้อนตักสารและไม้พาย (Spatula)
17. ที่ร่อนแป้งขนาดเล็ก
18. แผ่นอิฐขนาดเล็ก
19. ถาดและกะละมัง
20. ตู้อบความร้อน MEMMERT รุ่น UN110
21. กระดาษสา

3.2 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
2. ปูนหิน ($CaCO_3$)
3. เปลือกไข่ (มีองค์ประกอบหลักเป็น $CaCO_3$)
4. แผ่นเจลดูดซับเกลือ

3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

3.3.1 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ยี่ห้อ EDAX คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (ภาพที่ 14)

ภาพที่ 14 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

3.3.2 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ Malvern Panalytical Aeris XRD คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (ภาพที่ 15)

ภาพที่ 15 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

3.3.3 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (ภาพที่ 16)

ภาพที่ 16 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR)

3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

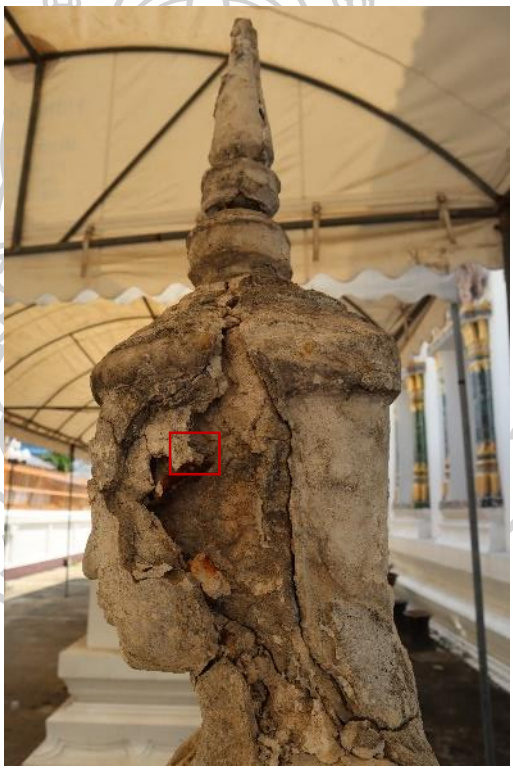
การศึกษาประวัติการบูรณประติมากรรมเทพนมข้างต้น พบว่าลวดลายปูนปั้นดั้งเดิม (ดังภาพที่ 17) นั้นถูกปิดทับด้วยเซรามิคที่ทำการบูรณะในปี 2538 (ดังภาพที่ 18) ทำให้ลวดลายปูนปั้นส่วนใหญ่นั้นชำรุดเสียหาย โดยการเก็บข้อมูลก่อนการอนุรักษ์อย่างละเอียดนั้นจะช่วยในเรื่องของการประเมินสภาพและปัญหาที่เกิดกับประติมากรรมเทพนม ซึ่งจะนำไปสู่การเลือกใช้วัสดุในการบูรณะที่เหมาะสมต่อประติมากรรม

ภาพที่ 17 ลวดลายปูนปั้นและการประดับกระเบื้องประติมากรรมเทพนมที่ถูกปิดทับ

ภาพที่ 18 ประติมากรรมเทพนมประดับกระเบื้องเซรามิค ที่ถูกบูรณะในปี พ.ศ.2538

3.5 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในการประดับเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2561 ได้เกิดอุบัติเหตุขณะดำเนินงานบูรณะโครงสร้างฐานรากของเจดีย์ ทำให้ประติมากรรมเทพนมได้รับความเสียหายอย่างหนัก บริเวณเศียรแตกหักจนเห็นแกนเหล็กด้านในทำให้ทราบว่าเศียรที่เห็นปัจจุบันไม่ใช่เศียรดั้งเดิม โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างปูนปั้นบริเวณเศียรด้านซ้าย (ดังภาพที่ 19) และเนื่องจากมีการตัดยกประติมากรรมเทพนมออกจากองค์เจดีย์ ทำให้สันนิษฐานได้ว่าปูนสอบริเวณด้านหลังเป็นปูนสอดั้งเดิม จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งปูนสอ (ดังภาพที่ 20) และอิฐ (ดังภาพที่ 21) บริเวณดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ นอกจากนี้ได้พบลวดลายปูนปั้นที่มีร่องรอยสีดำและสีทอง ซึ่งอาจจะเป็นร่องรอยของการลงรักปิดทองบนงานประติมากรรมอีกด้วย (ดังภาพที่ 22) ทั้งนี้ได้มีการทดสอบการดูดซับเกลือ(ดังภาพที่ 23a) และเก็บตัวอย่างปูนปั้นที่มีร่องรอยสีแดง(ดังภาพที่ 23b) บริเวณประติมากรรมเทพนมด้วย

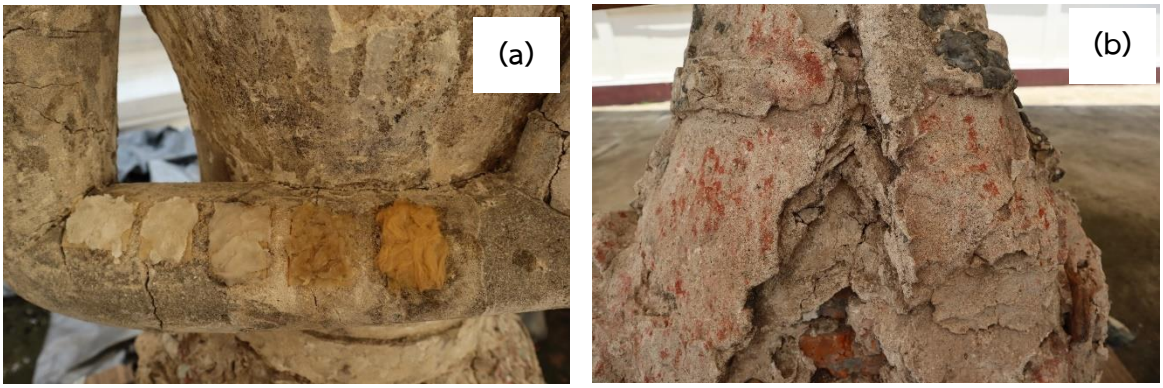


ภาพที่ 19 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม

ภาพที่ 20 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนสอดั้งเดิมด้านหลังประติมากรรมเทพนม

ภาพที่ 21 บริเวณเก็บตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง

ภาพที่ 22 บริเวณเก็บตัวอย่างอิฐบริเวณด้านหลังประติมากรรมเทพนม



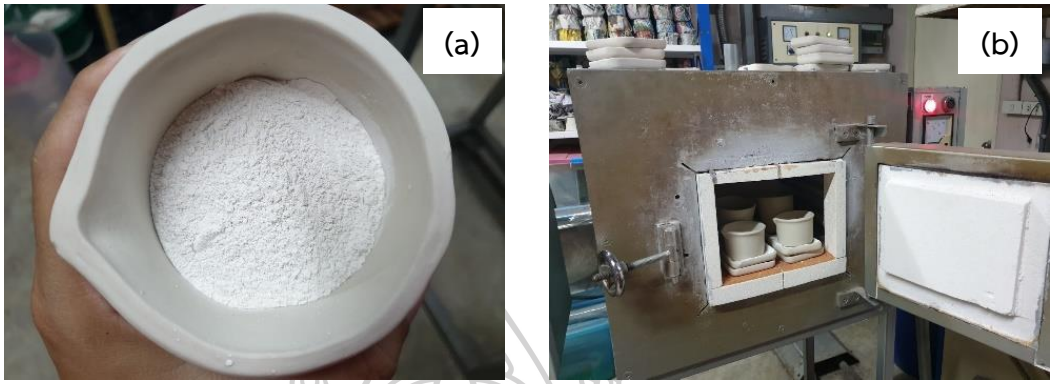
ภาพที่ 23 (a) ขั้นตอนทดสอบการดูดซับเกลือ (b) ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างปูนปั้นสีแดงบริเวณด้านหลังประติมากรรมเทพนม

ตารางที่ 3 แบบการบันทึกสภาพประติมากรรมปูนปั้นเทพนม

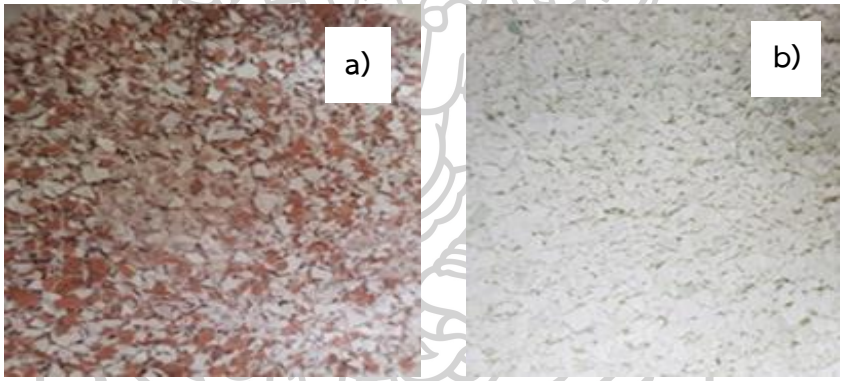
ข้อมูลทั่วไป			
ชื่อวัตถุ			
ที่ตั้ง/สถานที่จัดเก็บ			
อายุสมัย			
ขนาด			
รายละเอียดของประติมากรรมเทพนม			
วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของประติมากรรม			
รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ			
ข้อสังเกตและข้อแนะนำเพิ่มเติม(ถ้ามี)			
วันที่สำรวจ		**ผู้สำรวจ**	

3.6 การเตรียมปูนขาว

นำปูนหินหรือปูนไข่มาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C ถึง 850 °C (ดังภาพที่ 24 และ25) และตรวจสอบว่าเกิดเป็นปูนขาว (CaO) อย่างสมบูรณ์ด้วยเทคนิค IR spectroscopy



ภาพที่ 24 ผงหินปูน (a) ก่อนเผา (b) หลังเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C



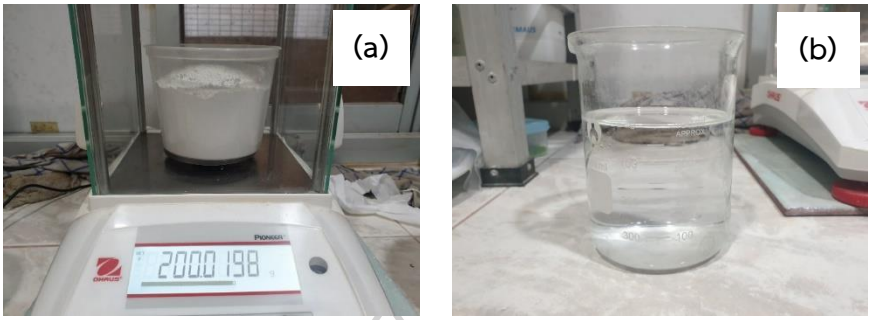
ภาพที่ 25 ผงปูนไข่ (a) ก่อนเผา (b) หลังเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 49 ชั่วโมง

3.7 การเตรียมชิ้นงานปูนโบราณ

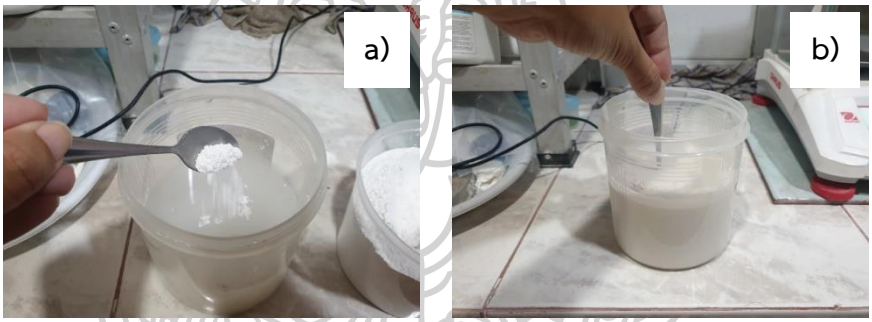
3.7.1 การหมักปูน

การหมักปูนในการวิจัยครั้งนี้ ได้มีการหมักในสูตรที่แตกต่างกันเพื่อจะได้ปูนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเหมาะสมต่อการนำไปซ่อมแซมอนุรักษ์ประติมากรรมเทพพนม โดยมีวิธีการและขั้นตอนการหมักปูน คือ เติมน้ำสะอาด ลงไปในกล่องพลาสติก ในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก คือ ปูนขาว 200 กรัม น้ำสะอาด 400 มิลลิลิตร (ภาพที่ 26) และ ในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนักคือ ปูนขาว 200 กรัม น้ำสะอาด 600 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำปูนขาว หรือ Calcium oxide (CaO) ไปร่อนในตะแกรงร่อนทราย ก่อนที่จะนำไปผสมกับน้ำที่เตรียมไว้ ซึ่งต้องคอยคนผสมปูนเป็นระยะ ๆ (ภาพที่ 27) ทิ้งปูนหมักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนครบกำหนดเวลาจึงนำน้ำปูนหมักครั้งแรกออกมาเก็บไว้ใช้งาน สำหรับนำไปทาบริเวณพื้นที่ต้องการฉาบปูน เพื่อให้เกิดการประสานตัวที่ดีขึ้น หลังจาก

นั้นทำการถ่ายน้ำใหม่ พร้อมกับใช้ช้อนค่อยๆคน ให้ทั่วเป็นเวลา 10 นาที โดยทำตามขั้นตอนที่ 3 ทุกวันเป็นระยะเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นทำการถ่ายน้ำทุกๆ 7 วัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 2 เดือนก่อนนำไปใช้



ภาพที่ 26 (a) การเตรียมหมักปูนในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก ปูนขาว 200 กรัม (b) น้ำสะอาด 400 มิลลิลิตร



