การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์จิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ : กรณีศึกษาของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา

โดย

Mr.La Sokheng

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์จิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ : กรณีศึกษาของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา

โดย
Mr.La Sokheng

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE STUDIES ON DETERIORATION AND CONSERVATION OF PAINTINGS ON WOODEN DOORS AND WINDOWS : CASE STUDIES OF CAMBODIAN NATIONAL MUSEUM, CAMBODIA

By

Mr. La SOKHENG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Arts (CONSERVATION OF FINE ART)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2020

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์จิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ : กรณีศึกษาของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา
โดย	La Sokheng
สาขาวิชา	อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

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

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(พิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ)

61904201 : อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : จิตรกรรมบนไม้, สี, กาว, รังสีอัลตราไวโอเลต

Mr. La Sokheng: การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์จิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ : กรณีศึกษาของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

จิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาที่เขียนขึ้นระหว่างค.ศ. 1917-1924 มีจำนวนจิตรกรรมทั้งหมด 26 ภาพ พบการชำรุดเสื่อมสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีทั่วทั้งพื้นผิวของจิตรกรรม ชั้นสีมีการแตกร้าว หลุดร่อน และเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉดสี ส่วนแผ่นไม้ถูกทำลายด้วยแสงแดดและน้ำฝน งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะเก็บข้อมูลและประเมินความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม ศึกษาองค์ประกอบสีที่ใช้ในจิตรกรรม และศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลต (UV-C) ต่อความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน เริ่มต้นด้วยขั้นตอนการบันทึกความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ด้วยรายงานบันทึกสภาพที่ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป สภาพทั่วไปของจิตรกรรม วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม รายละเอียดของความเสื่อมสภาพ และข้อมูลการอนุรักษ์จิตรกรรมที่ผ่านมา ขั้นตอนที่สองได้ทำการเก็บตัวอย่างสีบนจิตรกรรมด้วยวิธี nondestructive technique โดยใช้สำลี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในตัวอย่างสีที่ใช้บนจิตรกรรมด้วยเทคนิค SEM-EDX พบว่าสีที่ใช้บนจิตรกรรมคือ สีน้ำเงิน Prussian blue สีขาวตะกั่ว สีเขียว copper-based pigment สีแดงชาด สำหรับสีน้ำตาลพบธาตุ Ba ซึ่งน่าจะมาจาก blanc fixe ($BaSO_4$) ที่ผสมอยู่กับ lake pigment และมีการใช้แผ่นทองคำ (gold alloy) สำหรับงานปิดทอง ส่วนชั้นรองพื้นคือ แคลเซียมคาร์บอเนตและสีขาวตะกั่ว และขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยเป็นการศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลต (UV-C) ต่อความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน โดยวิเคราะห์ระดับความเสื่อมสภาพด้วยเทคนิค SEM-EDX, FTIR, TGA และ XRD หลังจากวางภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตพบว่าตัวอย่างต่างๆจะให้ผลระดับความเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน ฟิล์มกาวเมล็ดมะขามมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีความเสถียรเชิงความร้อนลดลง ในขณะที่ฟิล์มกาวธนนไชยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ชั้นรองพื้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสีและพื้นผิวหลุดร่อนเมื่อถูกสัมผัส ซึ่งสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของกาวเมล็ดขาม สำหรับชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยหลักฐานจากเทคนิค XRD ยืนยันว่าสารสีน้ำตาลคือ β-PbO_2, Pb_3O_4 และ β-FeOOH ใขณะที่ชั้นสีแดงชาดนั้นหลังจากอยู่ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 วัน เกิดการเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มและมีจุดดำขึ้นบนพื้นสีแดง ซึ่งเกิดจาก α-HgS (สีแดง) เปลี่ยนรูปผลึกเป็น β-HgS (สีดำ) และพบ calcite บนพื้นผิวด้วย หลังจาก 35 วันจะเกิดของแข็งสีขาวคลุมทั่วทั้งพื้นผิว ของแข็งสีขาวนี้คือ gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) ที่ได้จากกระบวนการ Calcium sulfation ของสีแดงชาด ส่วนชั้นสีเขียวมาลาไคท์นั้น จากคุณสมบัติของสีเขียวมาลาไคท์ที่มีความเสถียรสูงมาก ทำให้สาเหตุการเกิดเฉดสีเหลืองขึ้นบนชั้นสีเขียวของมาลาไคท์ และรอยแตกร้าวของชั้นรองพื้น นั้นมาจากการเสื่อมสภาพของกาวมะขามภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

61904201 : Major (CONSERVATION OF FINE ART)

Keyword : Cambodian panel painting, Pigment, Binding media, Ultraviolet light

MR. LA SOKHENG : THE STUDIES ON DETERIORATION AND CONSERVATION OF PAINTINGS ON WOODEN DOORS AND WINDOWS : CASE STUDIES OF CAMBODIAN NATIONAL MUSEUM, CAMBODIA THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR RADCHADA BUNTEM, Ph.D.

Cambodian panel paintings in the National Museum of Cambodia were constructed in 1917-1924. The total of 26 paintings were suffered from both physical and chemical deteriorations. The paint layers were cracked, delaminated and discolored. While the wood panel was damaged by the sunlight and rain water. This research aims to study on the deterioration record and assessment of the paintings, pigment compositions and the UV light effect on the deteriorations of glue films, ground and the paint layers on iron wood. In the initial step, the deterioration records on the panel paintings were performed using a designed condition report. The report is composed of general information, overview of painting conditions, symbolic uses for conditional record, detailed deterioration images and the history of preservative conservation of the panel paintings. The second step was the nondestructive pigment sampling process on the panel painting using cotton swabs. The samples were subsequently subjected to SEM-EDX analysis to reveal the elemental compositions. The pigments used in the paintings were Prussian blue, white lead, copper-based pigment and red cinnabar. The barium element found in the brown paint layer indicated the existence of blanc fixe ($BaSO_4$) used as a base of lake pigment. Gold leaf used for gilding details was also found on the painting surface. While the ground of the panel painting was consisted of calcium carbonate and lead white. For the final research step, the UV-C effects on tamarind seed and liang-chey resin films, ground layer, and paint layers on iron wood were investigated. The degree of deteriorations was analyzed using SEM-EDX, TGA, FTIR, and XRD. After being irradiated by UV-C, all samples showed different degree of deteriorations. The tamarind film turned brown after 14 days and its thermal stability was decreased. While no color change was observed in liang-chey resin film. Ground layer showed discoloration and cracking due to the deterioration of tamarind binder. The brown layer found on Prussian blue surface after UV irradiation was confirmed using XRD as the mixture of β-PbO_2, Pb_3O_4 and β-FeOOH. After 14 days of UV-C irradiation, the red cinnabar turned to intense red colour with black spots all over the surface indicating the transformation from α-HgS (red) to β-HgS (black). In addition, the XRD showed the presence of calcite on the cinnabar surface. After 35 days, the white solid covering the pigment surface was identified as gypsum ($CaSO_4.2H_2O$). This white compound was formed from calcite sulfation of cinnabar. Due to the high stability of malachite pigment, the cause of yellowish color of malachite layer and the cracking of the base layer is from the deterioration of tamarind binder under UV-C radiation.

กิตติกรรมประกาศ

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

โครงการพระราชทานความช่วยเหลือแก่ราชอาณาจักรกัมพูชา ตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนม ประเทศกัมพูชา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามถึงเป็นอย่างสูง ที่คอยสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันให้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

La Sokheng

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย 3

1. การศึกษาด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง 3

2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ และการเก็บตัวอย่าง 3

3. การเตรียมผงกาวและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 3

4. การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 4

4.1 สีสังเคราะห์ 4

4.2 สีธรรมชาติ 4

5. การศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสี 4

5.1 การเตรียมฟิล์มกาว 4

5.2 การเตรียมชั้นรองพื้น 4

5.3 การเตรียมชั้นสี 4
6. การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้นและชั้นสีบนไม้ตะเคียน 4
7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล 5
1.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 6
2.1 ประวัติพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชาและจิตรกรรมบนบานประตูหน้าต่าง 6
2.2. จิตรกรรมในประเทศกัมพูชา 11
2.2.1 ประเภทของจิตรกรรม 11
1. จิตรกรรมแบบประเพณี 11
2. จิตรกรรมสมัยใหม่ 12
2.2.2 เรื่องราวที่ปรากฏในจิตรกรรม 12
2.2.3 เทคนิคของจิตรกรรรมบนแผ่นไม้ 13
1. คุณสมบัติของไม้ 13
2. การเตรียมพื้นไม้สำหรับงานจิตรกรรม 14
3. สี 15
4. การปิดทองคำ 15
5. พู่กัน 15
6. กาวสำหรับงานจิตรกรรม 16
2.3 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาจิตรกรรม 17
2.3.1 เทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 17
2.3.2 เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) 18
2.3.2 เทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR) 19

2.3.3 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 21
3.1 อุปกรณ์ 21
3.2 สารเคมี 22
3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ 22
3.3.1 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 22
3.3.2 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ยี่ห้อ EDAX คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 22
3.3.3 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ Malvern Panalytical Aeris XRD คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 23
3.3.4 เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ยี่ห้อ Perkin Elmer (Pyris 1 TGA) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 23
3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 23
3.5 การเก็บตัวอย่างสีจากจิตรกรรมบนบานหน้าต่างและบานประตูของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา และการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ 24
3.6 การเตรียมผงกาวและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 26
3.6.1 ผงกาวเมล็ดมะขาม 26
3.6.2 การผลิตผงกาวธนนไชย 26
3.6.3 การวิเคราะห์ผงกาวด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 26
3.7 การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 27
3.7.1 สีสังเคราะห์ 27
3.7.2 สีธรรมชาติ 27
3.8 การศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ 27
3.8.1 ฟิล์มกาว 27