ภาพที่ 27 (a) การผสมปูนขาวกับน้ำ (b) กวนผสมปูนให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.7.2 การเตรียมตัวอย่างปูนฉาบ

ทำปูนฉาบทั้งหมด 3 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทรายดังนี้ 1:3, 2:5 และ 2:3 โดยที่อัตราส่วน 1:3 และ 2:5 เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร สำหรับสูตร 2:3 นั้นปรับขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการผสมและการฉาบมีดังนี้ นำปูนหมักและทรายมาชั่งให้ได้ตามอัตราส่วนข้างต้น หลังจากนั้นกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ต่อมานำปูนที่ได้ไปฉาบลงบนอิฐที่ผ่านการแช่น้ำหรือฉีดน้ำปูนมาแล้ว ซึ่งน้ำปูนขาวดังกล่าวเปรียบเสมือนน้ำยาประสานระหว่างอิฐและปูนฉาบ โดยค่อย ๆ ฉาบปูนเป็นชั้นบาง ๆ ให้ได้ตามความหนาที่ต้องการ หลังจากนั้นใช้เกรียงขนาดเล็กค่อย ๆ ขัดวนปูนฉาบให้มีผิวเรียบเนียนและเสมอกัน ขั้นตอนสุดท้ายให้ใช้ฟองน้ำเปียกทำการขัดวนบนพื้นผิวปูนอีกรอบเพื่อให้ปูนฉาบเกาะติดกับอิฐได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นทิ้งปูนฉาบให้แห้งเพื่อศึกษาการกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตของปูนฉาบแต่ละอัตราส่วน (ภาพที่ 28)

สำหรับปูนหมักที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากปูนไข่ นอกจากนี้ยังมีการใช้แผ่นปูนซีเมนต์แทนแผ่นอิฐ จะได้ตัวอย่างทั้งหมดดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 อัตราส่วน 1:3 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 2 อัตราส่วน 1:3 (ปูนไข่) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 3 อัตราส่วน 1:3 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นปูนซีเมนต์

ตัวอย่างที่ 4 อัตราส่วน 2:5 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 5 อัตราส่วน 2:5 (ปูนไข่) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 6 อัตราส่วน 2:5 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นปูนซีเมนต์

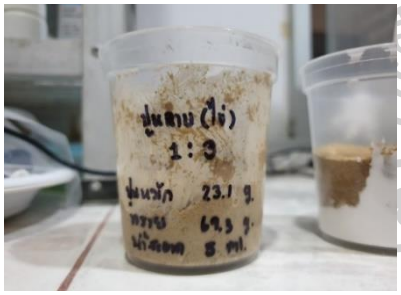
ตัวอย่างที่ 7 อัตราส่วน 2:3 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 8 อัตราส่วน 2:3 (ปูนไข่) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 9 อัตราส่วน 2:3 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นปูนซีเมนต์

ชั่งปูนหมักตามอัตราส่วน

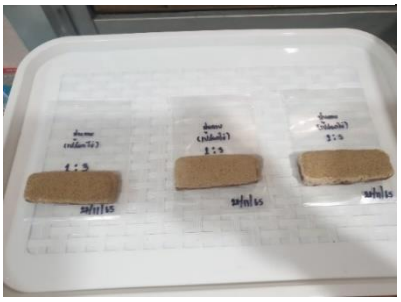
ชั่งทรายตามอัตราส่วน



ผสมปูนหมักและทรายตามอัตราส่วน

ผสมปูนหมักและทรายให้เข้าด้วยกัน

นำอิฐไปแช่น้ำก่อนฉาบปูนแต่ละอัตราส่วน



ฉาบปูนแต่ละอัตราส่วน

ภาพที่ 28 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนฉาบ

3.7.3 การเตรียมตัวอย่างปูนตำ

ปูนตำที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากปูนไข่ เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากช่างปูนกรมศิลปากร

โดยขั้นตอนการทำปูนตำ(ภาพที่ 29) มีดังนี้ นำปูนหมักไปอบแห้งให้พอหมาด (ยังมีความชื้นอยู่ในเนื้อปูน) หลังจากนั้นนำปูนหมัก 1.5 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ไปตำกับกระดาษสาแช่น้ำ (บิดหมาด) 1 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ตำให้เข้ากันจนกลายเป็นเนื้อเดียว วัตถุดิบที่ได้จะเรียกว่า “ปูนกระดาษ” หลังจากนั้นนำปูนกระดาษที่ได้ 1 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ไปผสมกับปูนหมักอีก 2.5 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ตำส่วนผสมทั้ง 2 ชนิดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียว ต่อมานำปูนที่ได้ไปฉาบลงบนอิฐที่ฉาบปูนไว้เรียบร้อยแล้ว โดยค่อย ๆ ขัดปูนเป็นชั้นบาง ๆ ให้ได้ตามความหนาที่ต้องการ หลังจากนั้นใช้เกรียงขนาดเล็กค่อย ๆ ขัดวนปูนฉาบให้มีผิวเรียบเนียน ปูนตำมีตัวอย่างทั้งหมดดังนี้

ตัวอย่างที่ 10 ปูนตำ (เปลือกไข่) ฉาบบนแผ่นอิฐ

ตัวอย่างที่ 11 ปูนตำ (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ

กระดาษสาแช่น้ำ (บิดหมาด)

ปูนหมักที่อบแห้งพอหมาด

ปูนกระดาษ

ปูนตำ

ภาพที่ 29 ขั้นตอนการเตรียมปูนตำ

3.7.4 การเตรียมตัวอย่างปูนปั้น

การทำปูนปั้นมีขั้นตอนการทำดังนี้ นำปูนหมักไปตากแห้งให้น้ำหมาด หลังจากนั้นผสมกับกระดาษสาแช่น้ำ ในอัตราส่วน 1.5:1 ตำให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำปูนที่ได้ 2 ส่วน ไปผสมกับทรายละเอียด 1 ส่วน พร้อมด้วยน้ำกาวที่เคี่ยวจากหนังสัตว์ และน้ำอ้อย ตำส่วนผสมทั้งหมดให้ละเอียดจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำปูนที่ได้มาปั้นเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 30) สำหรับปูนปั้นที่ใช้มีแหล่งที่มาจากปูนหินชนิดเดียว โดยปูนปั้นมีตัวอย่างทั้งหมดดังนี้

ตัวอย่างที่ 12 ปูนปั้น (ตามอัตราส่วนวิจัย)

ตัวอย่างที่ 13 ปูนปั้น (ตามอัตราส่วนของช่างกรมศิลปากร)

ตำปูนหมักกับเยื่อกระดาษ (ปูนกระดาษ)

ผสมทรายละเอียด

ผสมน้ำกาว (กาวหนังสัตว์และน้ำอ้อย)

ตำส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน

ภาพที่ 30 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนปั้น

3.7.5 การเตรียมตัวอย่างปูนสอ

การวิจัยในครั้งนี้ทำปูนสอทั้งหมด 2 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย 1:1และ 1:1.5 เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร

โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำปูนหมักและทรายมาชั่งให้ได้ตามอัตราส่วนข้างต้น หลังจากนั้นกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำปูนที่ได้ฉาบลงบนอิฐที่ผ่านการแช่น้ำหรือฉีดน้ำปูนมาแล้ว ซึ่งน้ำปูนขาวดังกล่าวเปรียบเสมือนน้ำยาประสานระหว่างอิฐและปูนสอ หลังจากนั้นให้นำแผ่นอิฐมาประกบปิดทับลงบนเนื้อปูนที่สอไว้ กดให้เนื้อปูนแนบสนิทไปกับแผ่นอิฐทั้ง 2 แผ่น ใช้เกรียงขนาดเล็กขูดปูนสอส่วนที่ล้นออกมาทิ้ง ขั้นตอนสุดท้ายให้ใช้ฟองน้ำเปียกเช็ดโดยรอบชิ้นงานให้สะอาด หลังจากนั้นทิ้งปูนสอให้แห้งเพื่อศึกษาการกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตของปูนสอ(ภาพที่ 31) โดยปูนสอมีตัวอย่างทั้งหมดดังนี้

ตัวอย่างที่ 14 ปูนสอ อัตราส่วน 1:1 (ปูนหิน)

ตัวอย่างที่ 15 ปูนสอ อัตราส่วน 1:1.5 (ปูนหิน)

ฉาบปูนสอลงบนแผ่นอิฐ

ประกบแผ่นอิฐลงบนปูนสอ

ขูดปูนสอออกด้วยเกรียง

ใช้ฟองน้ำเปียกเช็ดทำความ

ภาพที่ 31 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปูนสอ

3.8 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ

นำแผ่นปูนสูตรต่างๆ แช่ในสารละลายเกลือ NaCl เข้มข้น 2 % โดยแช่ให้ต่ำกว่ารอยต่อของอิฐกับปูน แช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สลับกับนำไปอบที่ 50°C เป็นเวลา 12 ชม. โดยทำสลับกันเป็นเวลา 14 วัน (ภาพที่ 32) หลังจากนั้นนำแผ่นปูนมาถ่ายภาพด้วย portable digital microscope และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

การเติมสารละลายเกลือ NaCl เข้มข้น 2 %

วางแผ่นปูนในสารละลายเกลือ NaCl

นำแผ่นปูนเข้าตู้อบอุณหภูมิ 50°C

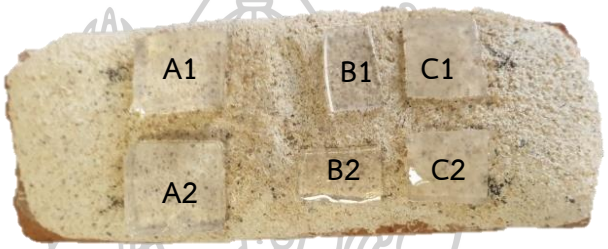
แผ่นปูนที่วางในตู้อบ

ภาพที่ 32 ขั้นตอนการแช่ปูนในน้ำเกลือ

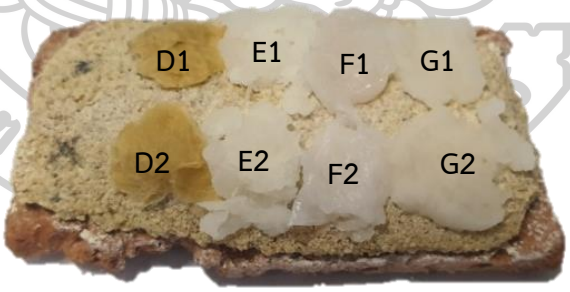
3.9 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน

นำแผ่นปูนที่ฉาบบนแผ่นอิฐจำนวน 2 ตัวอย่าง คือตัวอย่างที่ 7 อัตราส่วน 2 : 3 (ปูนหิน) และตัวอย่างที่ 4 อัตราส่วน 2 : 5 (ปูนหิน) ที่ผ่านการแช่ในสารละลายเกลือ NaCl เข้มข้น 2 % มาดูดซับเกลือออกด้วยวัสดุดูดซับต่อไปนี้ (ดูภาพที่ 33 และ 34)

1. A = Hydrogel (เซลลูโลส)
2. B = Hydrogel (เปลือกข้าวโพด),
3. C = Hydrogel (ไหมข้าวโพด)
4. D = กระดาษสา
5. E = Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด)
6. F = Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด)
7. G = Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด)



ภาพที่ 33 ดูดซับเกลือบนแผ่นปูนตัวอย่างที่ 7 (A = Hydrogel (เซลลูโลส), B = Hydrogel (เปลือกข้าวโพด), C = Hydrogel (ไหมข้าวโพด))



ภาพที่ 34 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูนตัวอย่างที่ 4 (D = กระดาษสา, E = Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด), F = Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด), G = Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด))

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

ผลจากการสำรวจพบว่าบริเวณพื้นผิวประติมากรรมพบคราบตะไคร่ทั่วบริเวณ ส่วนบริเวณลวดลายปูนปั้นที่ถูกพอกทับพบร่องรอยของคราบเชื้อรา ส่วนยอดชฎาปูนปั้นแตกหักจนเห็นแกนเหล็กภายใน บนเซรามิคประดับยอดพบคราบปูนซีเมนต์ เซรามิคประดับชฎาบริเวณด้านหน้าหลุดร่วงหลงเหลือบริเวณด้านหลังอย่างเดียว บริเวณใบหน้าพบรอยแตกร้าวและปูนปั้นบางส่วนหลุดร่วงทำให้เห็นโครงใบหน้าเดิมด้านใน

ส่วนลำตัวประติมากรรมพบรอยแตกร้าวบริเวณด้านหลัง ส่วนแขนและมือพนมปูนปั้นแตกหักจนเห็นแกนอิฐภายใน ส่วนชายผ้าด้านหน้ากระเบื้องเซรามิคหลุดร่วงทำให้เห็นลวดลายปูนปั้นดั้งเดิมที่ประดับด้วยเครื่องถ้วยเบญจรงค์และเครื่องถ้วยเขียนสี โดยสภาพปูนปั้นที่ถูกพอกทับมีรอยบิ่นแตกหักและรอยร้าวลึก นอกจากนี้ลวดลายบางช่วงกร่อนจนเห็นลวดลายไม่ชัดเจน เซรามิคที่ประดับมีสีซีดจาง บริเวณด้านหลังพบร่องรอยของการซ่อมแซมโดยการฉาบปูนใหม่ทับ ปูนปั้นชายผ้าด้านข้างทั้งหมดสองด้านแตกหัก เซรามิคประดับบริเวณเข่าประติมากรรมหลุดร่วงจนเห็นร่องรอยของปูนปั้นดั้งเดิม

ตารางที่ 4 รายงานบันทึกสภาพประติมากรรมปูนปั้นเทพนม วัดพระยาทำ

ข้อมูลทั่วไป	
ชื่อวัตถุ	ประติมากรรมปูนปั้นเทพนม (ทิศตะวันตกเฉียงใต้)
ที่ตั้ง/สถานที่จัดเก็บ	วัดพระยาทำวรวิหาร
อายุสมัย	รัชกาลที่ 3 - รัชกาลที่ 9
ขนาด	ความสูง 170 เซนติเมตร ความกว้าง 62 เซนติเมตร ความยาว 72 เซนติเมตร

รายละเอียดของประติมากรรมเทพนม

ประติมากรรมเทพนมเป็นประติมากรรมลอยตัว โครงสร้างก่อด้วยอิฐภายนอกฉาบ/ปั้นทับด้วยปูน ประดับตกแต่งด้วยเครื่องถ้วยเคลือบสีเดี่ยว (เหลือง เขียว ส้ม น้ำเงิน แดง) โดยเทคนิคการตัดขลิบเป็นรูปทรงต่างๆ ประดับลงบนโครงปูนปั้น ส่วนยอดของชฎาและมือที่พนมแกนเป็นเหล็กปั้นลวดลายด้วยปูน (สันนิษฐานว่าเป็นการบูรณปฏิสังขรณ์เมื่อ พ.ศ.2537-2538) นอกจากนั้นยังพบลวดลายปูนปั้นที่ประดับตกแต่งด้วยเครื่องถ้วย เบญจรงค์และเครื่องถ้วยเขียนสี โดยการตีเครื่องถ้วยให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วติดลงไปในร่องของลวดลาย ซึ่งจากการศึกษาอายุสมัยของเครื่องถ้วยที่ใช้ในการประดับพบว่าน่าจะอยู่ในช่วงรัชกาลที่ 2-3 และบางบริเวณบนลวดลายปูนปั้นยังพบร่องรอยสีดำและสีทอง ซึ่งอาจจะเป็นร่องรอยของการลงรักปิดทองบนงานประติมากรรมอีกด้วย

วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของประติมากรรม

- รอยร้าวและแตกหัก
- ลวดลายปูนปั้นและกระเบื้องประดับ (ใหม่)
- รอยปูนปั้นพอกใหม่
- กระเบื้องประดับหลุดหาย
- ลวดลายปูนปั้นและกระเบื้องประดับ (ดั้งเดิม)
- ร่องรอยคราบตะไคร่

วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของประติมากรรม

รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ	
	รอยร้าวและแตกหักที่เกิดบนปูนใหม่ที่พอกทับบนปูนดั้งเดิม
	รอยปูนปั้นพอกใหม่
	ลวดลายปูนปั้นและกระเบื้องประดับดั้งเดิม

รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ	
	ลวดลายปูนปั้นและกระเบื้องประดับใหม่ (พ.ศ.2538)
	กระเบื้องประดับใหม่หลุดหาย
	ร่องรอยคราบตะไคร่
ข้อสังเกตและข้อแนะนำเพิ่มเติม(ถ้ามี)	
ปูนที่ใช้ในการบูรณะปี 2537-2538 ไม่ใช่ปูนหมักโบราณเนื่องจากเนื้อปูนมีลักษณะความพรุนแตกต่างจากปูนดั้งเดิมที่ถูกปิดทับไว้	

วันที่สำรวจ	**23 มิถุนายน 2563**	**ผู้สำรวจ**	**ศศิวิมล สุขสวัสดิ์**

4.2 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในประติมากรรมเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

4.2.1 ตัวอย่างปูนและอิฐใช้ในประติมากรรมเทพนม

การศึกษาในครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างปูนจากประติมากรรมเทพนม เพื่อนำมาศึกษาและวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้เข้าใจถึงส่วนผสมของปูนในอดีต แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบสูตรปูนปัจจุบันที่ใช้ในการอนุรักษ์ โดยมีการเก็บตัวอย่างปูนดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่าง T1-1 คือปูนปั้นประติมากรรมเทพนม(มีร่องรอยการลงรักปิดทอง) (ภาพที่ 35)
2. ตัวอย่าง T1-2 คือปูนสอประติมากรรมเทพนม (ภาพที่ 36)
3. ตัวอย่าง T1-3 คือปูนปั้นบริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ภาพที่ 37)
4. ตัวอย่าง T1-4 คืออิฐที่ใช้ในการก่อประติมากรรมเทพนม (ภาพที่ 38)
5. ตัวอย่าง T2 คือปูนปั้นบริเวณชายผ้าประติมากรรมเทพนม(มีร่องรอยทาสีแดง) (ภาพที่39)

ภาพที่ 35 การเก็บตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง(ตัวอย่างT1-1)

ภาพที่ 36 การเก็บตัวอย่างปูนสอดั้งเดิมด้านหลังประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2)

ภาพที่ 37 การเก็บตัวอย่างปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)

ภาพที่ 38 ตัวอย่างเศษอิฐเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)

ภาพที่ 39 ตัวอย่างปูนปั้นบริเวณชายผ้าประติมากรรมเทพนมซึ่งมีร่องรอยทาสีแดง (ตัวอย่าง T2)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปูนและอิฐด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) และ X-ray diffraction (XRD)

นำตัวอย่างปูน (T1-1, T1-2, T1-3 และ T-2) และตัวอย่างอิฐ (T1-4) มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX เพื่อดูลักษณะของอนุภาคและรายละเอียดของพื้นผิวตัวอย่าง รวมทั้งข้อมูลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้ข้อมูลดังภาพที่ 40 สำหรับข้อมูลที่ได้จากเทคนิค SEM-EDX ของแต่ละตัวอย่างมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวอย่างปูน T1-1 พบเส้นใยพืชแทรกตัวอยู่ในอนุภาคปูนและทราย (ดังภาพที่ 40b) นอกจากนี้ยังพบร่องรอยการลงรักปิดทอง โดยพบอนุภาคทองกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของปูน (ดังภาพ ที่ 41)

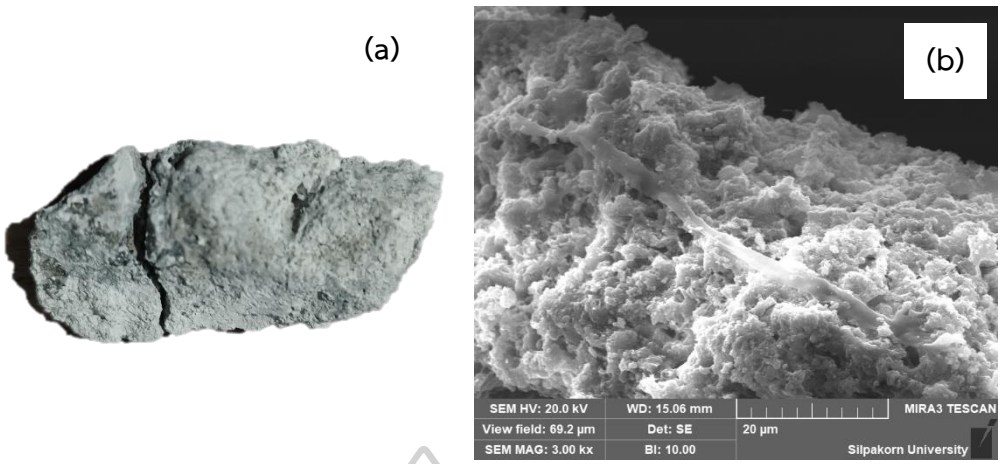
2. ตัวอย่างปูน T1-2 พบอนุภาคปูนและทรายเชื่อมประสานกัน (ดังภาพที่ 43)

3. ตัวอย่างปูน T1-3 พบอนุภาคปูนและทรายเชื่อมประสานกัน (ดังภาพที่ 45) คล้ายคลึงกับตัวอย่าง T1-2

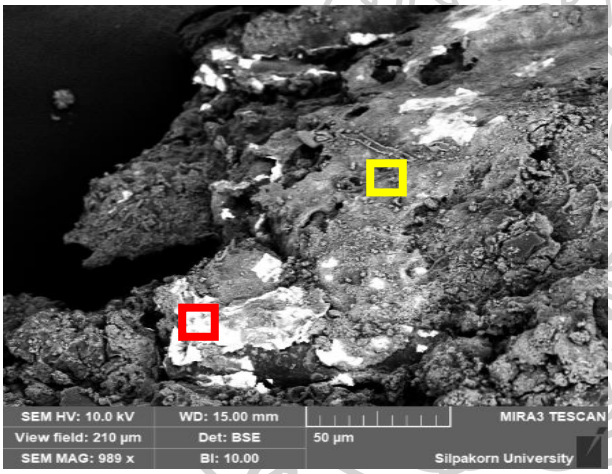
4. ตัวอย่างปูน T2 พบอนุภาคปูน ทราย และเหล็กออกไซด์กระจายอยู่ทั่วไป (ดังภาพที่ 49) โดยร่องรอยสีแดงที่เห็นบนเนื้อปูนจะเป็นเหล็กออกไซด์ที่มาจากเนื้ออิฐนั่นเอง

5. ตัวอย่างอิฐ T1-4 จะเห็นร่องรอยของการใช้แกลบเป็นแหล่งของซิลิกาในเนื้ออิฐ (ดังภาพที่ 47) โดยบริเวณกรอบสีแดงจะเห็นอนุภาตซิลิกาที่มาจากแกลบอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันการใช้แกลบในการทำอิฐโบราณ

6. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปูน (T1-1, T1-2, T1-3 และ T-2) ด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีธาตุองค์ประกอบคล้ายคลึงกันคือมีธาตุ คาร์บอน (C), ออกซิเจน (O), แมกเนเซียม (Mg), อลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si), โพแทสเซียม (K) และแคลเซียม (Ca) ยกเว้นตัวอย่างปูน T1-1 ที่พบธาตุไนโตรเจน (N), (F), และทอง (Au) (ดังภาพที่ 41, 43, 45 และ49) ในขณะที่ตัวอย่างอิฐ T1-4 จะพบธาตุออกซิเจน (O), แมกเนเซียม (Mg), อลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไทเทเนียม (Ti) และ เหล็ก (Fe) (ดังภาพที่ 47)

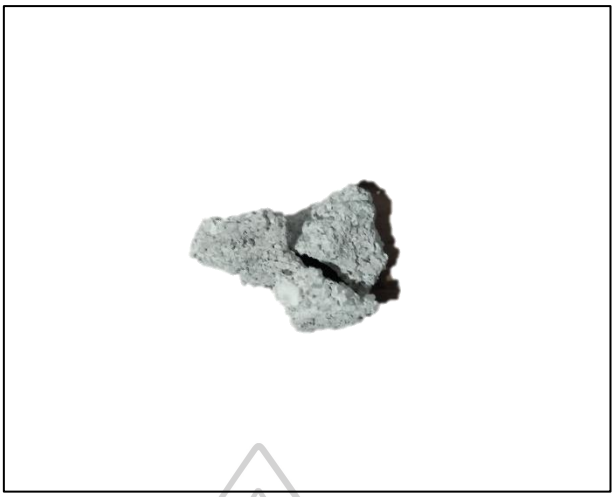


ภาพที่ 40 (a) ภาพตัวอย่าง T1-1 ชิ้นส่วนปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง (b) ภาพ SEM ของปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีเส้นใยเป็นส่วนผสม

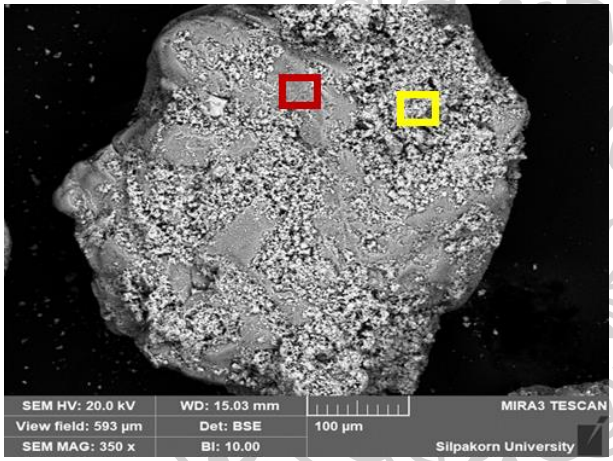


ภาพที่ 41 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง (ตัวอย่าง T1-1)

Element	Atomic %	
	Red	Yellow
C	41.05	26.39
N	3.98	5.62
O	39.98	55.15
Mg	1.64	4.56
Al	-	0.57
Si	0.89	2.97
S	-	0.25
K	-	0.09
Ca	3.74	4.22
Fe	0.38	0.18
Cu	0.41	-
Au	7.93	-

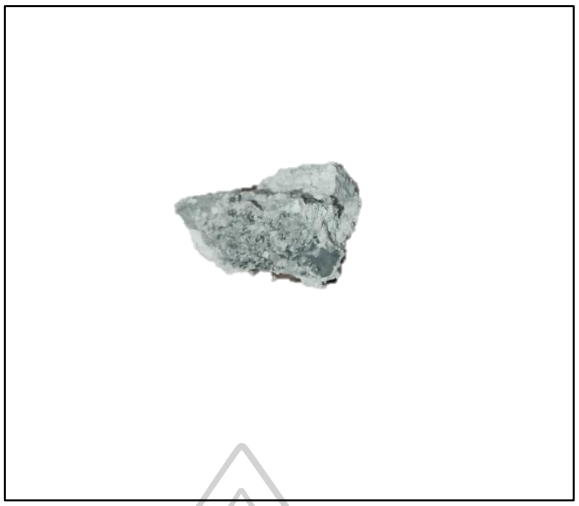


ภาพที่ 42 ตัวอย่างชิ้นส่วนปูนสอประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2)