3.8.2 ชั้นรองพื้น 27
3.8.3 ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ 28
3.9 การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน 28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 29
4.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 29
4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างสีของจิตรกรรมบนบานหน้าต่างและบานประตูของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา 34
4.3 การเตรียมผงกาวและผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 40
4.3.1. การเตรียมผงกาวเมล็ดมะขาม 40
4.3.2 ผงกาวธนนไชย 41
4.3.3 ผลการวิเคราะห์กาวด้วย Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) 41
4.4 การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 42
4.4.1 สีสังเคราะห์ 42
4.4.2 สีธรรมชาติ 43
4.5 การเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ 44
4.5.1 ฟิล์มกาว 44
4.5.2 ชั้นรองพื้น 44
4.5.3 การเตรียมชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ 45
4.6 การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน 46
4.6.1 การศึกษาความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว 46
4.6.2 การศึกษาความเสื่อมสภาพของชั้นรองพื้น 49
4.6.3 การศึกษาความเสื่อมสภาพของชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ 50
ชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) 51

ชั้นสีแดงชาด 53

ชั้นสีเขียวมาลาไคท์ (Malachite) 54

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 56

ข้อเสนอแนะ 58

รายการอ้างอิง 59

ภาพผนวก ก 63

ประวัติผู้เขียน 64

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 รายละเอียดภาพจิตรกรรมของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา 9

ตารางที่ 2 ชนิดการสั่นของแป้ง (Kizil, Irudayaraj, & Seetharaman, 2002)..... 19

ตารางที่ 3 บริเวณที่เก็บตัวอย่างสีจากจิตรกรรม..... 24

ตารางที่ 4 รายงานบันทึกสภาพจิตรกรรมบนแผ่นไม้..... 29

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างสี..... 36

ตารางที่ 6 ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในจิตรกรรม 39

ตารางที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมผงกาว 40

ตารางที่ 8 ขั้นตอนการผลิตผงกาวธนนไชย 41

ตารางที่ 9 ลักษณะการสั่นของพันธะในตัวอย่างผงกาว 42

ตารางที่ 10 ขั้นตอนการสังเคราะห์สีน้ำเงิน Prussian blue..... 42

ตารางที่ 11 การเตรียมชั้นรองพื้นด้วยน้ำกาวที่มีความเข้มข้น 2% (w/v)..... 45

ตารางที่ 12 การเตรียมชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ..... 46

ตารางที่ 13 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มกาวก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต..... 47

ตารางที่ 14 ผล TGA ของฟิล์มกาวเมล็ดมะขามและฟิล์มกาวธนนไชย 49

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนผังที่ตั้งของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างในพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา 2

ภาพที่ 2 George Groslier (นั่ง) (หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549) 6

ภาพที่ 3 งานสมโภชพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติเป็นทางการ โดยพระบาทสมเด็จพระศรีสวัสดิ์ (หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)..... 7

ภาพที่ 4 ศาสตราจารย์ ครูช่าง และลูกศิษย์ของโรงเรียนรจนา ปี ค.ศ. 1920..... 7

ภาพที่ 5 (ก) ด้านหน้าของพิพิธภัณฑ์ (ข) ห้องจัดแสดงในพิพิธภัณฑ์ 8

ภาพที่ 6 ศาสตราจารย์และลูกศิษย์กำลังตบแต่งและเขียนจิตรกรรมในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)..... 8

ภาพที่ 7 จิตรกรรมแบบประเพณีที่เขียนจากงานแกะสลักและงานประติมากรรม..... 11

ภาพที่ 8 จิตรกรรมแบบประเพณีเขียนจากลักษณะตัวละครหลวง (สาน ผลลา, 2555) 11

ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของเซลล์ (Hoffmann & Jones, 1990) 13

ภาพที่ 10 ลักษณะของต้นธนนไชย (สมัย เสวครบุรี & ทัษณ อาชวาคม, 2008)..... 16

ภาพที่ 11 Scanning Electron Microscopy & Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Surf) 17

ภาพที่ 12 การเกิดรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (Doménech-Carbó & Oc, 2016) 18

ภาพที่ 13 ลักษณะ curve ของการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (Stuart, 2007)..... 18

ภาพที่ 14 รูปแบบ XRD ของ Salt efflorescence บนพื้นผิวของจิตรกรรม..... 20

ภาพที่ 15 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR)..... 22

ภาพที่ 16 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 22

ภาพที่ 17 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)..... 23

ภาพที่ 18 เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)..... 23

ภาพที่ 19 ตัวอย่างวางไว้ภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 28
ภาพที่ 20 สเปกตรัมอินฟราเรดของ (ก) ผงกาวมะขาม (ข) ผงกาวธนนไชย 41
ภาพที่ 21 สเปกตรัมอินฟราเรดสีน้ำเงิน Prussian blue 43
ภาพที่ 22 รูปแบบ XRD ของผงสีน้ำเงิน Prussian blue 43
ภาพที่ 23 รูปแบบ XRD (ก) ผงสีแดงชาด (ข) ผงสีเขียวมาลาไคท์ 44
ภาพที่ 24 ชั้นรองพื้นด้วยน้ำกาวที่มีความเข้มข้น 1% (w/v) (ก) ชั้นรองพื้นหลุดล่อน (ข) ชั้นสีลอก 44
ภาพที่ 25 ชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue 45
ภาพที่ 26 ภาพถ่ายก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตในระยะเวลา 14 วัน และ 35 วัน .. 46
ภาพที่ 27 สเปกตรัมอินฟราเรดของ (ก) ฟิล์มกาวมะขาม (ข) ฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน (สีดำ) และหลัง (สีแดง) วางภายใต้แสง UV 35 วัน 48
ภาพที่ 28 Thermogram ของ (ก) ฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม (ข) ฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 0 และ 35 วัน 48
ภาพที่ 29 ภาพถ่ายชั้นรองพื้นก่อน-หลังภาพใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 49
ภาพที่ 30 ผล SEM-EDX ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 50
ภาพที่ 31 รูปแบบ XRD ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 35 วัน 50
ภาพที่ 32 ลักษณะของภาพเขียนบนกระดาษก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน 51
ภาพที่ 33 ชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) ก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน 51
ภาพที่ 34 ผล SEM-EDX ของชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 35 วัน 52
ภาพที่ 35 รูปแบบ XRD ของชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) ที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 52
ภาพที่ 36 ชั้นสีแดงชาดก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน .. 53
ภาพที่ 37 ผล SEM-EDX ของชั้นสีแดงชาดที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 54

ภาพที่ 38 รูปแบบ XRD ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา (ก) 14 และ (ข) 35 วัน 54

ภาพที่ 39 ชั้นสีเขียวมาลาไคท์ก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 วัน และ 35 วัน 55

ภาพที่ 40 รูปแบบ XRD ของชั้นสีเขียวมาลาไคท์ที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต 55

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

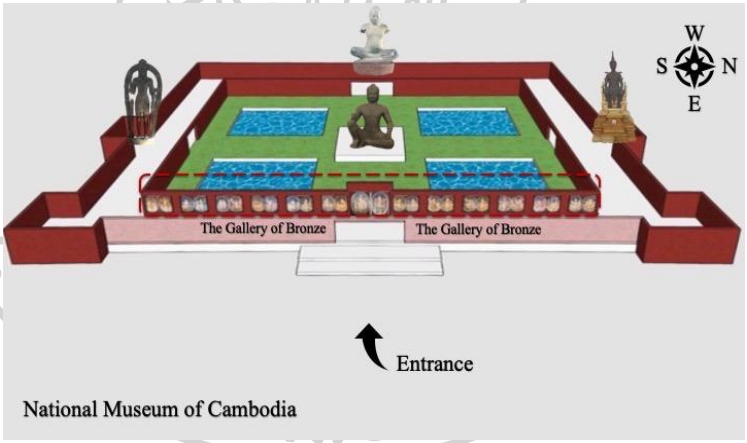
พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาตั้งอยู่ใจกลางกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา อยู่ทางทิศเหนือของพระบรมมหาราชวังจตุมุข ด้านหน้าเป็นลานพระเมรุ มีพื้นที่ร่วมกว่า 5000 ตารางเมตร เป็นอาคารจัตุรมุขยอดปราสาทสีแดง ได้รับแรงบันดาลใจมาจากปราสาทหินเมืองพระนคร จังหวัดเสียมเรียบ พิพิธภัณฑ์ยังได้จัดแสดงโบราณวัตถุกว่าพันชิ้นและยังมีโบราณวัตถุที่เก็บรักษาไว้ในคลังอีกถึงหมื่นชิ้น โดยโบราณวัตถุสำคัญที่จัดแสดงในพิพิธภัณฑ์มีตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ รวมทั้งสมัยก่อนและหลังพระนคร

ช่วงสมัยที่ฝรั่งเศสเข้ามาทำการล่าอาณานิคมในประเทศกัมพูชา มีนักวิชาการชาวฝรั่งเศสจำนวนมากสนใจทำการศึกษาเกี่ยวกับประวัติศาสตร์ ศิลปะเขมร และได้ค้นพบโบราณวัตถุสำคัญ ๆ หลายชิ้นทั่วประเทศ ทำให้ชาวฝรั่งเศสก่อสร้างพิพิธภัณฑ์ขึ้นมาเพื่อเก็บรักษาโบราณวัตถุเหล่านี้ อาคารพิพิธภัณฑ์เป็นสถาปัตยกรรมแบบเขมร สร้างขึ้นปี ค.ศ. 1917-1924 เปิดใช้งานครั้งแรกปี ค.ศ. 1920 และได้รับการปรับปรุงในปี ค.ศ. 1968 ออกแบบโดยชาวฝรั่งเศสชื่อว่า George Groslier เป็นคนที่มีความสามารถทางด้านศิลปะและมีบทบาทสำคัญต่อวงการศิลปะเขมร แต่เดิมบริเวณพิพิธภัณฑ์แห่งชาตินั้น George Groslier ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ห้องจัดแสดงโบราณวัตถุ และโรงเรียนศิลปะชื่อว่า Ecole de Arts de Cambodgiens หรือที่รู้จักในชื่อว่า ศาลารจนา หรือ โรงเรียนรจนา โดยอาคารด้านหน้าที่มียอดปราสาท 3 ยอดเรียงกัน (ทางด้านทิศตะวันออก) ใช้เป็นห้องจัดแสดงของพิพิธภัณฑ์ และอาคารด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันตก เป็นอาคารของโรงเรียนรจนา ซึ่งเป็นสถานที่สอนงานช่างและศิลปะต่าง ๆ เช่น งานแกะสลัก หล่อ หัวโขน ปั้น จิตรกรรม และนาฏศิลป์