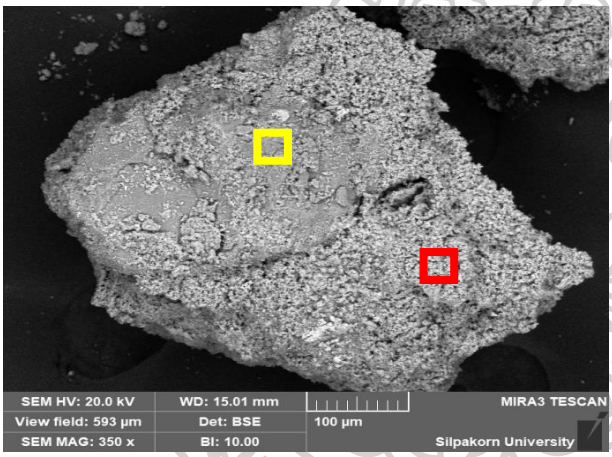


ภาพที่ 43 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนสอประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-2)

Element	Atomic %	
	Red	Yellow
C	-	12.85
O	66.86	62.12
Mg	-	0.52
Al	-	0.78
Si	32.41	1.25
Ca	0.73	21.80
Fe		0.67

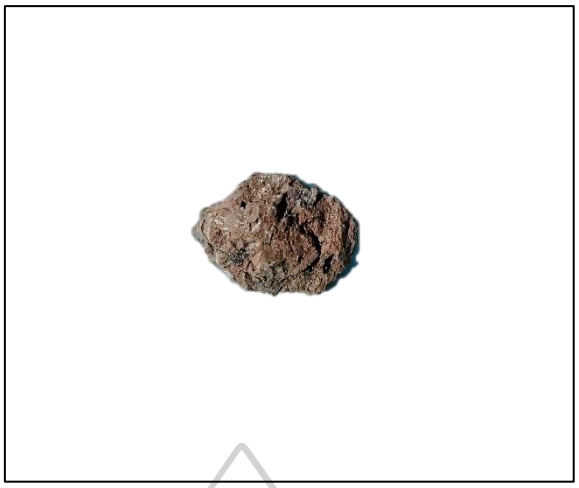


ภาพที่ 44 ตัวอย่างชิ้นส่วนปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)

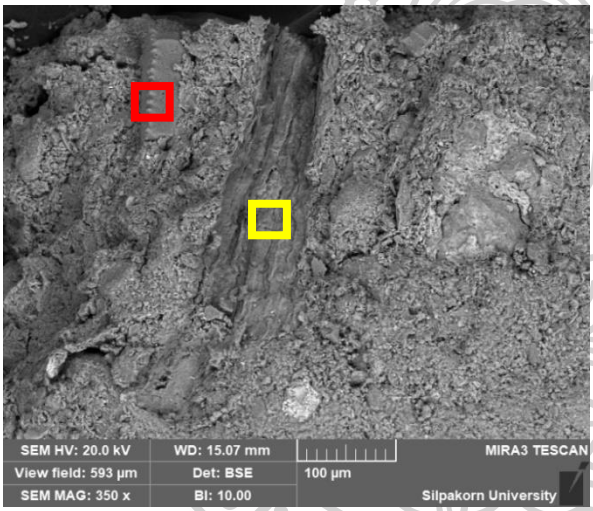


ภาพที่ 45 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนใหม่บริเวณเศียรประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-3)

Element	Atomic %	
	Red	Yellow
C	13.42	8.14
O	67.42	60.08
Mg	0.82	1.27
Al	0.38	1.47
Si	0.55	27.82
P	0.06	-
S	1.21	-
Ca	15.29	0.74
Fe	0.84	0.47



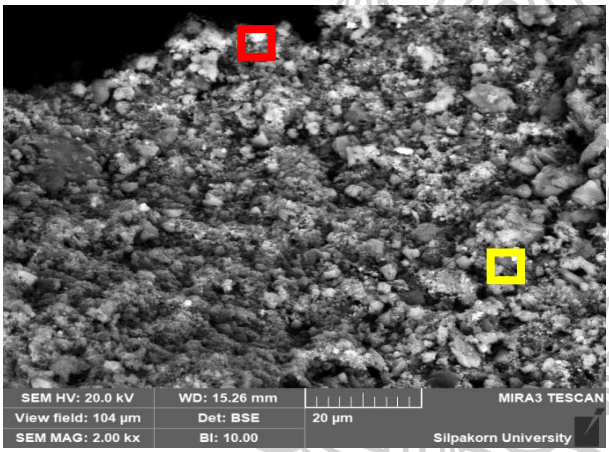
ภาพที่ 46 ตัวอย่างชิ้นส่วนอิฐประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)



ภาพที่ 47 ข้อมูล SEM-EDX ของอิฐประติมากรรมเทพนม (ตัวอย่าง T1-4)

Element	Atomic %	
	Red	Yellow
O	69.51	60.20
Mg	-	1.11
Al	0.96	10.90
Si	29.53	21.34
P	-	0.00
K	-	1.26
Ca	-	2.04
Ti	-	0.53
Fe	-	2.60

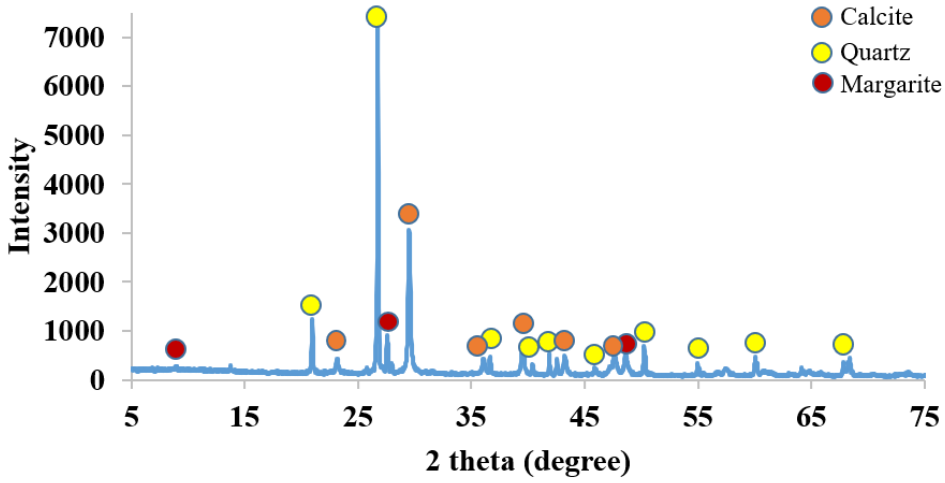
ภาพที่ 48 ตัวอย่างปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยสีแดง (ตัวอย่าง T2)



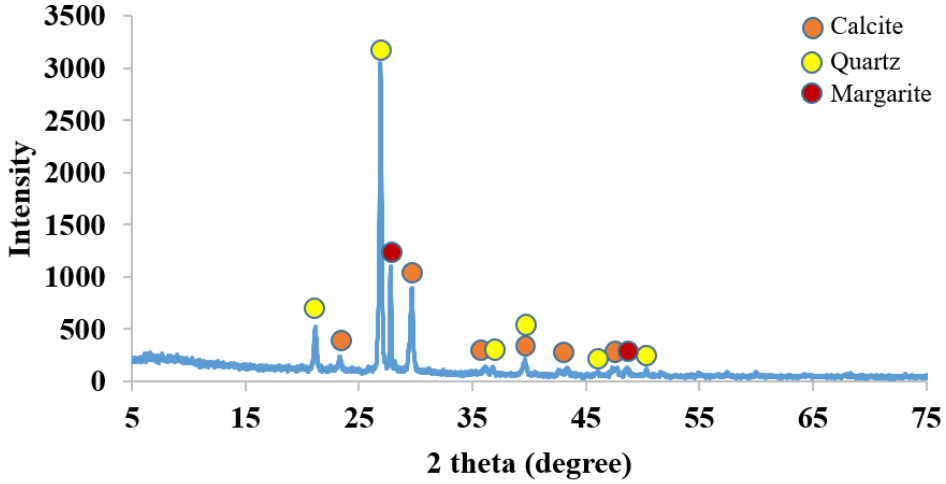
ภาพที่ 49 ข้อมูล SEM-EDX ของปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยสีแดง (ตัวอย่าง T2)

Element	Atomic %	
	Red	Yellow
C	16.61	21.72
O	60.87	29.61
F	-	8.41
Mg	0.95	2.33
Al	1.03	4.45
Si	1.16	3.89
K	-	0.30
Ca	6.93	3.23
Cr	-	2.88
Fe	12.44	23.18

หลังจากวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค SEM-EDX แล้ว ได้นำตัวอย่างปูน T1-1 และ T1-2 มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction เพื่อดูชนิดของสารประกอบในตัวอย่างปูนทั้ง 2 ชนิด พบว่าได้ผลดังภาพที่ 50 และ51 สำหรับตัวอย่างปูน T1-1 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง และตัวอย่างปูน T1-2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนปูนสอประติมากรรมเทพนม พบผลึกควอตร์ซ (SiO_2) (RRUFF ID: R100134, https://rruff.info/Quartz/R100134) และ $CaCO_3$ ในรูปของผลึก Calcite (RRUFF ID: R050128, https://rruff.info/Calcite/R050128) นอกจากนี้ยังพบ Mica ในรูปผลึก Margarite ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $CaAl_2(Al_2Si_2)O_{10}(OH)_2$ (RRUFF ID: R060839, https://rruff.info/margarite/display=default/)



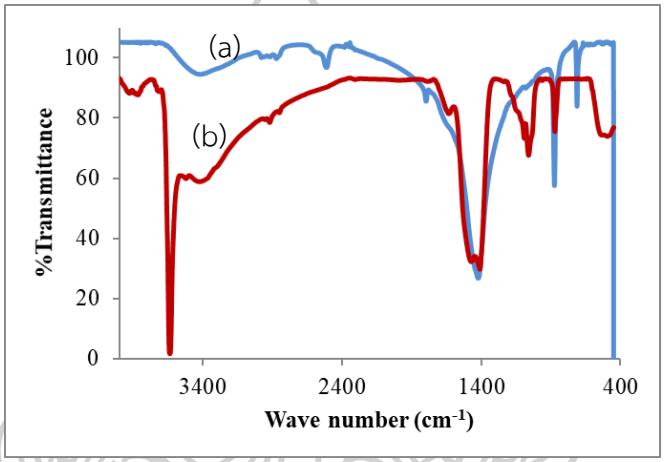
ภาพที่ 50 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง T1-1 ชิ้นส่วนปูนปั้นประติมากรรมเทพนมที่มีร่องรอยการลงรักปิดทอง โดยเทคนิค X-ray diffraction ได้พบผลึกทรายในรูปของ Quartz และ Margarite และพบผลึกของ Calcite



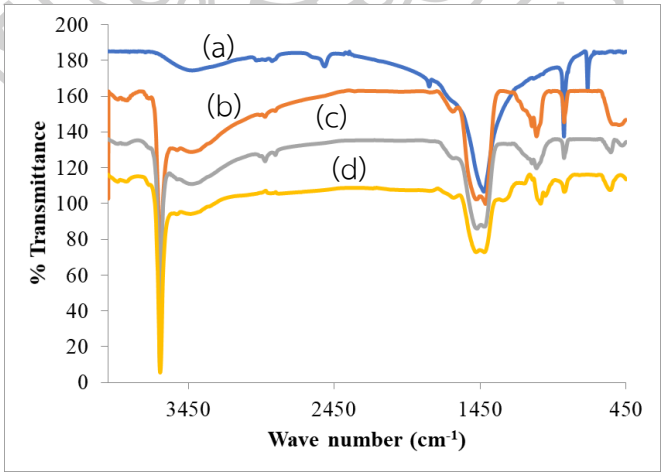
ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง T1-2 ชิ้นส่วนปูนสอประติมากรรมเทพนมโดยเทคนิค X-ray diffraction ได้พบผลึกทรายในรูปของ Quartz และ Margarite นอกจากนั้นยังพบผลึกของ $CaCO_3$ ในรูปของ Calcite

4.3 การเตรียมปูนขาว

เตรียมปูนขาวโดยการเผาปูนหินหรือปูนไข่ที่อุณหภูมิ 550°C จะได้ CaO ซึ่งตรวจสอบเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค IR spectroscopy ได้ spectrum ดังรูปที่ 52(b) และ 53(b)-(d) โดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเผาให้นานขึ้นจะได้ CaO ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 53(d) โดยแถบการดูดกลืนแสงที่ 3645 cm^{-1} จะเป็นการสั่นของหมู่ O-H ของ $Ca(OH)_2$ (ซึ่งเกิดจาก CaO ทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ) แถบการดูดกลืนแสงที่ 1426, 875, 713 จะเป็นการสั่นของหมู่ CO_3^{2-} หรือหมู่คาร์บอเนต(Albuquerque et al., 2008) จะเห็นว่าเมื่อเผาเปลือกไข่ให้นานขึ้นแถบการดูดกลืนแสงทั้งสามนี้ของหมู่คาร์บอเนตจะลดลง (ดูภาพที่ 53)



ภาพที่ 52 IR spectrum ของปูนหิน (a) ก่อนเผา (b) หลังเผา



ภาพที่ 53 IR spectrum ของปูนไข่(a)ก่อนเผา(b)-(d) หลังเผาเป็นเวลา 14, 21 และ49 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.4 การเตรียมชิ้นงานปูนโบราณ