ในช่วงนั้นประเทศกัมพูชามีการฟื้นฟูศิลปะขึ้นมาอีกครั้ง ได้ทำการสร้างพระตำหนัก พระที่นั่ง และอาคารใหม่หลายแห่ง ซึ่งการประดับตกแต่งและออกแบบพระตำหนักรวมทั้งอาคารต่าง ๆ ต้องการช่างฝีมือเป็นจำนวนมาก ดังนั้นครูช่างและคณะศิษย์ของโรงเรียนรจนาจึงมีบทบาทสำคัญในงานเหล่านี้ เช่น งานออกแบบอาคาร งานแกะสลัก และงานจิตรกรรม เป็นต้น (เพรีบ จันมารา, 2555) จิตรกรรมหลากหลายชิ้นถูกเขียนตามอาคารต่าง ๆ ซึ่งพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาเป็นหนึ่งในอาคารเหล่านั้น ครูช่างและคณะศิษย์ของโรงเรียนรจนาได้ทำการแกะสลักบานประตูและหน้าต่างไม้จากไม้ตะเคียน โดยภายนอกแกะสลักเป็นลวดลายดอกไม้ทาด้วยย่างรัก ส่วนภายในมีการเขียนภาพจิตรกรรมด้วยสีฝุ่นผสมน้ำยางธรรมชาติ จิตรกรรมบนบานประตูมีจำนวน 2 ภาพ และบนบานหน้าต่างมีจำนวน 24 ภาพ เรื่องราวที่เขียนจะเกี่ยวข้องกับวรรณกรรมของพระพุทธศาสนาและศาสนาพราหมณ์ เช่น รามเกียรติ์ สุวรรณหงส์ กากี สังข์ศิลป์ชัย และมณีเมขลารามสูร งานจิตรกรรม

เหล่านี้นับว่าเป็นงานชิ้นสำคัญอันมีค่าต่อการศึกษาทางด้านประวัติศาสตร์ศิลปะในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 ของประเทศกัมพูชา

สำหรับแผนผังตำแหน่งของงานจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาแสดงในภาพที่ 1 ถึงแม้งานจิตรกรรมจะถูกเขียนอยู่ด้านใน แต่บานประตูและหน้าต่างซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกจะเปิดออกในวันทำการของพิพิธภัณฑ์ ทำให้ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง นอกจากนี้น้ำฝนจะชะล้างสีบนจิตรกรรมให้ซีดจางและเกิดคราบต่าง ๆ บานประตูและหน้าต่าง จากการสำรวจงานจิตรกรรมเหล่านี้พบว่าเกิดความเสื่อมสภาพในหลากหลายรูปแบบทั้งกายภาพและเคมีทั่วทั้งพื้นผิว เช่น ชั้นรองพื้นและชั้นสีหลุดล่อน สีเกิดการเปลี่ยนแปลงและซีดจาง และวัสดุรองรับที่เป็นแผ่นไม้มีการเคลื่อนออกจากตำแหน่งเดิม ในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลและประเมินความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างในพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชาศึกษาองค์ประกอบสีของจิตรกรรม และศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม เพื่อเก็บความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมสภาพของจิตรกรรม ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางสำหรับการอนุรักษ์ต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังที่ตั้งของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างในพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเก็บข้อมูลและประเมินความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างในพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบสีของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างในพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้นและชั้นสีบนไม้ตะเคียน

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. เรียนรู้เทคนิคเกี่ยวกับจิตรกรรมบนแผ่นไม้
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในจิตรกรรมบนแผ่นไม้ เช่น ชนิดของกาว สี วัสดุรองพื้น
3. สามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนแผ่นไม้
4. ได้วิธีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพื่อชะลอความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนแผ่นไม้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

เก็บข้อมูลและประเมินความเสื่อมสภาพ รวมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบสีของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างไม้ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาโดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) และศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX), Thermogravimetric Analysis (TGA), Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR) X-ray Diffraction (XRD)

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูลทางประวัติศาสตร์ ความรู้ แนวคิด และเทคนิคในการเขียนจิตรกรรมบนแผ่นไม้ทั้งกัมพูชาและไทย ศึกษาความรู้เรื่องกาว และสี องค์ประกอบของสีที่ใช้ในจิตรกรรมโบราณ แหล่งข้อมูลทางด้านเอกสารและการสัมภาษณ์ เช่น ข้อมูลจากพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา ห้องสมุดมหาวิทยาลัยศิลปากร และเอกสารจากทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์

2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ และการเก็บตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ สำรวจสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยมีการบันทึกสภาพของการอนุรักษ์ด้วยลายลักษณ์อักษรและการการบันทึกภาพ ดำเนินการเก็บตัวอย่างสีโดยใช้สำลีพันเก็บบริเวณที่จะนำไปดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

3. การเตรียมผงกาวและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

เตรียมกาวเมล็ดมะขาม และธนนไชย แล้วนำมาทำให้เป็นผงเพื่อง่ายต่อการเก็บเป็นระยะเวลานาน รวมทั้งสะดวกต่อการใช้งาน วิเคราะห์ผงกาวที่ได้ ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR)

4. การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.1 สีสังเคราะห์

สีน้ำเงิน Prussian blue ได้จากการสังเคราะห์ โดยการผสมสารละลายอิ่มตัวในน้ำของ $FeCl_3$ และ $K_4[Fe(CN)_6]$ วิเคราะห์ผงสีน้ำเงิน Prussian blue ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) และ X-ray Diffraction

4.2 สีธรรมชาติ

นำสีแดงชาด และสีเขียวมาลาไคท์ (ได้จากร้านขายสีฝุ่นชื่อ กระยารงค์ by Nop-Art-Studio) มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction

5. การศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสี

5.1 การเตรียมฟิล์มกาว

นำผงกาวข้อ 3.1 (มะขามและธนนไชย) มาละลายในน้ำ เทลงบนจานพลาสติก อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 ℃ จะได้ฟิล์มกาวแห้ง

5.2 การเตรียมชั้นรองพื้น

เตรียมสารละลายกาวแต่ละชนิดในข้อ 3.1 (ยกเว้นกาวธนนไชย) เข้มข้น 2 % (w/v) แล้วนำมาผสมกับดินสอพองในอัตราส่วน 1 กรัม (ดินสอพอง) : 2 mL (กาว) แล้วนำมาทาบนแผ่นไม้ตะเคียน และแผ่นกระจกสไลด์

5.3 การเตรียมชั้นสี

นำผงสีแดงชาด ผงสีน้ำเงิน และผงสีเขียวมาลาไคท์ มาแช่น้ำกลั่นหนึ่งคืนจนเมล็ดสีแตกตัว และนำผงกาวธนนไชยข้อ 3.1 หนัก 2 กรัม ละลายในน้ำ 100 mL ที่อุณหภูมิประมาณ 60 – 65 องศาเซลเซียส ได้สารละลายความเข้มข้น 2% (w/v) จากนั้นนำสีแดงชาด สีน้ำเงิน และสีเขียวมาลาไคท์ มาผสมกับสารละลายกาวธนนไชยในอัตราส่วน 1 กรัม (ผงสี) : 10 mL (กาว) ใส่ในครกบดยา กวนให้ผงสีและกาวธนนไชยเป็นเนื้อเดียวกัน และนำมาทาบนชั้นรองพื้นที่เตรียมไว้ข้อ 4.1

6. การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน

นำฟิล์มกาวจากข้อ 4.1 ขนาด 2 x 2 cm, ชั้นรองพื้นจากข้อ 4.2 และชั้นสีจากข้อ 4.3 มาวางไว้ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV-C T8 18W, λ= 254 nm) เป็นระยะเวลา 14 และ 35 วัน ที่อุณหภูมิ 28 ℃ ความชื้น 70% (RH) ความเข้มของแสง 705 lux นำฟิล์มกาวก่อน-หลังการวางภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transformed

Infrared Spectroscopy (FT-IR), Thermogravimetric Analysis, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) และ X-ray Diffraction

7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

ประมวลเรื่องราว คุณค่างานศิลปกรรม ข้อมูลจากการศึกษาด้านเอกสารและการสัมภาษณ์ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลจากการสำรวจและเก็บข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ และผลการทดลองการผลิตกาวในรูปแบบเป็นผง มาตีความเปรียบเทียบเพื่อให้เข้าใจสาเหตุความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนแผ่นไม้ เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบสีของจิตรกรรมบนแผ่นไม้และได้แนวทางการอนุรักษ์ด้านการป้องกันและการอนุรักษ์ต่อไปในอนาคต

1.6 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของระยะเวลาการศึกษา 12 เดือน ตั้งแต่เดือน เมษายน 2563 และเสนอวิทยานิพนธ์ภายในเดือน เมษายน 2564

ขั้นตอน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. การศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง	■	■	■									
2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ และการเก็บตัวอย่างสี		■	■	■								
3. การเตรียมผงกาวและวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์				■	■	■	■					
4. การวิเคราะห์สีใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์				■	■	■	■					
5. การศึกษาวิธีการเตรียมชั้นรองพื้นและชั้นสี							■	■	■			
6. การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน									■	■		
7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล										■	■	
8. นำเสนอผลงานวิจัย											■	■