4.4.1 ปูนหมัก

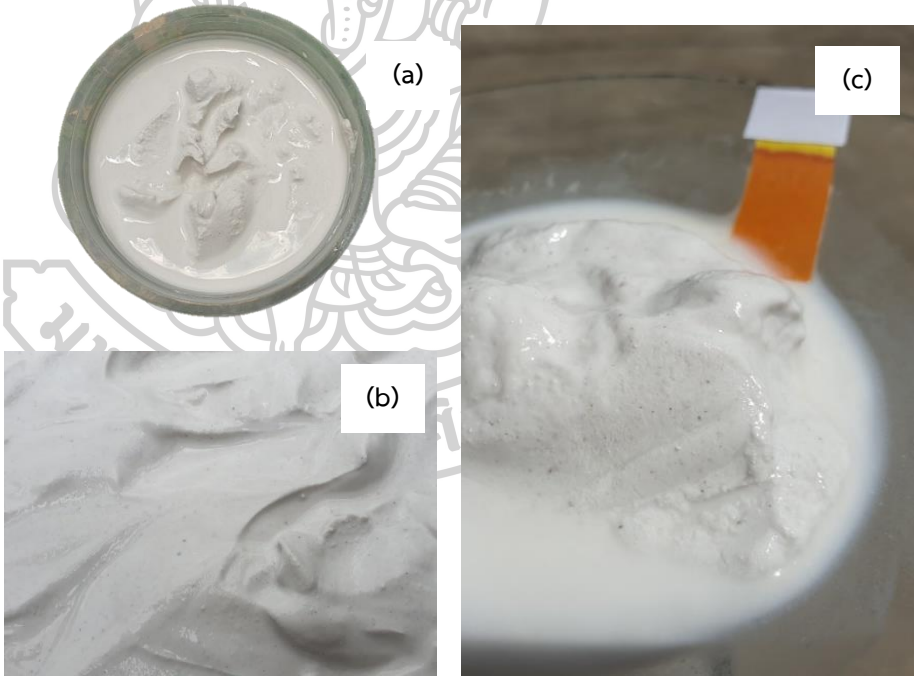
หลังจากนำปูนหินหรือปูนไข่มาเผาจะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของ $CaCO_3$ ได้ปูนขาวหรือ CaO ดังนี้

$$CaCO_3(s) \text{ ----> } CaO(s) + CO_2(g)$$

นำปูนขาวที่ได้มาหมักในน้ำ ปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้ $Ca(OH)_2$ ซึ่งเป็นด่าง ดังสมการต่อไปนี้

$$CaO(s) + H_2O(l) \text{ -----> } Ca(OH)_2(s) + \text{ความร้อน}$$

ในระหว่างการหมักปูนขาวจะเกิดฝ้าขาวของ $CaCO_3$ ที่บริเวณผิวหน้าของน้ำที่ใช้หมัก ฝ้าที่เกิดขึ้นนี้คือ $CaCO_3$ ต้องช้อนฝ้านี้ทิ้งไป และต้องมีการถ่ายน้ำทุก 7 วัน จนครบเวลาหมัก 1 เดือน จะได้ตะกอนขาวเนื้อละเอียดของ $Ca(OH)_2$ ซึ่งมีสมบัติเป็นด่าง (ภาพที่ 54) และตรวจสอบได้โดยใช้กระดาษขมิ้น โดยกระดาษขมิ้นจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มดังภาพที่ 54(c)



ภาพที่ 54 ปูนหมักและการทดสอบสมบัติความเป็นด่าง

4.4.2 ปูนฉาบ

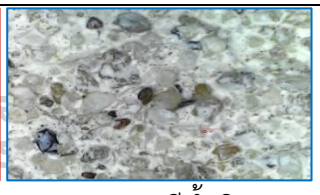
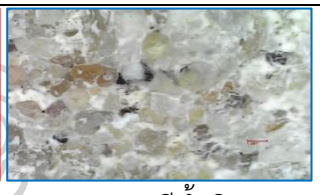
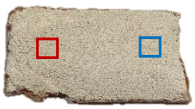
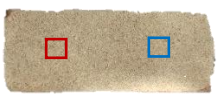
การทำปูนฉาบทั้งหมด 3 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทรายดังนี้ 1:3, 2:5 และ 2:3 โดยที่อัตราส่วน 1:3 และ 2:5 เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร สำหรับสูตร 2:3 นั้นปรับขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ โดยปูนหมักที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากปูนไข่ นอกจากนี้มีการใช้แผ่นปูนซีเมนต์แทนแผ่นอิฐ จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 5 และ 6

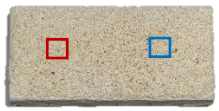
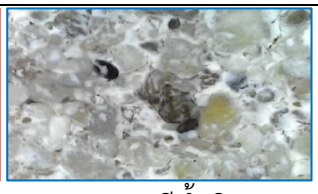
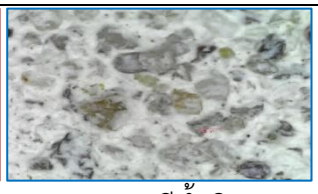
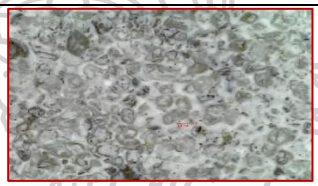
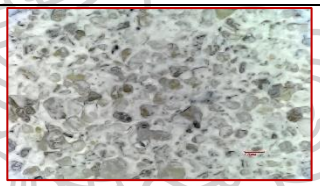
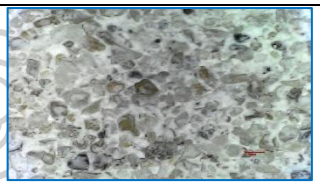
ตารางที่ 5 ตัวอย่างปูนฉาบทั้งหมด 9 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย	วัสดุฐานรอง	ลักษณะ
1	1 (ปูนหิน) : 3	อิฐ	
2	1 (ปูนไข่) : 3	อิฐ	
3	1(ปูนหิน) : 3	ซีเมนต์	
4	2(ปูนหิน) : 5	อิฐ	
5	2:5 (ปูนไข่)	อิฐ	
6	2:5 (ปูนหิน)	ซีเมนต์	
7	2:3 (ปูนหิน)	อิฐ	
8	2:3 (ปูนไข่)	อิฐ	

ตัวอย่าง	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย	วัสดุฐานรอง	ลักษณะ
9	2:3 (ปูนหิน)	ซีเมนต์	

ตารางที่ 6 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนฉาบจากกล้อง portable digital microscope

ตัวอย่างที่	ปูนฉาบ	ลักษณะพื้นผิวขนาดขยาย
1		กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน
2		กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน
3		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
4		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
5		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน

ตัวอย่างที่	ปูนฉาบ	ลักษณะพื้นผิวขนาดขยาย
6		กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน
7		กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน
8		 กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
9		 กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน

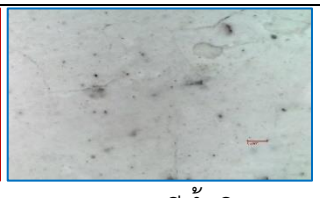
4.4.3 ปูนตำ

ได้มีการทำปูนตำทั้งหมด 2 ตัวอย่าง โดยปูนตำที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากเปลือกไข่ ส่วนผสมต่างๆเป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากช่างปูนของกรมศิลปากร โดยจะฉาบปูนตำไว้ด้านบนปูนฉาบซึ่งเป็นชั้นนอกสุด ดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ตัวอย่างปูนตำทั้งหมด 2 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและเส้นใย	ลักษณะ
10	1 (เยื่อกระดาษ) : 2.5 (ปูนไข่)	
11	1 (เยื่อกระดาษ) : 2.5 (ปูนหิน)	

ตารางที่ 8 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนตำจากกล้อง portable digital microscope

ตัวอย่างที่	ปูนตำ	ลักษณะพื้นผิวขนาดขยาย
10		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
11		กรอบสีแดง  กรอบสีน้ำเงิน

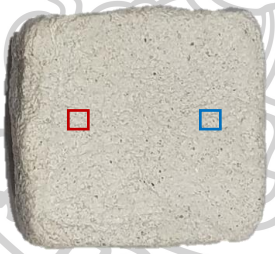
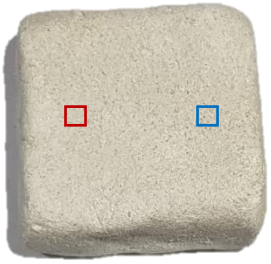
4.4.4 ปูนปั้น

ได้มีการทำปูนปั้นทั้งหมด 2 ตัวอย่าง คืออัตราส่วนวิจัย และอัตราส่วนของช่างกรมศิลปากร ดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ตัวอย่างปูนปั้นทั้งหมด 2 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนปูนปั้น	ลักษณะ
12	ตามอัตราส่วนวิจัย	
13	ตามอัตราส่วนของช่างกรมศิลปากร	

ตารางที่ 10 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนปั้นจากกล้อง portable digital microscope

ตัวอย่างที่	ภาพปูนปั้น	ลักษณะพื้นผิวขนาดขยาย
12		 กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
13		 กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน

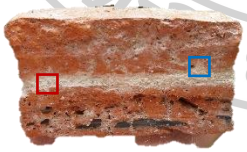
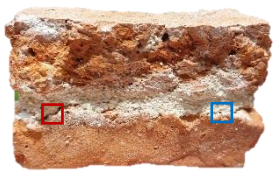
4.4.5 ปูนสอ

ได้มีการทำปูนสอทั้งหมด 2 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย 1:1 และ 1:1.5 เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร ดังตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 ตัวอย่างปูนสอทั้งหมด 2 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย	วัสดุฐานรอง	ลักษณะ
14	1 (ปูนหิน) : 1	อิฐ	
15	1 (ปูนหิน) : 1.5	อิฐ	

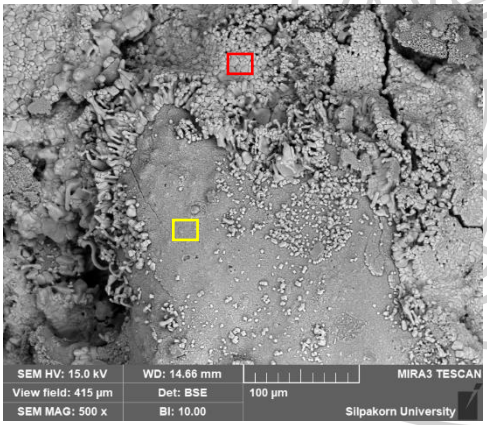
ตารางที่ 12 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนสอจากกล้อง portable digital microscope

ตัวอย่างที่	ภาพปูนสอ	ลักษณะพื้นผิวขนาดขยาย
14		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน
15		กรอบสีแดง กรอบสีน้ำเงิน

4.5 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ

เมื่อแผ่นปูนสูตรต่างๆ มาแช่ในสารละลายเกลือ NaCl เข้มข้น 2 % โดยแช่ให้ต่ำกว่ารอยต่อของอิฐกับปูน โดยแช่ 12 ชั่วโมง สลับกับนำไปอบที่ 50°C เป็นเวลา 12 ชม. โดยทำสลับกันเป็นเวลา 14 วันหลังจากนั้นตรวจสอบสภาพผิวปูนด้วยกล้อง portable digital microscope และนำแผ่นปูนมาวิเคราะห์ Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) (ดูข้อมูลภาพที่ 56 และในตารางที่ 13) รวมทั้งใช้เทคนิค X-ray diffraction ในการตรวจสอบชนิดของผลึกปูนในตัวอย่างปูนฉาบ (ตัวอย่างที่ 7) ก่อน-หลังดูดเกลือ และตัวอย่างปูนปั้น (ตัวอย่างที่ 12) ก่อน-หลังดูดเกลือ ดังข้อมูลในภาพที่ 57 ถึง 60 พบว่าปูนฉาบสูตร 1 : 3 (ตัวอย่างที่ 1) และสูตร 2 : 5 (ตัวอย่างที่ 4) นั้นหลังจากผ่านการดูดเกลือและทำให้แห้งหลายรอบ ส่วนของแผ่นปูนเกิดการหลุดร่อนออกจากอิฐ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปูนฉาบสูตรนี้ยึดเกาะกับตัวอิฐไม่แข็งแรงเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปูนตำ(ตัวอย่างที่ 10) ที่ใช้ปูนจากเปลือกไข่เมื่อนำมาแช่ในน้ำเกลือปูนจะเหลวมากจนเกือบหลุดออกจากแผ่นอิฐ แต่หลังจากอบแห้ง ปูนยังจับตัวกับแผ่นอิฐได้ ไม่หลุดร่อน แม้ว่าผิวหน้าของปูนจะมีลักษณะแตกต่างไปจากปูนก่อนแช่น้ำเกลือ วิเคราะห์ตัวอย่างปูนหมายเลข 1, 3, 6, 7, 10, 11, 12 และ 13 หลังดูดเกลือด้วยเทคนิค SEM-EDX ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13 และได้แสดงผล SEM-EDX ของตัวอย่างที่ 7 ปูนฉาบ (2:3 (ปูนหิน) บนพื้นอิฐ) ในภาพที่ 57 ซึ่งแสดงลักษณะการก่อตัวของอนุภาค NaCl อย่างชัดเจน (บริเวณกรอบสีแดง) เป็นที่น่าสังเกตว่าการก่อตัวของ NaCl จะเกิดขึ้นบนอนุภาคปูน ไม่พบการก่อตัวของ NaCl บนอนุภาคทราย สำหรับข้อมูล SEM-EDX ของปูนฉาบตัวอย่างที่ 1 ไม่พบอนุภาค NaCl ในเนื้อปูน (ดูตารางที่ 13 ประกอบ) ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการที่ตัวอย่างนี้มีปริมาณของทรายในองค์ประกอบสูงและฉาบอยู่บนอิฐที่มีความพรุนตัวสูง การก่อตัวของอนุภาค NaCl จะยากกว่าตัวอย่างอื่น ในขณะที่ตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนต่อทรายเหมือนกับตัวอย่างที่ 1 แต่ฉาบบนปูนซีเมนต์ซึ่งมีความพรุนตัวน้อยกว่าอิฐ จะพบการก่อตัวของอนุภาค NaCl นอกจากนี้ยังพบว่าปูนไข่จะมีความคงตัวเมื่อเจอน้ำน้อยกว่าปูนหิน เห็นได้ชัดเจนจากตัวอย่างปูนตำที่เตรียมจากปูนไข่ที่ปูนจะเหลวมากหลังจากแช่ตัวอย่างที่ 10 ในน้ำเกลือ โดยปูนตำจะไม่มีทรายเป็นองค์ประกอบผสมเพียงเยื่อกระดาษ ซึ่งช่างฝีมือมักใช้ปูนตำสำหรับการตกแต่งผิวหน้าหลังจากฉาบปูนเรียบร้อยแล้ว สำหรับปูนปั้นที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้มี 2 สูตรคือสูตรที่คิดค้นในงานวิจัยนี้และสูตรที่มาจากช่างฝีมือของกรมศิลปากร พบว่าผล SEM-EDX ของเนื้อปูนหลังจากแช่ในน้ำเกลือ จะพบอนุภาคของ NaCl กระจายตัวในเนื้อปูนคล้ายคลึงกัน