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

วรรณกรรมและองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยเบื้องต้น ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับประวัติพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชาและจิตรกรรมบนบานประตูหน้าต่าง จิตกรกรรมประเทศกัมพูชา เทคนิคจิตรกรรมบนแผ่นไม้ เทคนิควิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาจิตรกรรมบนแผ่นไม้

2.1 ประวัติพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชาและจิตรกรรมบนบานประตูหน้าต่าง

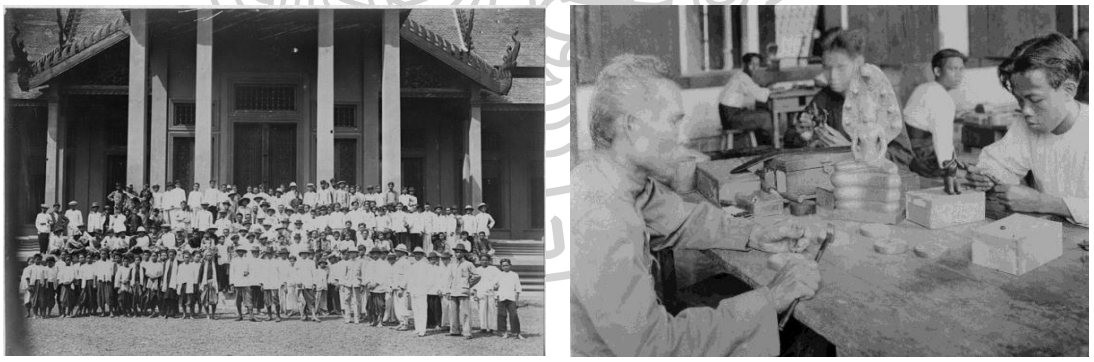
พิพิธภัณฑ์แห่งชาติกัมพูชา ตั้งอยู่ใจกลางกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา อยู่ทางทิศเหนือของพระบรมมหาราชวังจตุมุข ข้างหน้าเป็นลานพระเมรุ อาคารพิพิธภัณฑ์เป็นสถาปัตยกรรมแบบเขมร สร้างขึ้นปี ค.ศ. 1917 ออกแบบโดยชาวฝรั่งเศสชื่อว่า George Groslier (ภาพที่ 2) เป็นผู้มีความสามารถทางด้านศิลปะและมีความสำคัญต่อวงการศิลปะกัมพูชาในการก่อตั้งสถาบันการสอนศิลปะในประเทศกัมพูชา พระบาทสมเด็จพระศรีสวัสดิ์ทรงเปิดสมโภชพิพิธภัณฑ์เป็นทางการ ในวันที่ 13 เมษายน ค.ศ. 1920 (ภาพที่ 3) เดิมพิพิธภัณฑ์แห่งนี้มีชื่อว่าพิพิธภัณฑ์ อัลแบร์ ซาโร ตามชื่อของ Albert Sarraut อัครเทศาภิบาลฝรั่งเศสประจำอินโดจีนในสมัยนั้น ต่อมาภายหลังเมื่อประเทศกัมพูชาได้รับเอกราช จึงเปลี่ยนชื่อเป็นพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

ภาพที่ 2 George Groslier (นั่ง) (หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)

ภาพที่ 3 งานสมโภชพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติเป็นทางการ โดยพระบาทสมเด็จพระศรีสวัสดิ์

(หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)

ในบริเวณพิพิธภัณฑ์แห่งชาตินั้น George Groslier ได้สร้างโรงเรียนศิลปะชื่อว่า Ecole de arts de cambodgiens หรือที่รู้จักทั่วไปว่า ศาลารจนา หรือ โรงเรียนรจนา (ภาพที่ 4) โดยอาคารด้านหน้าที่มียอดมณฑป 3 ยอดต่อกัน (ทางด้านทิศตะวันออก) ใช้เป็นห้องจัดแสดงของพิพิธภัณฑ์ และอาคารด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันตก เป็นอาคารของโรงเรียนรจนา (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นสถานที่สอนงานช่างและศิลปะต่าง ๆ เช่น งานแกะสลัก งานหล่อ หัวโขน ปั้น จิตกรรม และนาฏศิลป์ เป็นต้น



ภาพที่ 4 ศาสตราจารย์ ครูช่าง และลูกศิษย์ของโรงเรียนรจนา ปี ค.ศ. 1920

(หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)

(ก) (ข)

ภาพที่ 5 (ก) ด้านหน้าของพิพิธภัณฑ์ (ข) ห้องจัดแสดงในพิพิธภัณฑ์

(หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)

ในช่วงแรกมีการสั่งให้ช่างหลวง กรมละครหลวง กรมดุริยางค์หลวงในพระบรมมหาราช วังและช่างฝีมืออยู่ในที่ต่าง ๆ มาสอนในโรงเรียนแห่งนี้ นับเป็นช่วงที่มีการฟื้นฟูศิลปะและสร้างพระตำหนัก พระที่นั่ง และอาคารใหม่หลายแห่งขึ้นมา ดังนั้นการตกแต่งพระตำหนักและอาคารต่าง ๆ ต้องการช่างจำนวนมาก ครูช่างและลูกศิษย์ของโรงเรียนรจนาจึงได้เข้าไปช่วยประดับงานศิลปะต่าง ๆ ของอาคารทั้งของพระบรมมหาราชวังและพิพิธภัณฑ์ สำหรับในส่วนของพิพิธภัณฑ์ครูช่างเขียนและลูกศิษย์ได้เขียนลวดลายและจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่าง (เพรีบ จันมารา, 2555) โดยเรื่องราวที่เขียนจะเกี่ยวกับวรรณกรรมทางพระพุทธศาสนาและศาสนาพราหมณ์ เช่น รามเกียรติ์ สุวรรณหงส์ กากี สังข์ศิลป์ชัย นางมณีเมขลารามสูร และเขียนเป็นภาพเทวดาต่าง ๆ เป็นต้น (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 ศาสตราจารย์และลูกศิษย์กำลังตบแต่งและเขียนจิตรกรรมในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

(หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา, 2549)

จิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างทั้งหมดมี 26 ภาพ จำแนกเป็น บานหน้าต่างมีจำนวน 24 ภาพ บานประตูมีจำนวน 2 ภาพ ข้างหลังนี้เป็นตารางภาพจิตรกรรมและรายละเอียดของจิตกรรม

ตารางที่ 1 รายละเอียดภาพจิตรกรรมของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา

หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
ครุฑอุ้มนางกากี	ทศกัณฐ์ นางมณโฑ	รามสูร	นางมณีเมขลา
หมายเลข 5	หมายเลข 6	หมายเลข 7	หมายเลข 8
หนุมานอุ้มนางเบญจกาย	ครุฑยุดนาค	ยักษ์	หนุมาน
หมายเลข 9	หมายเลข 10	หมายเลข 11	หมายเลข 12
พระวิษณุกรรม	เทวดา	คนธรรพ์	คนธรรพ์

หมายเลข 13	หมายเลข 14	หมายเลข 15	หมายเลข 16
พระอาทิตย์	-	คนธรรพ์	คนธรรพ์
หมายเลข 17	หมายเลข 18	หมายเลข 19	หมายเลข 20
เทวดา	คนธรรพ์	นางกินรี	อสุรวายุพักตร์
หมายเลข 21	หมายเลข 22	หมายเลข 23	หมายเลข 24
พยัคฆ์เวนไตย	ทศกัณฐ์ นางสีดา	พระสุธน	สุวรรณหงส์
หมายเลข 25	หมายเลข 26		
สังข์ศิลป์ชัย	พาลีอุ้มนางมณโฑ		

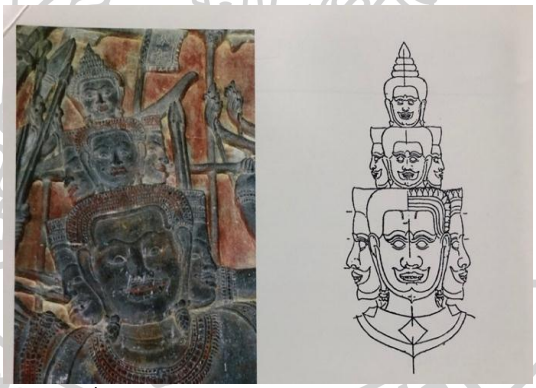
2.2. จิตรกรรมในประเทศกัมพูชา

2.2.1 ประเภทของจิตรกรรม

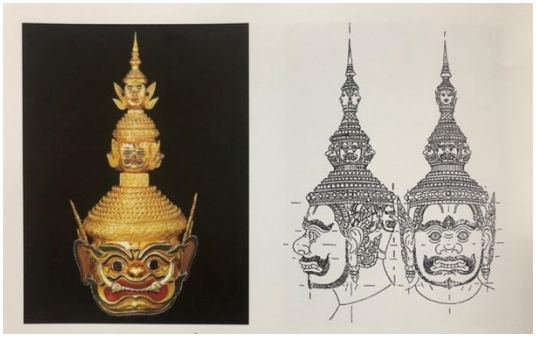
จิตรกรรมในประเทศกัมพูชา แบ่งเป็น 2 แบบคือ จิตรกรรมแบบประเพณี และจิตรกรรมสมัยใหม่ (สาน ผลลา, 2555)