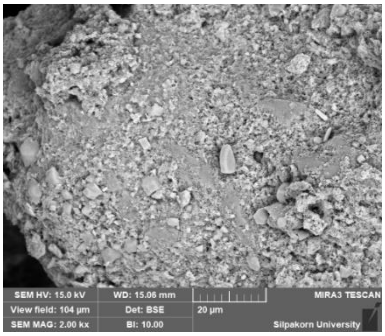
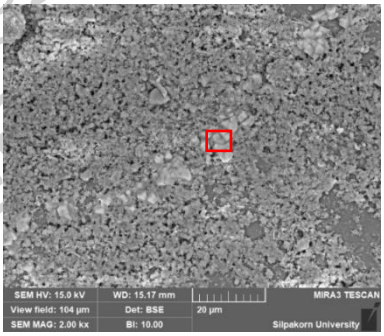
ภาพที่ 55 แผ่นปูนอบแห้ง

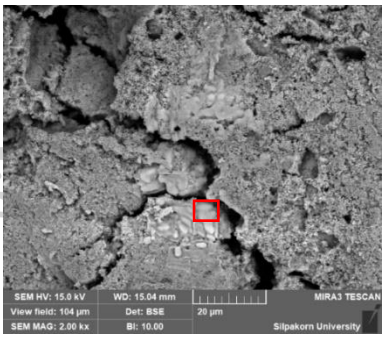
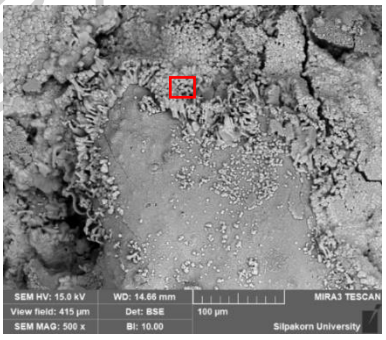


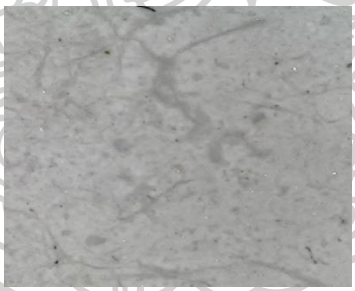
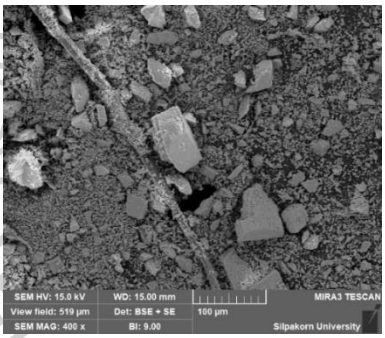
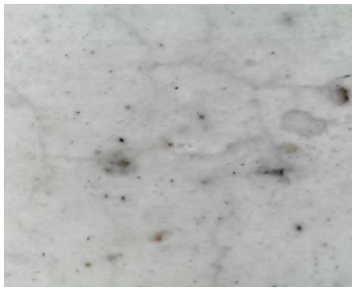
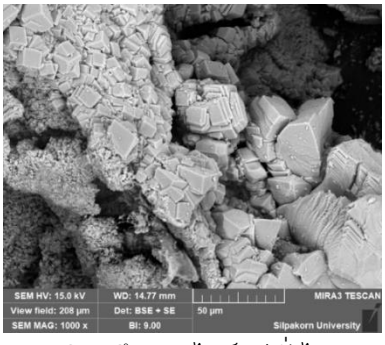
ภาพที่ 56 ผล EDX ของตัวอย่างปูนฉาบ (2:3 (ปูนหิน) บนพื้นอิฐ)

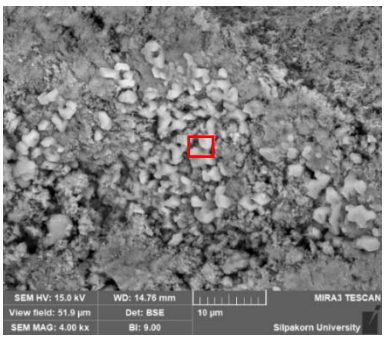
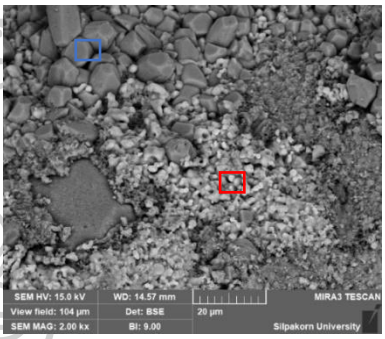
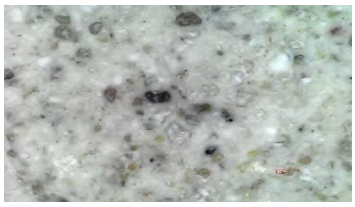
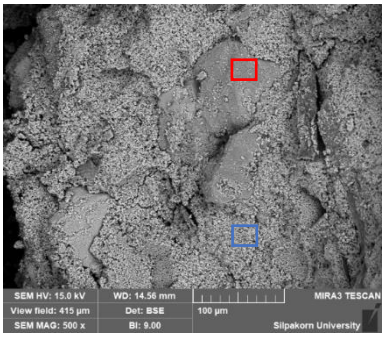
ธาตุ	Yellow frame		Red frame	
	Weight %	Atomic %	Weight %	Atomic %
C	13.70	20.07		
O	63.58	69.95		
Na	-	-	43.71	54.49
Cl	-	*	56.29	45.51
Ca	22.72	9.98		

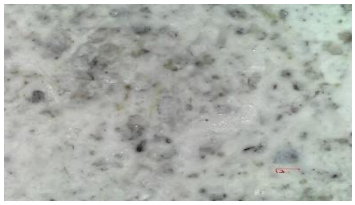
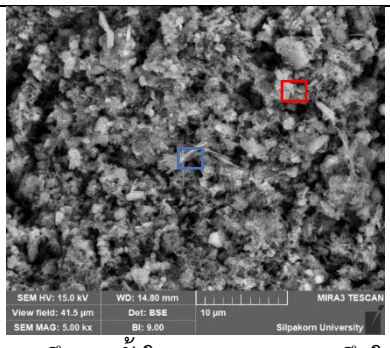
ตารางที่ 13 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนจากกล้อง portable digital microscopec และภาพจาก Scanning Electron Microscope (SEM) หลังแช่ในสารละลายเกลือ NaCl

ตัวอย่างที่	ชนิดของปูน	สภาพหลังจากแช่ในสารละลายเกลือ NaCl	
		ภาพถ่าย	ภาพ SEM*
1	1 (ปูนหิน) : 3 [อิฐ]	ปูนฉาบเกิดการร่อนหลุดจากผิวอิฐ	 ไม่พบผลึกเกลือ NaCl
2	1 (ปูนไข่) : 3 [อิฐ]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์
3	1(ปูนหิน) : 3 [ซีเมนต์]		 พบผลึกเกลือ NaCl (ผลึกในกรอบสีแดง)
4	2(ปูนหิน) : 5 [อิฐ]	ปูนฉาบเกิดการร่อนหลุดจากผิวอิฐ	ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์

ตัวอย่างที่	ชนิดของปูน	สภาพหลังจากแช่ในสารละลายเกลือ NaCl	
		ภาพถ่าย	ภาพ SEM*
5	2:5 (ปูนไข่) [อิฐ]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์
6	2:5 (ปูนหิน) [ซีเมนต์]		 พบผลึกเกลือ NaCl (ผลึกในกรอบสีแดง)
7	2:3 (ปูนหิน) [อิฐ]		 พบผลึกเกลือ NaCl (ผลึกในกรอบสีแดง)

ตัวอย่างที่	ชนิดของปูน	สภาพหลังจากแช่ในสารละลายเกลือ NaCl	
		ภาพถ่าย	ภาพ SEM*
8	2:3 (ปูนไข่) [อิฐ]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์
9	2:3 (ปูนหิน) [ซีเมนต์]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์
10	ปูนตำเปลือกไข่		 เห็นอนุภาคปูนและเส้นใยกระดาษ ปูนไม่จับตัวกัน ปูนบางส่วนเกิดการร่อนหลุดจากผิวอิฐ
11	ปูนตำเปลือกหิน		 เกิดผลึกแคลไซต์อยู่ทั่วไป

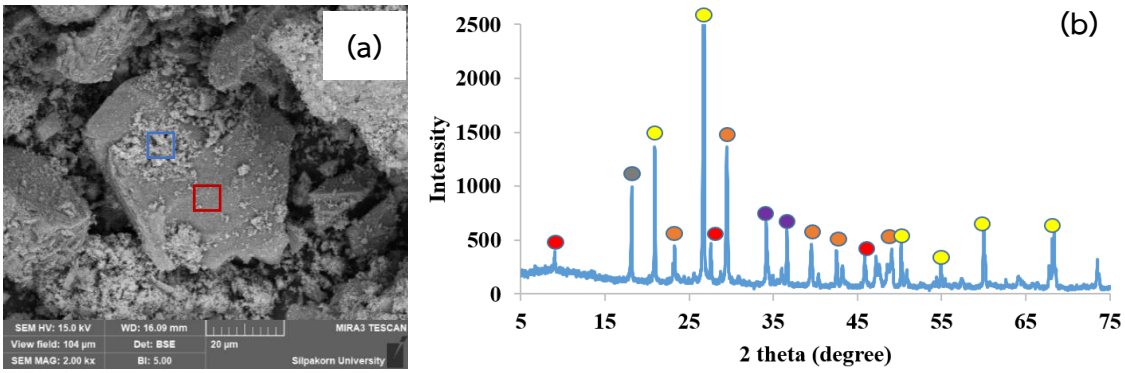
ตัวอย่างที่	ชนิดของปูน	สภาพหลังจากแช่ในสารละลายเกลือ NaCl	
		ภาพถ่าย	ภาพ SEM*
12	ปูนปั้น (อัตราส่วนในวิจัย)		 พบผลึกเกลือ NaCl (ผลึกในกรอบสีแดง)  พบผลึกเกลือ NaCl (ในกรอบสีแดง) และพบผลึกปูนในรูป Calcite(ในกรอบสีฟ้า)
13	ปูนปั้น (อัตราส่วนของช่างกรมศิลปากร)		 พบผลึกทราย (ผลึกในกรอบสีแดง) และพบผลึกปูนในรูป Calcite (ในกรอบสีฟ้า)

ตัวอย่างที่	ชนิดของปูน	สภาพหลังจากแช่ในสารละลายเกลือ NaCl	
		ภาพถ่าย	ภาพ SEM*
			 พบผลึกปูนทั้งในรูป Calcite (ผลึกในกรอบสีแดง) และAragonite (ผลึกในกรอบสีฟ้า)รวมทั้งพบผลึกเกลือ NaCl กระจายตัวอยู่ทั่วไป
14	1:1 (ปูน สอ) [อิฐ]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์
15	1:1.5 (ปูน สอ) [อิฐ]		ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์

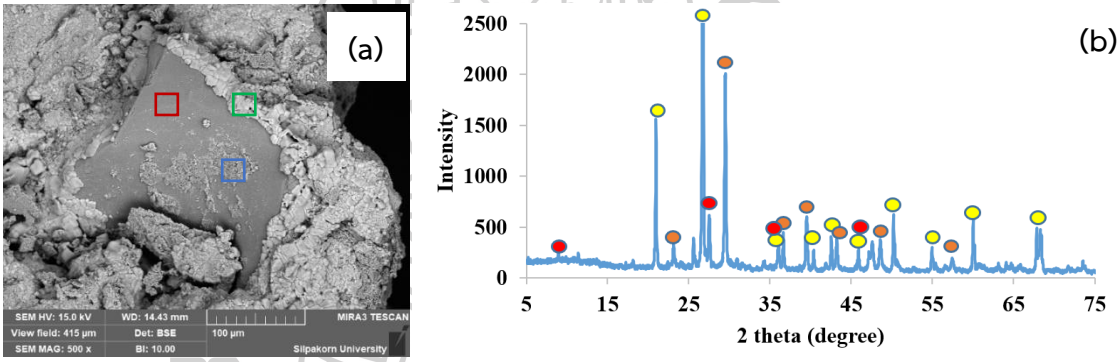
* สำหรับตัวอย่างที่ไม่ได้ส่งผลวิเคราะห์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค SEM-EDX ค่อยข้างสูง จึงจำเป็นต้องมีการเลือกตัวอย่างปูนบางตัวอย่างเท่านั้น