1. จิตรกรรมแบบประเพณี

จิตรกรรมแบบประเพณี เป็นจิตรกรรมที่เขียนภาพหรือคัดลอกภาพจากประติมากรรมหินโบราณหรืองานเกะสลักของปราสาทหิน โดยจิตรกรเขียนภาพหน้าตา มงกุฎ เสื้อผ้าเหมือนในภาพของงานเกะสลักหรือประติมากรรมหิน (ภาพที่ 7) ต่อมามีการพัฒนาขึ้นมาเกี่ยวกับการเขียนรูปแบบการแต่งตัวและเครื่องประดับในภาพเขียนให้เหมือนตัวละครหลวง จิตรกรจะเขียนภาพที่มีร่างกายขนาดเท่ากัน ไม่ว่าภาพในจิตรกรรมนั้นอยู่ใกล้ หรือไกล และมีท่าทางอ่อนโยนเหมือนตัวละครหลวง (ภาพที่ 8) การใช้โทนสีสำหรับภาพบุคคล สัตว์ เครื่องแต่งกาย ราชรถ และสถาปัตยกรรมต่าง ๆ จิตรกรจะทาสีให้เท่ากัน ไม่ให้แสงเงา แต่ใช้วิธีตัดเส้นเป็นภาพสองมิติ



ภาพที่ 7 จิตรกรรมแบบประเพณีที่เขียนจากงานแกะสลักและงานประติมากรรม (สาน ผลลา, 2555)



ภาพที่ 8 จิตรกรรมแบบประเพณีเขียนจากลักษณะตัวละครหลวง (สาน ผลลา, 2555)

2. จิตรกรรมสมัยใหม่

จิตรกรรมสมัยใหม่ เป็นจิตรกรรม ที่รับอิทธิพลมาจากชาวตะวันตก มีความแตกต่างจากจิตรกรรมแบบประเพณี จิตรกรรมสมัยใหม่ที่เขียนตามวัดต่าง ๆ มักคัดลอกภาพจากจิตรกรรมแบบประเพณี แต่ใช้เทคนิคแบบใหม่ในการสร้างสรรค์งาน จิตรกรเขียนภาพต่าง ๆ แบบสามมิติ มีการใช้เทคนิค perspective กับภาพบุคคล เครื่องแต่งกาย สถาปัตยกรรมทำให้เกิดแสงเงา แต่ไม่มีการตัดเส้นเหมือนกับจิตรกรรมแบบประเพณี ส่วนลักษณะของเครื่องแต่งกายจะเขียนได้สองแบบ คือเครื่องแต่งกายแบบตัวละครหลวง และเครื่องแต่งกายแบบอินเดีย ส่วนภาพสถาปัตยกรรมมีความหลากหลายมากขึ้นโดยพบอาคารแบบฝรั่ง จีน และอินเดีย เป็นต้น

2.2.2 เรื่องราวที่ปรากฏในจิตรกรรม

สาน ผลลา (2555) ได้แบ่งเรื่องที่เขียนในจิตรกรรมตามวัดต่าง ๆ เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ กลุ่มที่ 1 เป็นเรื่องเกี่ยวกับทางพระพุทธศาสนา และกลุ่มที่ 2 เป็นเรื่องอื่น ๆ

กลุ่มที่ 1

1. พุทธประวัติ
2. ทศชาตก
3. ปัญญาสชาดก
4. ธรรมบท
5. สวรรค์ และ นรก
6. พระพุทธ และ พระอรหันต์
7. สันธรานิพพาน
8. พระพุทธในอดีต

กลุ่มที่ 2

1. รามเกียรติ์
2. พระโคและพระแก้ว
3. พระชินวงศ์
4. มหาชมพูบดี
5. นิทาน
6. เทพนิกรและสัตว์ต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.2.3 เทคนิคของจิตรกรรรมบนแผ่นไม้

ภาพเขียนบนไม้เป็นภาพเขียนที่มีลักษณะองค์ประกอบซับซ้อน มีหลายชั้นประกอบด้วยวัสดุหลากหลายชนิดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน (Grevenstein-Kruse et al., 2014)

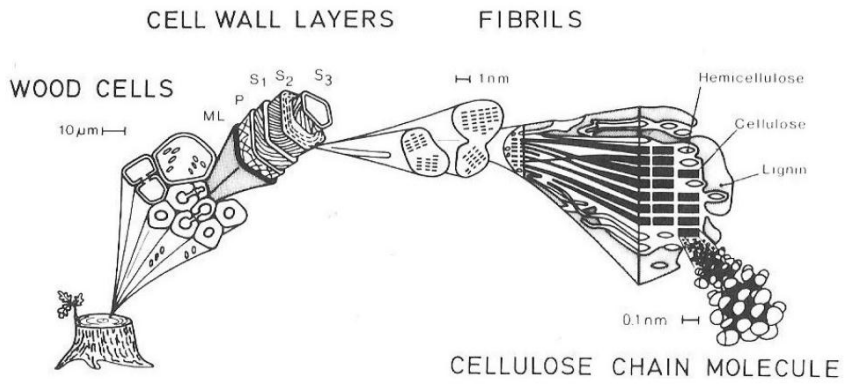
1. คุณสมบัติของไม้ (Hoadley, 1998) และ (Feian, 1988)

ก. องค์ประกอบทางเคมีของไม้

ไม้เป็นส่วนประกอบของเซลล์จำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซลล์ที่มีลักษณะบางและยาวเหมือนเส้นใย ในผนังเซลล์จำนวนมากประกอบไปด้วยโมแลกุลสารอินทรีย์ 3 ชนิดหลัก คือ เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส และลิกนิน นอกจากนี้มีเพียงสารอนินทรีย์ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นมีอยู่ในเนื้อไม้และสารอื่นดังข้อมูลต่อไปนี้ (ภาพที่ 9)

เซลลูโลสมี	40-50%
เฮมิเซลลูโลสมี	20-30%
ลิกนิน	25-30%
สารอนินทรีย์	0.1-0.5%
สารอื่น	1-5%

ข้อดีของไม้ คือ เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาแต่ค่อนข้างแข็งแรง นอกจากนี้ไม้สามารถแปรรูปเป็นรูปร่างต่าง ๆ และนำมาใช้งานกับวัสดุอื่น ๆ ง่าย



ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของเซลล์ (Hoffmann & Jones, 1990)

ข. ความชื้น

ไม้เป็นวัสดุที่ดูดความชื้นได้ดี มีการดูดซับหรือปลดปล่อยความชื้นเพื่อให้เกิดสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศ ไม้จะขยายตัวเมื่อความชื้นในบรรยากาศมีค่ามาก และจะหดตัวเมื่อความชื้นในบรรยากาศมีค่าลดลง

ค. การเสื่อมสภาพของไม้

การเสื่อมสภาพขอไม้มีสาเหตุหลักมาจาก ปัจจัยเชิงกายภาพ (abiotic weathering) และปัจจัยเชิงชีวภาพ (biotic weathering) โดยที่ปัจจัยเชิงกายภาพ เช่น แสง ความชื้น มลพิษ และความร้อน เป็นต้น ส่วนปัจจัยเชิงชีวภาพ เช่น แมลง รา และแบคทีเรีย เป็นต้น

ปัจจัยเชิงกายภาพ (abiotic weathering)

รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นปัจจัยเชิงกายภาพสำคัญที่ทำให้ไม้เกิดการเสื่อมสภาพ มีผลทำให้ไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและส่งผลทำให้ลักษณะทางกายภาพของไม้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สีซีดจาง โดยอัตราในการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ขึ้นอยู่กับความเข้มและพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเลต และชนิดของไม้ นอกจากนี้ ความร้อนยังมีผลทำให้ไม้เกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากส่วนประกอบของผนังเซลล์ เช่นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง

ปัจจัยเชิงชีวภาพ (biotic weathering)

แมลง รา และแบคทีเรียเป็นปัจจัยเชิงชีวภาพที่ทำลายเนื้อไม้ โดยแมลงหลายชนิด เช่น มอดขี้ขุย มอดยา มอดยาสูบ มอเจาะไม้ แมลงภู่ เป็นต้น กินเนื้อไม้ซึ่งอุดมไปด้วยเซลลูโลสในระบบย่อยอาหารของแมลงเหล่านี้มีจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายเซลลูโลส นอกนี้ยังพบว่าในบรรยากาศที่มีความชื้นสูงจะทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีบนเนื้อไม้ ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเนื้อไม้และสีของพื้นผิวของไม้ เป็นต้น

2. การเตรียมพื้นไม้สำหรับงานจิตรกรรม (สอน สุพรรณ, 2554)

การเตรียมสมุกพื้น

สมุกพื้นโดยทั่วไปมักใช้กาวเม็ดมะขามผสมกับดินสอพอง ขั้นตอนการเตรียมกาวเม็ดมะขามเริ่มต้นโดยนำเม็ดมะขามมาคั่วในกระทะให้สุก ใช้ไฟอ่อน ๆ แล้วแช่น้ำ 1คืนเพื่อให้เปลือกยุ่ยพอง แยกเนื้อออกจากเปลือกที่ยุ่ยพอง (เก็บน้ำที่มีเปลือกยุ่ยพองไว้เพื่อทาบนไม้ก่อนจะทาสมุกพื้น) นำเนื้อเม็ดมะขามที่แยกได้ใส่กระทะ เติมน้ำเล็กน้อย เคี่ยวไฟอ่อน ๆ ประมาณ 45 นาที ระหว่างเคี่ยวให้เติมน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำในกระทะ อย่าปล่อยให้น้ำ

แห้ง คนจนเนื้อเม็ดมะขามละลายออกมาเป็นน้ำเมือกเหนียว ๆ จะได้กาวเม็ดมะขาม ต่อมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอากากออก จะได้กาวเม็ดมะขาม สำหรับดินสอพองนั้นต้องนำมาแช่น้ำเพื่อให้เนื้อดินสอพองแตกออกและละลายเข้ากันดี ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำใสทิ้ง ผสมดินสอพองที่ได้กับกาวเม็ดมะขามที่เตรียมไว้ในอัตราส่วนดินสอพอง 1 ส่วน ต่อกาวเม็ดมะขาม 2 ส่วน คนให้เข้ากัน

การทาสมุกพื้นบนไม้

นำน้ำที่มีเปลือกเม็ดมะขามทาลงบนพื้นไม้ แล้วใช้ผ้าขาวบางหรือผ้าดิบชนิดไม่ฟอกปูทับลงบนพื้นไม้ ทาสมุกพื้นชั้นแรกลงไปโดยใช้แปรงทาสี ทิ้งให้แห้ง แล้วทาซ้ำอีก 2 ชั้น โดยในการทาแต่ละชั้นต้องตั้งทิ้งให้แห้งก่อนทาชั้นใหม่ และใช้กันขวดกวด (การกวด คือ การทำให้แน่น) ลงไปบนพื้นไม้ เพื่อให้สมุกพื้นเรียบแน่น ยึดติดกับพื้นไม้อย่างแข็งแรง เมื่อกวดพื้นจนได้ความแข็งแกร่งดีแล้วปัดฝุ่นออกให้หมด แล้วจึงทาสมุกพื้นซ้ำเป็นชั้นบางมาก ปล่อยพื้นสมุกให้แห้ง จะได้พื้นไม้ที่พร้อมสำหรับการเขียนภาพ

3. สี (Roveda & Yem, 2009) และ (กอก จันท์ถาด, 2539)

สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมแบบประเพณี เป็นสีที่ได้มาจากธรรมชาติหรือต้นไม้ต่าง ๆ ที่สามารถหาได้ในป่าไม้ ส่วนวิธีทำสีทั้งนั้น ช่างเขียนจะเอาต้นไม้ที่สามารถให้สีได้แต่ละสีมาต้ม กรองระเหยน้ำออกให้เป็นผง ส่วนใหญ่สีที่ได้จาก Earth colors เช่น สีเหลืองได้จาก ochre สีขาวได้จากเปลือกหอยหรือดินขาว (kaolin) สีดำได้จากถ่านหรือเขม่า สีเขียวได้จากใบของต้นพริก หรือสีเขียวได้จาก malachite ที่นำเข้าจากจีน สีแดงได้จากต้นกระบก หรือ สีแดงvermillion ได้จาก cinnabar และสีน้ำเงินได้จากหิน lapis lazuli ที่นำเข้าจากจีน

4. การปิดทองคำ (Roveda & Yem, 2009)

การปิดทอง เป็นเทคนิคหนึ่งที่นำมาจากประเทศจีน ใช้แทนสีทอง เนื่องจากทองคำเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยากับอากาศและสารอื่น ๆ และยังช่วยทำให้เกิดความสวยงามของจิตรกรรม การปิดทองสามารถทำได้ 2 วิธี ดังมี วิธีแรกเป็นการปิดทองด้วยกาวที่ได้จากต้นมะเดื่ออุทุมพร ส่วนวิธีที่สองใช้กาวที่ทำจากกระเทียมกับไข่ขาว

5. พู่กัน (กอก จันท์ถาด, 2539)

พู่กัน เป็นอุปกรณ์สำหรับวาดภาพ ส่วนที่ใช้ทาสีนั้นทำมาจากวัสดุหลายชนิด ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การนำไปใช้ พู่กันที่ทำจากเปลือกไม้ หรือรากของต้นไม้ เช่น รากของต้นการเวก มักนำไปใช้วาดภาพที่เป็นป่าไม้ ใบไม้ หรือวาดภาพพระบฏ ส่วนพู่กันที่มีเส้นเล็ก ๆ ทำจากต้นไผ่หรือกิ่งของน้อยหน่า โดยนำมาตัดให้มีความยาวเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ตีตรงปลายให้

บาง แล้วนำมาตากแดดให้แห้ง จะแข็งแรงและง่ายในการจับถือวาดภาพ พู่กันชนิดนี้ใช้ในการวาดภาพป่าไม้ ใบไม้ หรือภาพพระบฏเช่นเดียวกัน มีพู่กันอีกชนิดหนึ่งที่ทำจากขนสัตว์ เช่น ขนวัว ใช้สำหรับตัดเส้น เนื่องจากพู่กันชนิดนี้มีสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี

6. กาวสำหรับงานจิตรกรรม

กาวสำหรับชั้นรองพื้น (เมล็ดมะขาม)

กาวเมล็ดมะขามเป็นกาวที่ผสมกับดินสอพองหรือปูนขาวเพื่อทำเป็นวัสดุรองพื้นสำหรับงานจิตรกรรม กาวชนิดนี้ได้จากส่วนของเนื้อในของเมล็ดซึ่งมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็คคาไรด์ (Polysaccharide) ถึง 65 % (Reddy, Bhoni, & Kuppala, 2015)

กาวสำหรับชั้นสี (ยางไม้ธนนไชย) (สมัย เสวครบุรี & ทัษณ อาชวาคม, 2008)

ยางไม้ธนนไชยได้จากต้นธนนไชย (ภาพที่ 10) มีชื่อวิทยาศาสตร์ Buchanania siamensis Miq. เป็นพืชในวงศ์ Anacardiaceae ยางไม้ชนิดนี้ใช้เป็นน้ำกาวเพื่อผสมกับผงสีในการเขียนภาพจิตรกรรมเทคนิคสีฝุ่น ขั้นตอนแรกในการเก็บยางไม้ธนนไชย ต้องใช้ใบมีดตีเปลือกต้นธนนไชยให้มีน้ำยางสีน้ำตาลไหลออกมา และทิ้งไว้หนึ่งคืนเพื่อให้น้ำยางกลายเป็นก้อนติดกับต้น หลังจากนั้นนำก้อนยางไม้ที่ได้มาต้มและเคี่ยวจนได้น้ำกาวสีน้ำตาลเข้ม

ภาพที่ 10 ลักษณะของต้นธนนไชย (สมัย เสวครบุรี & ทัษณ อาชวาคม, 2008)

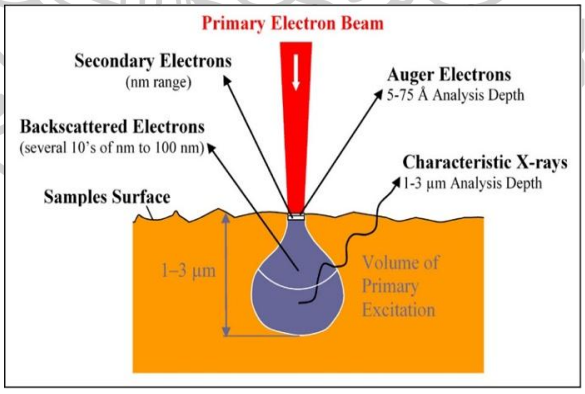
2.3 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาจิตรกรรม

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

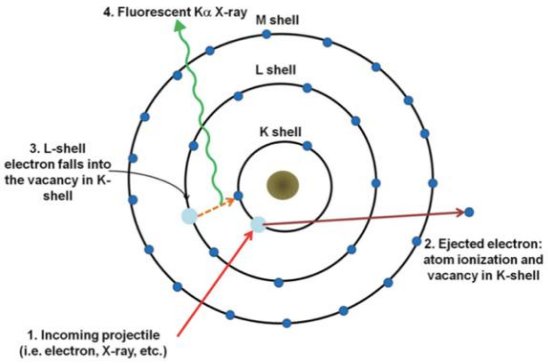
เทคนิค Scanning Electron Microscopy ใช้ในการศึกษาพื้นผิวของตัวอย่าง และขยายภาพได้ถึงหนึ่งแสนเท่า กล้อง Scanning Electron Microscope สามารถต่อเชื่อมกับ Energy Dispersive X-ray ซึ่งมีตัวตรวจวัด (detector) characteristic X-ray ที่มาจากอะตอมของธาตุ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบบนพื้นผิวตัวอย่าง หลังจากพื้นผิวตัวอย่างถูกระดมยิงด้วยลำอิเล็กตรอน (primary electron beam) อิเล็กตรอนจะเกิด interaction กับพื้นผิวตัวอย่างแล้วทำให้เกิด (ภาพที่ 11)

1. Secondary electron ให้ข้อมูลภาพลักษณะของพื้นผิว (SEM image)
2. Backscattered electron ให้ข้อมูลภาพลักษณะของพื้นผิวที่แสดงความแตกต่างของบริเวณธาตุที่มีเลขอะตอมสูงและบริเวณธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า
3. Auger electron คืออิเล็กตรอนวงในที่หลุดจากอะตอม
4. รังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (Characteristic X-ray) คือรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงกว่าไปแทนที่อิเล็กตรอนวงใน (ภาพที่ 12)

เทคนิค Scanning Electron Microscopy ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของภาพเขียน เช่น รอยแตกร้าว ลักษณะของชั้นสีและกาว การเสื่อมสภาพ และรูพรุนของพื้นผิว เป็นต้น (Stuart, 2007)



ภาพที่ 11 Scanning Electron Microscopy & Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Surf)

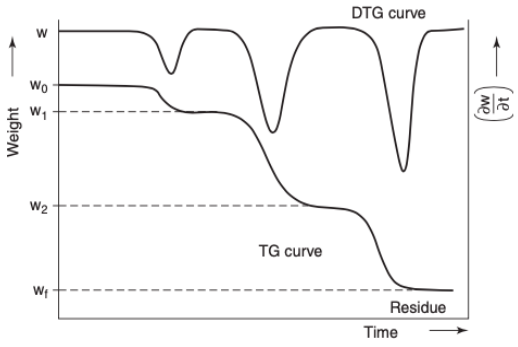


ภาพที่ 12 การเกิดรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (Doménech-Carbó & Oc, 2016)

Doménech-Carbó and Oc (2016) ได้ศึกษาภาพเขียนบนแผ่นไม้ในโบสถ์ Abanoub ภาพเขียนมีชื่อว่า Archangel Michael ถูกเขียนขึ้นประมาณศตวรรษที่ 18 โดย Lbrahim lbansam'an Al Nasekh วิเคราะห์ภาพเขียนนี้ด้วยเทคนิค SEM-EDX และ FT-IR Spectroscopy ได้ผลวิเคราะห์มาว่า สีที่ใช้ในภาพเขียนคือ คราม ($C_{16}H_{10}N_2O_2$) สีแดงตะกั่ว (Pb_3O_4) สีขาวตะกั่ว ($2PbCO_3{\cdot}Pb(OH)_2$) และ สีเหลืองตะกั่ว (PbO) สีทองเป็นทองแท้ที่ปิดทับบนชั้นสีส้ม ชั้นรองพื้นสีขาวเป็น calcium sulphate dihydrate ผสมกับกาวหนังสัตว์ และไม้รองรับเป็น *Acacia Pennate* (L.) Wild