หลังจากทำการศึกษาตัวอย่างปูนด้วยเทคนิค SEM-EDX พบอนุภาคปูนที่มีรูปร่างแตกต่างกันหลายแบบ จึงได้ทำการศึกษาชนิดของผลึกปูน และผลึกของสารอื่นในตัวอย่างปูนหมายเลข 7 และ 12 ทั้งก่อนและหลังการแช่ในน้ำเกลือด้วยเทคนิค X-ray diffraction ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 57 ถึงภาพที่ 60 พบว่าตัวอย่างปูนฉาบหมายเลข 7 (ภาพที่ 57) ก่อนการแช่ในน้ำเกลือ พบผลึก Quartz (ผลึกชนิดนี้มาจากทราย)และ Muscovite (ผลึกชนิดนี้มาจากปูนหิน) (RRUFF ID: R040104, https://rruff.info/Muscovite/R040104), Calcite (จากปูน $CaCO_3$), calcium hydroxide (Khachani, El Hamidi, Halim, & Arsalane, 2014) (จากปูนหมักที่ยังเปลี่ยนรูปเป็น $CaCO_3$ ไม่สมบูรณ์) และผลึก Fe_2O_3 (Suresh, Karthikeyan, & Jayamoorthy, 2016) (มาจากอิฐ) หลังจากแช่น้ำเกลือตัวอย่างปูนหมายเลข 7 (ภาพที่ 58) ยังคงพบผลึก Quartz (ผลึกชนิดนี้มาจากทราย) และ Muscovite (ผลึกชนิดนี้มาจากปูนหิน), Calcite (จากปูน $CaCO_3$) แต่ไม่พบ Calcium hydroxide และ Fe_2O_3 รวมทั้งไม่พบผลึก NaCl (RRUFF ID: R070534, https://rruff.info/Halite/R070534) ด้วยเช่นกัน ในขณะที่ตัวอย่างปูนปั้นหมายเลข 12 ก่อนการแช่ในน้ำเกลือ(ภาพที่ 59) พบผลึก Quartz (ผลึกชนิดนี้มาจากทราย), Calcite และ Aragonite (RRUFF ID: R040078, https://rruff.info/Aragonite/R040078) (จากปูน $CaCO_3$), และ calcium hydroxide (จากปูนหมักที่ยังเปลี่ยนรูปเป็น $CaCO_3$ ไม่สมบูรณ์) สำหรับผลึก Aragonite ที่พบจากเทคนิค XRD นั้น ผลที่ได้สอดคล้องกับผลึกที่เป็นรูปเข็มที่ได้จากภาพถ่าย SEM หลังจากแช่ตัวอย่างปูนปั้นหมายเลข 12 ในน้ำเกลือ(ภาพที่ 60) ยังคงพบผลึก Quartz, Calcite, Aragonite และ calcium hydroxide และที่สำคัญยังตรวจพบผลึก NaCl ด้วย

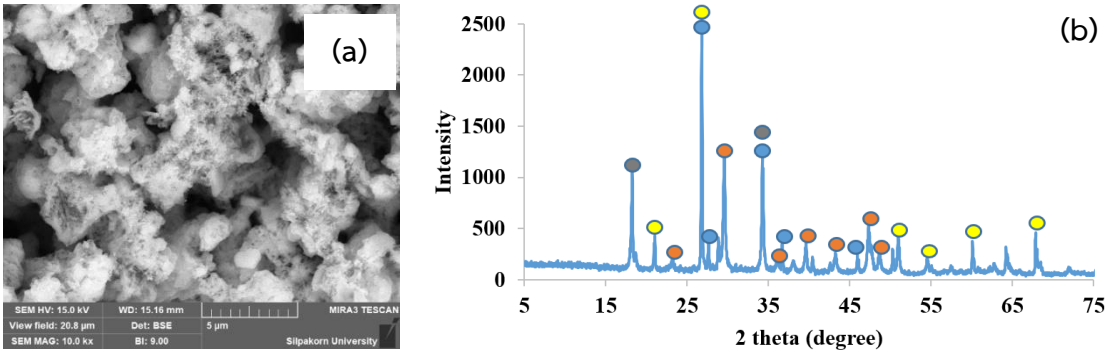
สำหรับผลึก Aragonite ที่พบในปูนที่ทำขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ แต่ไม่พบในปูนโบราณ เนื่องจากในกระบวนการเกิดเป็น $CaCO_3$ จากปฏิกิริยาระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นั้นจะเกิดเป็น amorphous $CaCO_3$ ($CaCO_3$ แบบไร้รูปผลึก) ก่อน หลังจากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็น Calcite และ Vaterite (Trushina, Bukreeva, Kovalchuk, & Antipina, 2014) หลังจากนั้น Vaterite จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น Calcite ซึ่งเป็นรูปแบบผลึกที่มีความเสถียรมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามรูปผลึก Aragonite และ Vaterite สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ pH ระดับความอิ่มตัวและความเข้มข้นของสารที่เติมลงไป (additive concentration)(Liendo et al., 2022)



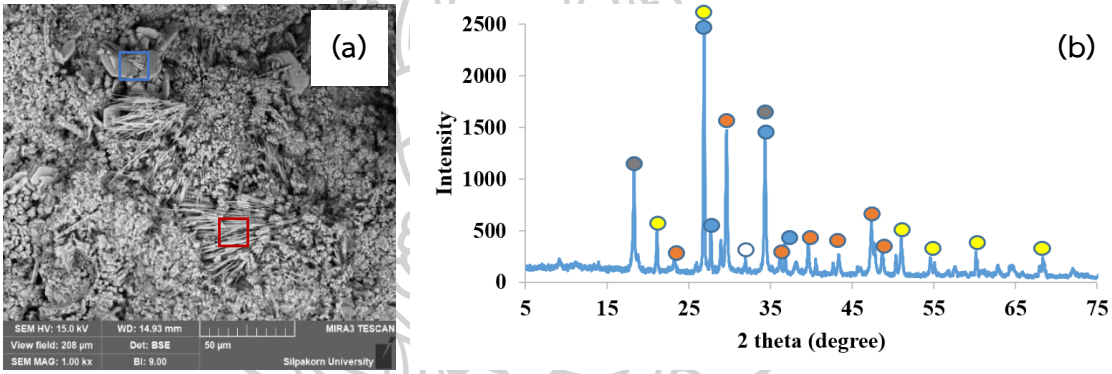
ภาพที่ 57 ตัวอย่างที่ 7 ก่อนแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย (กรอบสีแดง) และ Calcite (กรอบสีฟ้า) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Muscovite (●), Calcite (●), $Ca(OH)_2$ (●), Fe_2O_3 (●)



ภาพที่ 58 ตัวอย่างที่ 7 หลังแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย (กรอบสีแดง), Calcite (กรอบสีฟ้า) และอนุภาค NaCl (กรอบสีเขียว) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Muscovite (●), Calcite (●)



ภาพที่ 59 ตัวอย่างที่ 12 ปูนปั้น (อัตราส่วนในการวิจัย) ก่อนแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาคทราย และ $CaCO_3$ ในรูปของ Calcite และ Aragonite (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Calcite (●), aragonite (●), $Ca(OH)_2$ (●)



ภาพที่ 60 ตัวอย่างที่ 12 ปูนปั้น (อัตราส่วนในการวิจัย) หลังแช่ในสารละลาย NaCl (a) ภาพ SEM พบอนุภาค Calcite (กรอบสีฟ้า) และ Aragonite ซึ่งมีผลึกเป็นรูปคล้ายเข็ม (กรอบสีแดง) (b) ผล XRD แสดง diffraction peak ของ Quartz (●), Calcite (●), aragonite (●), $Ca(OH)_2$ (●), NaCl (○)

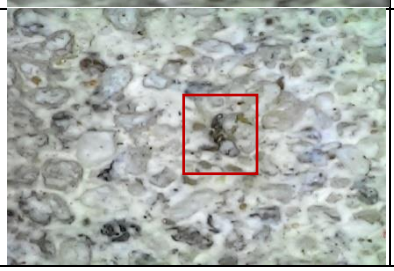
4.6 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน

เมื่อนำแผ่นปูนตัวอย่างที่ 7 อัตราส่วน 2 : 3 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ และแผ่นปูนตัวอย่างที่ 4 อัตราส่วน 2 : 5 (ปูนหิน) ฉาบบนแผ่นอิฐ มาดูดซับเกลือออกด้วยวัสดุดูดซับต่อไปนี้

1. A = Hydrogel (เซลลูโลส)
2. B = Hydrogel (เปลือกข้าวโพด),
3. C = Hydrogel (ไหมข้าวโพด)
4. D = กระดาษสา
5. E = Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด)
6. F = Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด)
7. G = Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด)

ผลจากการดูดซับเกลือบนแผ่นปูนด้วยวัสดุดูดซับพบว่า แผ่นปูนบริเวณที่เคยเป็นฝ้าขาว (เกิดจากการสะสมของเกลือ NaCl ในเนื้อปูน) หลังจากถูกดูดซับด้วย Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด) จะเห็นเม็ดทรายได้อย่างชัดเจนดังข้อมูลในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ตัวอย่างลักษณะพื้นผิวปูนก่อน-หลังการดูดซับ NaCl จากกล้อง portable digital microscopec

ตัวอย่างที่	วัสดุดูดซับ	ภาพขยายบนพื้นผิวตัวอย่างปูนก่อน-หลังการดูดซับ NaCl	
		ก่อน	หลัง
7	A1 Hydrogel (เซลลูโลส)		
	A2 Hydrogel (เซลลูโลส)		
	B1 Hydrogel (เปลือกข้าวโพด)		
	B2 Hydrogel (เปลือกข้าวโพด)		
7	C1 Hydrogel (ไหมข้าวโพด)		

ตัวอย่างที่	วัสดุดูดซับ	ภาพขยายบนพื้นผิวตัวอย่างปูนก่อน-หลังการดูดซับ NaCl	
		ก่อน	หลัง
	C2 Hydrogel (ไหมข้าวโพด)		
4	D1 กระดาษสา		
	D2 กระดาษสา		
4	E1 Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด)		
	E2 Hydrogel_Urea (เปลือกข้าวโพด)		
	F1 Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด)		

ตัวอย่างที่	วัสดุดูดซับ	ภาพขยายบนพื้นผิวตัวอย่างปูนก่อน-หลังการดูดซับ NaCl	
		ก่อน	หลัง
	F2 Hydrogel_Urea (ไหมข้าวโพด)		
4	G1 Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด)		
	G2 Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด)		

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

ประติมากรรมเทพนมเป็นประติมากรรมลอยตัว โครงสร้างก่อด้วยอิฐภายนอกฉาบ/ปั้นทับด้วยปูน จากการสำรวจพบคราบตะไคร่ทั่วบริเวณ ส่วนเศียรและชฎาปูนปั้นแตกหักจนเห็นแกนเหล็กและโครงใบหน้าเดิม เซรามิคประดับหลุดร่วง นอกจากนี้ยังพบว่าปูนปั้นบริเวณเศียรเป็นปูนใหม่ที่มีการผสมซีเมนต์ขาว ส่วนลำตัวประติมากรรมพบรอยร้าว และแตกหักจนเห็นแกนอิฐภายใน บริเวณชายผ้าด้านหน้ากระเบื้องเซรามิคหลุดร่วงทำให้เห็นลวดลายปูนปั้นดั้งเดิมที่ประดับด้วยเครื่องถ้วยเบญจรงค์และเครื่องถ้วยเขียนสี บางบริเวณบนลวดลายปูนปั้นยังพบร่องรอยสีดำและสีทอง ซึ่งเป็นร่องรอยของการลงรักปิดทองบนงานประติมากรรม เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ที่ออกมานั้นพบทองคำ (Au) โดยสภาพปูนปั้นที่ถูกพอกทับมีรอยบิ่นแตกหักและรอยร้าวลึก นอกจากนี้ลวดลายบางส่วนกร่อนจนเห็นลวดลายไม่ชัดเจน เซรามิคที่ประดับมีสีซีดจาง พบร่องรอยของการซ่อมแซมโดยการฉาบปูนใหม่ทับบริเวณด้านหลัง

5.2 การเก็บตัวอย่างปูนและอิฐที่ใช้ในประติมากรรมเทพนมและการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างปูน (T1-1, T1-2, T1-3 และ T-2) ด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีธาตุองค์ประกอบคล้ายคลึงกันคือมีธาตุ คาร์บอน (C), ออกซิเจน (O), แมกเนเซียม (Mg), อลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si), โพแทสเซียม (K) และแคลเซียม (Ca) ยกเว้นตัวอย่างปูน T1-1 ที่พบธาตุไนโตรเจน (N), (F), และทอง (Au) ในขณะที่ตัวอย่างอิฐ T1-4 จะพบธาตุออกซิเจน (O), แมกเนเซียม (Mg), อลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไทเทเนียม (Ti) และ เหล็ก (Fe) นอกจากนี้ได้นำตัวอย่างปูน T1-1 และ T1-2 มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction ได้พบผลึกควอตร์ซ (SiO_2) และ $CaCO_3$ ในรูปของผลึก Calcite นอกจากนี้ยังพบ Mica ในรูปผลึก Margarite ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $CaAl_2(Al_2Si_2)O_{10}(OH)_2$

5.3 การเตรียมปูนขาว

เตรียมปูนขาวโดยการเผาปูนหินหรือปูนไข่ที่อุณหภูมิ 550°C จะได้ CaO ซึ่งตรวจสอบเอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค IR spectroscopy โดยพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเผาให้นานขึ้นจะได้ CaO ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