2.3.2 เทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

เป็นการวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยการวัดน้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างเทียบกับอุณหภูมิหรือเวลา (Haines, 1995) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจะสัมพันธ์กับกระบวนการสลายตัวของสารตัวอย่าง Thermogram ที่ได้จากการ plot น้ำหนักของสารตัวอย่างเทียบกับอุณหภูมิหรือเวลา แสดงในภาพที่ 13 ซึ่ง Thermogram ของสารแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน (Stuart, 2007)



ภาพที่ 13 ลักษณะ curve ของการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (Stuart, 2007)

Cristache, Sandu, Vasilache, and Sandu (2015) ได้ศึกษาแผ่นไม้รองรับภาพเขียนในโบสถ์ Saints Constantine and Helen ถูกเขียนขึ้นประมาณศตวรรษที่ 19 ภาพเขียนเกิดการชำรุดเสียหายจาก น้ำท่วม แผ่นดินไหว สงคราม ไฟไหม้ แล้วได้เก็บตัวอย่างที่เป็นเศษไม้ที่ไฟไหม้จากจิตรกรรมมา ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Optical Microscopy (OM) Thermogravimetric analysis (TGA) และ Differential thermal analysis (DTA) ได้ผลวิเคราะห์ว่า แผ่นไม้รองรับถูกเสื่อมสภาพเชิงชีวภาพที่เป็นปัจจัยส่งผลให้สามารถติดไฟได้ง่าย

2.3.2 เทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยแสงช่วงอินฟราเรด ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง อุปกรณ์อินฟราเรดสเปกโทรสโกรปีวัดแถบการดูดแสงรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากพันธะของโมเลกุลและให้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้เป็น % transmittance เทียบกับ wavenumber (cm^{-1})

การศึกษาการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขาม(Chawananorasest, Saengtongdee, & Kaemchantuek, 2016) ได้วิเคราะห์โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยใช้เทคนิค IR พบว่าแป้งที่มีอยู่ในเมล็ดมะขามปรากฏแถบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งและการสั่นของดังตารางที่ 2

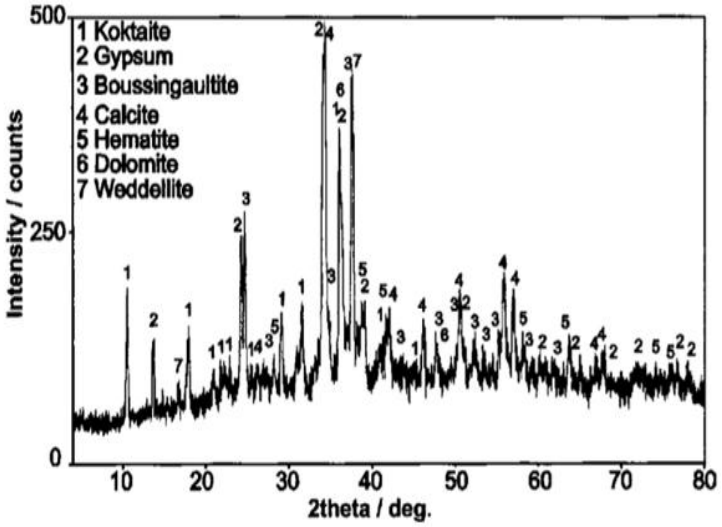
ตารางที่ 2 ชนิดการสั่นของแป้ง (Kizil, Irudayaraj, & Seetharaman, 2002)

ความถี่ (cm^{-1})	ชนิดของการสั่น
3600-3000	การยืด-หดของพันธะ O—H (ν_{OH})
3000-2800	การยืด-หดของพันธะ C—H (ν_{CH})
1760-1665	การยืด-หดของพันธะ C═O ($\nu_{C=O}$)
~1638	การงอของพันธะ O—H (δ_{OH})
1420-1300	การงอของพันธะ C—H (δ_{CH})
~1100	การยืด-หดของพันธะ C—O—C ของ β-glucosidic ($\nu_{C\text{-}O\text{-}C}$)
~910	การงอของพันธะ C—O และ C—C ($\delta_{C\text{-}O,C\text{-}C}$)

2.3.3 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) เป็นเทคนิคในการศึกษาลักษณะการเรียงตัวหรือโครงสร้างผลึกของวัสดุ (Doménech-Carbó & Oc, 2016) อุปกรณ์ X-ray Diffraction (XRD) ได้รับความนิยมใช้ในการศึกษาสารผลึกจากการเสื่อมสภาพของชิ้นงานศิลปะอย่างก้าวขวาง

Simova et al. (2012) ได้ศึกษาความเสื่อมสภาพจากชนิดของเกลือต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวของจิตรกรรม โดยใช้เทคนิค XRD พบเกลือต่าง ๆ (salt efflorescence) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 รูปแบบ XRD ของ Salt efflorescence บนพื้นผิวของจิตรกรรม

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจสภาพและเก็บข้อมูล เก็บตัวอย่างสีของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างของพิพิธภัณฑ์แห่งชาติกัมพูชาและทำการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ศึกษาการเตรียมผงกาว การสังเคราะห์สี และวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ศึกษาการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ และการศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน เพื่อเก็บข้อมูลลักษณะในการชำรุดเพื่อการอนุรักษ์จิตรกรรมบนแผ่นไม้ในอนาคต ผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์

1. กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล
2. แบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพจิตรกรรม
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. เครื่องควบแน่น (Condenser)
15. ขวดฉีดน้ำกลั่น
16. แท่งแก้วคนสาร (Glass rod)
17. เครื่องกวนสารที่มีแม่เหล็ก
18. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
19. ช้อนตักสารและไม้พาย (Spatula)
20. เครื่องชั่ง (Balance)
21. โถดูดความชื้น (Desiccator)
22. ซิลิกาเจล (Silica gel)
23. ปากคีบ (Forceps)
24. ตู้อบความร้อน MEMMERT รุ่น UN110
25. ครกหินและสาก
26. ที่ร่อนแป้ง
27. ถาดและกะละมัง
28. ผ้าขาวบาง
29. แผ่นกระจกสไลด์
30. กระดาษกรอง whatman paper

3.2 สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)
2. โพเทสเซียม เฟอร์โรไซยาไนด์ $K_4[Fe(CN)_6]$
3. ไอร์รอน (III) คอลไรด์ ($FeCl_3$)
4. สีแดงชาด (HgS)
5. สีเขียวมาลาไคท์ ($CuCO_3.5H_2O$)

3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

3.3.1 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 15 เครื่อง Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR)

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

ภาพที่ 16 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

3.3.3 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ Malvern Panalytical Aeris XRD คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 17 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

3.3.4 เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ยี่ห้อ Perkin Elmer (Pyris 1 TGA) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 18 เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)

3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

เก็บข้อมูลและประเมินสภาพจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ และสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยมีการบันทึกสภาพด้วยลายลักษณ์อักษร ถ่ายภาพจุดเสื่อมสภาพบนจิตรกรรมด้วยกล้องดิจิทัลและเก็บไฟล์ภาพในรูปแบบ JPEG ออกแบบรายงานบันทึกสภาพดัง**ภาพผนวก ก** โดยบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลทั่วไป สภาพทั่วไปของจิตรกรรม วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม และ การอนุรักษ์จิตรกรรมที่ผ่านมา

3.5 การเก็บตัวอย่างสีจากจิตรกรรมบนบานหน้าต่างและบานประตูของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา และการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

การเก็บตัวอย่างสีจากจิตรกรรม ผู้วิจัยได้ทำการประเมินสภาพและเลือกเก็บตัวอย่างบริเวณที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงาน โดยแสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างสีดังในตารางที่ 3 นำตัวอย่างสีที่ได้ทั้งหมด 11 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX เพื่อหาชนิดของธาตุองค์ประกอบของสีแต่ละตัวอย่าง

ตารางที่ 3 บริเวณที่เก็บตัวอย่างสีจากจิตรกรรม

ชื่อตัวอย่าง	บริเวณที่เก็บตัวอย่างสี	
P_White		
P_Blue1		
P_Blue2		
P_Black		

ชื่อตัวอย่าง	บริเวณที่เก็บตัวอย่างสี	
P_Brown		
P_Red1		
P_Red2		
P_Green1		
P_Green2		

ชื่อตัวอย่าง	บริเวณที่เก็บตัวอย่างสี	
P_Green3		
P_Gold		

3.6 การเตรียมผงกาวและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

3.6.1 ผงกาวเมล็ดมะขาม

นำเม็ดมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 15 นาที ปอกเปลือกออก บดให้ละเอียด ละลายในน้ำกลั่น กวนประมาณ 45 นาที ที่อุณหภูมิ 60 - 65 °C จะได้น้ำกาวที่ข้น กรอง นำน้ำกาวแต่ละชนิดมาตกตะกอนโดยใช้เอทานอล 75% กรองตะกอน ล้างตะกอนด้วยเอทานอล 75% อบตะกอนให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C นำตะกอนที่แห้งมาบดให้ละเอียดและเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Bansal, Kumar, Malviya, & PKSharma, 2013)

3.6.2 การผลิตผงกาวธนนไชย

นำยางไม้ธนนไชยละลายในน้ำกลั่น กวนประมาณ 45 นาที ที่อุณหภูมิ 60 - 65 °C กรอง จะได้สารละลายสีเหลืองน้ำตาล เทสารละลายลงบนจานพลาสติกและอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C จะได้ฟิล์มกาว นำฟิล์มกาวธนนไชยมาบดให้ละเอียดและเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