5.4 การเตรียมชิ้นงานปูนโบราณ

การเตรียมชิ้นงานปูนฉาบทั้งหมด 3 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย คือ 1:3, 2:5 และ 2:3 โดยที่อัตราส่วน 1:3 และ 2:5 เป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร สำหรับสูตร 2:3 นั้นปรับขึ้นใหม่ในงานวิจัยนี้ โดยปูนหมักที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากเปลือกไข่ นอกจากนี้มีการใช้แผ่นปูนซีเมนต์แทนแผ่นอิฐ จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง เตรียมชิ้นงานปูนตำทั้งหมด 2 ตัวอย่าง โดยปูนตำที่ใช้นั้นมีแหล่งที่มาจากปูนขาว 2 ชนิด คือ ปูนขาวที่มาจากปูนหินและปูนขาวที่มาจากเปลือกไข่ ส่วนผสมต่างๆเป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากช่างปูนของกรมศิลปากร โดยจะฉาบปูนตำไว้ด้านบนปูนฉาบซึ่งเป็นชั้นนอกสุด และได้มีการเตรียมตัวอย่างปูนปั้นทั้งหมด 2 ตัวอย่าง คืออัตราส่วนวิจัย และอัตราส่วนของช่างกรมศิลปากร นอกจากนี้ได้มีการเตรียมตัวอย่างปูนสอทั้งหมด 2 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนหมักและทราย 1:1 และ 1:1.5 ซึ่งเป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากกรมศิลปากร

5.5 การแช่แผ่นปูนในน้ำเกลือ

ปูนฉาบ

ปูนฉาบในแต่ละสูตรที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีอัตราส่วนระหว่างปูนและทรายเป็น 1 :3, 2: 5 และ 2 : 3 โดยมีการทดลองใช้ทั้งในส่วนของปูนหินและปูนไข่ และพบว่าปูนหินมีความแข็งแรงมากกว่าปูนไข่ นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX พบการก่อตัวของอนุภาคปูนบนทราย ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณปูนและทราย จะส่งผลต่อสมบัติของเนื้อปูนฉาบดังข้อมูลสรุปในตารางที่ 15 นอกจากนี้ยังพบว่าปูนฉาบสูตรที่มีปริมาณทรายมาก (สูตร 1:3) นั้นอนุภาคเกลือก่อตัวได้ยากเนื่องจาก การก่อตัวของอนุภาคเกลือจะเกิดขึ้นบนเนื้อปูน ถ้ามีปูนน้อย การก่อตัวของผลึก NaCl จะน้อยตามไปด้วยนั่นเอง นอกจากนี้ความพรุนตัวของวัสดุที่ถูกฉาบยังมีผลต่อการก่อตัวของ NaCl ด้วย โดยพบว่าปูนฉาบสูตรที่มีปริมาณทรายมาก (สูตร 1:3) เมื่อนำไปฉาบบนอิฐและแผ่นปูนซีเมนต์ จะพบการก่อตัวของผลึก NaCl เมื่อฉาบบนแผ่นปูนซีเมนต์ซึ่งมีความพรุนตัวน้อยกว่าอิฐ แผ่นปูนซีเมนต์จะช่วยกักไม่ให้อนุภาคของ NaCl ผ่านเข้าออกได้ง่ายเหมือนกับแผ่นอิฐ ทำให้ปูนสูตรนี้ยังกักเก็บ NaCl เอาไว้ได้

ตารางที่ 15 ลักษณะเด่นที่พบของเนื้อปูนฉาบแต่ละสูตร

สูตรปูนฉาบ	ลักษณะเด่นที่พบ			
	การยึดติด	**ลักษณะเนื้อปูน**	**การก่อตัวของผลึกเกลือ**	**ความคงตัวของเนื้อปูนฉาบหลังดูดซับเกลือ**
1:3	ปานกลาง	หยาบร่วน	ยาก	มีการหลุดร่อนของเนื้อปูนออกจากอิฐหรือปูนซีเมนต์
2:5	ดี	ละเอียดมากขึ้นและจับตัวกันดี	ดี	ยังคงยึดเกาะกับอิฐหรือปูนซีเมนต์
2:3	ดีมาก	ละเอียดมากและจับตัวกันดีมาก	ดี	ยังคงยึดเกาะกับอิฐหรือปูนซีเมนต์

ปูนตำ

การศึกษาพบว่าปูนตำจากปูนหินจะมีความคงตัวเมื่อเจอน้ำมากกว่าปูนตำจากปูนเปลือกไข่ เนื่องจากสูตรปูนตำผสมเพียงเยื่อกระดาษ ไม่มีการผสมทรายซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้ปูนเกิดความแข็งแรง จากข้อมูล SEM-EDX และ XRD พบว่าปูนหินมีองค์ประกอบที่เป็น muscovite ซึ่งเป็นสารประกอบพวก aluminosilicate ซึ่งช่วยทำให้ปูนหินเกิดความแข็งแรง

ปูนปั้น

สำหรับปูนปั้นที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้มี 2 สูตรคือสูตรที่คิดค้นในงานวิจัยนี้และสูตรที่มาจากช่างฝีมือของกรมศิลปากร พบว่าผล SEM-EDX ของเนื้อปูนหลังจากแช่ในน้ำเกลือ จะพบอนุภาคของ NaCl กระจายตัวในเนื้อปูนคล้ายคลึงกัน

5.6 การดูดซับเกลือบนแผ่นปูน

ผลจากการดูดซับเกลือบนแผ่นปูนด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 7 ประเภทพบว่า แผ่นปูนบริเวณที่เคยเป็นฝ้าขาว (เกิดจากการสะสมของเกลือ NaCl ในเนื้อปูน) หลังจากถูกดูดซับด้วย Hydrogel_Urea (ซังข้าวโพด) จะเห็นฝ้าขาวจางหายไป และเห็นเม็ดทรายได้ชัดเจนกว่าวัสดุดูดซับอื่น

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้ยังขาดการศึกษาปูนโบราณที่มาจากเปลือกหอย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอดีต หากได้มีการศึกษาเปรียบเทียบปูนที่มาจากหินอาจจะได้ปูนที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์โบราณสถานมากขึ้น นอกจากนี้อาจจะมีการเพิ่มปูนซีเมนต์ขาวเข้าไปในปูนหมักเพื่อศึกษาข้อดีข้อเสียที่เกิดขึ้น โดยปัจจุบันสูตรปูนฉาบและปูนสอของกรมศิลปากรมีการเพิ่มปูนซีเมนต์ขาวเข้าไปเพื่อช่วยในเรื่องการแข็งตัวของปูนฉาบให้เร็วขึ้น เนื่องจากปัจจุบันกรมศิลปากรมีระยะเวลาในการบูรณะหรืออนุรักษ์ตามระยะเวลาของงบประมาณทำให้ต้องใช้วัสดุที่ช่วยเร่งการแข็งตัวของปูนเช่นปูนซีเมนต์ขาว

รายการอ้างอิง

Albuquerque, M. C., Jiménez-Urbistondo, I., Santamaría-González, J., Mérida-Robles, J. M., Moreno-Tost, R., Rodríguez-Castellón, E., . . . Maireles-Torres, P. (2008). CaO supported on mesoporous silicas as basic catalysts for transesterification reactions. *Applied Catalysis A: General,* 334(1-2), 35-43.

Boynton, R. S. (1980). Chemistry and technology of lime and limestone, John Wiley&Sons. *Inc., New York*.

Cazalla, O., Rodriguez‐Navarro, C., Sebastian, E., Cultrone, G., & De la Torre, M. J. (2000). Aging of lime putty: effects on traditional lime mortar carbonation. *Journal of the American Ceramic Society,* 83(5), 1070-1076.

Crawfurd, J. (1987). *Journal of an Embassy to the Courts of Siam and Cochin China*: Oxford University Press.

Jones, B. (2017). Review of calcium carbonate polymorph precipitation in spring systems. *Sedimentary Geology,* 353, 64-75.

Khachani, M., El Hamidi, A., Halim, M., & Arsalane, S. (2014). Non-isothermal kinetic and thermodynamic studies of the dehydroxylation process of synthetic calcium hydroxide Ca (OH) 2. *J. Mater. Environ. Sci,* 5(2), 615-624.

Kirca, Ö. (2018). Ancient binding materials, mortars and concrete technology: History and durability aspects. *Structural Analysis of Historical Constructions; Modena, C., Lourenço, PB, Roca, P., Eds*, 87-95.

Leonowens, A. H. (1873). *The English governess at the Siamese court: Being recollections of six years in the royal palace at Bangkok*: JR Osgood.

Liendo, F., Arduino, M., Deorsola, F. A., & Bensaid, S. (2022). Factors controlling and influencing polymorphism, morphology and size of calcium carbonate synthesized through the carbonation route: A review. *Powder Technology,* 398, 117050.

Moorehead, D. (1986). Cementation by the carbonation of hydrated lime. *Cement and concrete research,* 16(5), 700-708.

Rodriguez-Navarro, C., Hansen, E., & Ginell, W. S. (1998). Calcium hydroxide crystal evolution upon aging of lime putty. *Journal of the American Ceramic Society,* 81(11), 3032-3034.

Snow, J., & Torney, C. (2014). *Lime mortars in traditional buildings*: Historic Scotland.

Suresh, S., Karthikeyan, S., & Jayamoorthy, K. (2016). FTIR and multivariate analysis to study the effect of bulk and nano copper oxide on peanut plant leaves. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices,* 1(3), 343-350.

Thriveni, T., Um, N., Nam, S.-Y., Ahn, Y. J., Han, C., & Ahn, J. W. (2014). Factors affecting the crystal growth of scalenohedral calcite by a carbonation process. *Journal of the Korean Ceramic Society,* 51(2), 107-114.

Trushina, D. B., Bukreeva, T. V., Kovalchuk, M. V., & Antipina, M. N. (2014). CaCO3 vaterite microparticles for biomedical and personal care applications. *Materials Science and Engineering: C,* 45, 644-658.

Van Balen, K., & Van Gemert, D. (1994). Modelling lime mortar carbonation. *Materials and structures,* 27, 393-398.

กรมการศาสนา. (2525). ประวัติวัดทั่วราชอาณาจักร. พระนคร: โรงพิมพ์การศาสนา.

กองโบราณคดี กรมศิลปากร. (ม.ป.ป.). รายงานสำรวจขึ้นทะเบียนโบราณสถาน. Retrieved from

กองวรรณคดีและประวัติศาสตร์ กรมศิลปากร. (2535). พระราชพงศาวดารฉบับพระราชหัตถเลขา. กรุงเทพฯ: หจก.ไอเดียสแควร์.

ทิพากรวงศ์. (2503). พระราชพงศาวดารกรุงรัตนโกสินทร์ รัชกาลที่ 1. พระนคร: องค์การค้าของคุรุสภา.

ประยูร อุลุชาฎะ. (2540). คำถาม-คำตอบเรื่องศิลปะไทย. กรุงเทพฯ: บริษัท ต้นอ้อแกรมมี่ จำกัด.

ประยูร อุลุชาฎะ. (2541). ศิลปกรรมในบางกอก. กรุงเทพ: บริษัท 2020 เวิลด์ มีเดีย.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2531). ประวัติวัดพระยาทำ. กรุงเทพฯ: บริษัท ปิ่นเกล้าการพิมพ์ จำกัด.

วัดพระยาทำวรวิหาร. (2550). กาลเวลาที่วัดนาค. กรุงเทพฯ: วัดพระยาทำวรวิหาร.

สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2563). เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน. Retrieved from http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html. Retrieved 5 เมษายน 2563 http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html

สมคิด จิระทัศนกุล. (2554). รู้เรื่องวัด วิหาร โบสถ์ เจดีย์ พุทธสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพฯ: มิวเซียม เพรส.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). บทนิยามเกี่ยวกับปูนไลม์และหินปูน. Retrieved from http://web.rid.go.th/ome/uploads/tis/fulltext/TIS202_1-2548.pdf. Retrieved 10 เมษายน 2563 http://web.rid.go.th/ome/uploads/tis/fulltext/TIS202_1-2548.pdf.

สำนักนายกรัฐมนตรี. (2525). ประชุมหมายรับสั่งภาคที่ 2 สมัยกรุงรัตนโกสินทร์. กรุงเทพฯ: สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี.

สำนักหอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร. (2450). เอกสารกระทรวงธรรมการ ศ.6/39 (พ) เรื่อง วัดพระยาทำ ธนบุรี (27 ก.ค. 2450 – 2 ก.ค. 2451).

สุขกมล วงศ์สวรรค์. (2545). การวิเคราะห์ปูนขาวจากเปลือกหอยที่แหล่งโบราณคดีวังไผ่ อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี. (ปริญญาศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร,

สุรชัย ทรัพย์เพิ่ม และสมสุข แขมคำ. (2558). ประติมากรรมปูนปั้นกับพัฒนาการ : อดีต-ปัจจุบันผ่านสกุลช่างเพชรบุรี. Paper presented at the การประชุมวิชาการ HERP CONGRESS III มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศศิวิมล สุขสวัสดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	01 กรกฎาคม 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดสุราษฎร์ธานี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2554 สำเร็จการศึกษาปริญญาศิลปศาสตร์บัณฑิต สาขาโบราณคดี มหาลัยวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ.2562 ศึกษาต่อปริญญามหาบัณฑิต สาขาอนุรักษ์ศิลปกรรม มหาลัยวิทยาศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	199/128 ม.1 อิคอนเนเจอร์ศาลายา ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
ผลงานตีพิมพ์	ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ ในโครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 12 เรื่อง “บัณฑิตวิจัย สร้างสรรค์ และนวัตกรรม : การขับเคลื่อนสังคมเข้าสู่ยุคปกติใหม่ด้วยองค์ความรู้” ในหัวข้อ "สำรวจและศึกษาการเสื่อมสภาพของประติมากรรมเทพพนม วัดพระยาทำ"

มหาวิทยาลัยศิลปากร