3.6.3 การวิเคราะห์ผงกาวด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

วิเคราะห์ผงกาวเมล็ดมะขาม ผงกาวมะค่าแต้ ผงกาวมะค่าโมง และผงกาวธนนไชย ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm^{-1}

3.7 การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

3.7.1 สีสังเคราะห์ (Samain, Gilbert, Grandjean, Long, & Strivay, 2013)

สีน้ำเงิน Prussian blue ได้จากการสังเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆดังนี้ เตรียมสารละลายอิ่มตัวของ $FeCl_3$ ในน้ำ โดยชั่ง $FeCl_3$ หนัก 9.2043 กรัม ใส่ลงใน flask ขนาf100 mL เติมน้ำกลั่น 10 mL กวนสารละลาย จากนั้นเตรียมสารละลายอิ่มตัวของ $K_4[Fe(CN)_6]$ ในน้ำ โดยชั่ง $K_4[Fe(CN)_6]$ หนัก 3.0441 กรัม ใส่ลงใน flask ขนาด 100 mL เติมน้ำกลั่น 10 mL กวนสารละลาย นำสารละลายอิ่มตัวของ $FeCl_3$ ผสมกับสารละลายอิ่มตัวของ $K_4[Fe(CN)_6]$ จะได้ตะกอนของ กรองตะกอนสีน้ำเงินของ Prussian Blue กรองตะกอนด้วยเครื่อง suction ทิ้งให้แห้งในโถดูดความชื้น วิเคราะห์ผงสีน้ำเงิน Prussian blue ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) และ X-ray Diffraction

3.7.2 สีธรรมชาติ

นำสีแดงชาด และสีเขียวมาลาไคท์ มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction

3.8 การศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

3.8.1 ฟิล์มกาว

นำผงกาวมะขามข้อ 3.4.1 หนัก 5 กรัม เติมน้ำ 250 mL พร้อมกวนสารผสมและให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 65 - 70 °C จนผงกาวเมล็ดมะขามละลายหมด จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 2% (w/v) จากนั้นเทลงบนจานพลาสติก อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เมื่อได้ฟิล์มกาวมะขามที่แห้ง

นำผงกาวธนนไชยข้อ 3.4.2 หนัก 10 กรัม เติมน้ำ 250 mL พร้อมกวนสารผสมและให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 65 - 70 °C จนผงกาวเมล็ดมะขามละลายหมด จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 4% (w/v) จากนั้นเทลงบนจานพลาสติก อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เมื่อได้ฟิล์มกาวธนนไชยที่แห้ง

3.8.2 ชั้นรองพื้น

เตรียมดินสอพอง โดยนำดินสอพองมาแช่น้ำเพื่อให้เนื้อดินสอพองแตกออกและรวมตัวกับน้ำได้ดี ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนและรินน้ำใสทิ้ง ตักดินสอพอง (ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ) หนัก 1 กรัม ผสมกับสารละลายกาวเมล็ดมะขามเข้มข้น 2% (w/v) ปริมาตร 2 mL กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกของผสมนี้ว่าสมุกพื้น นำสมุกพื้นที่ได้มาทาบนแผ่นไม้ตะเคียน (ขนาด 8 (ย) x 3 (ก) x 1 (น) cm) และแผ่นกระดาษสา (ขนาด A4, 210 x 297 mm) โดยทาด้วยแปรงให้ทั่วและสม่ำเสมอแล้วทิ้งให้แห้ง ทาซ้ำอีก 1 ครั้ง

3.8.3 ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

นำสารละลายกาวธนนไชยที่มีความเข้มข้น 4% (w/v) 1 mL ผสมกับผงสีที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (แช่ในน้ำกลั่น 1 คืน) หนัก 1 กรัม บดผสมให้ผงสีและน้ำกาวธนนไชยเป็นเนื้อเดียวกันในโกร่งบดยา นำมาทาบนชั้นรองพื้นข้อ 3.8.2 โดยทาซ้ำ 2 ครั้ง ผงสีที่ใช้มี 3 ชนิดคือ สีน้ำเงิน Prussian Blue, สีแดงชาด และเขียวมาลาไคท์ นอกจากนี้ นำแผ่นกระดาษสาจากข้อ 3.8.2 มาเขียนลวดลายต่าง ๆ โดยใช้สีทั้ง 3 ชนิด

3.9 การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน

นำฟิล์มกาวจากข้อ 3.8.1 ขนาด 2 x 2 cm, ชั้นรองพื้นจากข้อ 3.8.2 และชั้นสีจากข้อ 3.8.3 มาวางไว้ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต (UV-C T8 18W, λ= 254 nm) เป็นระยะเวลา 14 และ 35 วัน ที่อุณหภูมิ 28 °C ความชื้น 70% (RH) ความเข้มของแสง 705 lux นำฟิล์มกาวก่อน-หลังการวางภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR), Thermogravimetric Analysis, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) และ X-ray Diffraction

ภาพที่ 19 ตัวอย่างวางไว้ภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้จากการสำรวจสภาพและการเก็บข้อมูลของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างสีบนจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาด้วยเทคนิค SEM-EXD การเตรียมผงกาว การสังเคราะห์สี และผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ ผลการศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ และการศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียนด้วยเทคนิค SEM-EXD, FTIR, TGA และ XRD ดังนี้

4.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

จากการเก็บข้อมูลหรือประเมินสำรวจสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา ได้ผลการบันทึกข้อมูลในรายงานบันทึกสภาพดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายงานบันทึกสภาพจิตรกรรมบนแผ่นไม้

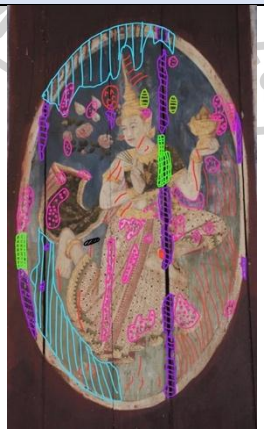
1. ข้อมูลทั่วไป	
ชื่อผู้สำรวจ	นาย สุขเฮง ลา
วันที่สำรวจ	วันจันทร์ ที่ 6 เดือนมกราคม พ.ศ. 2563
ปีที่สร้างงาน	ค.ศ. 1920 (รัชสมัยพระบาทสมเด็จพระศรีสวัสดิ์)
ศิลปิน	อาจารย์และนักศึกษาของโรงเรียนรจนา
วัสดุที่ใช้ในการสร้างงาน	จิตรกรรมบนไม้ เขียนด้วยสีฝุ่นผสมกาว สีที่ใช้มีสีแดงชาด สีดินแดง สีดำ สีขาว สีทอง สีคราม สีฟ้า สีเขียวตังแช สีเขียนไพร สีเขียวน้ำไหล เป็นต้น ไม้รองรับเป็นไม้ตะเคียนที่ตัดเป็นแผ่นมาประกอบกัน ภายนอกทาด้วยยางรัก ภายในเป็นภาพจิตรกรรม ส่วนรองพื้นเป็นดินสอพองผสมกาวและบางส่วนของจิตรกรรมมีการปิดทองคำเปลว
จำนวนของภาพเขียน	ภาพเขียนทั้งหมดมี 26 ภาพ ประกอบด้วย ภาพเขียนบนบานประตู 2 ภาพและบนบานหน้าต่าง 24 ภาพ

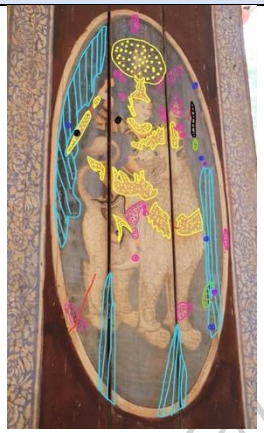
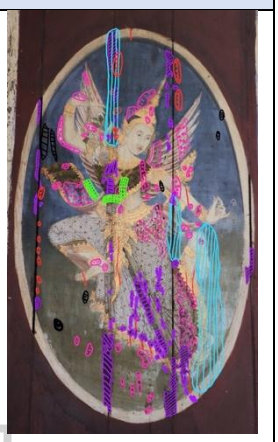
2. สภาพทั่วไปของจิตรกรรม

จิตรกรรมฝังทิศใต้ มีสภาพสมบูรณ์กว่าจิตรกรรมฝังทิศเหนือ ด้วยมรสุมฤดูฝนจะพาน้ำฝนจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ด้านทิศเหนือได้รับน้ำฝนมากกว่าและมีความชื้นสูงกว่าด้านทิศใต้ พบชั้นสีของจิตรกรรมมีสภาพหลุดร่อนเป็นแผ่น ตามรอยต่อของแผ่นไม้ พบรอยถลอก รอยขูดขีด รอยแตกร้าว การโป่งงอของชั้นสี อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของกาวหรือการขยายตัวหรือหดตัวของเนื้อไม้ สีบางชนิดมีสภาพซีดจาง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉดสี ตัวอย่างเช่น สีขาวตะกั่ว จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง (Zhao, Wang, Pan, He, & Simon, 2019) สีเขียวเปลี่ยนสภาพหรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้เกิดจุดน้ำตาลบนชั้นสี (Coccato, Moens, & Vandenabeele, 2017) สีแดงชาดบางจุดเปลี่ยนเป็นดำเนื่องจากถูกทำลายด้วยแสง (Radepont, 2013) นอกจากนี้ พบว่า แผ่นไม้รองรับเลื่อนออกจากตำแหน่งเดิม พบรอยตะปูและรูบริเวณรอยต่อของแผ่นไม้แต่ละบานประตูและบานหน้าต่าง เนื้อไม้แตกเป็นเส้น และกระดาษหรือเศษไม้ที่อยู่ตรงช่องรอยต่อของแผ่นไม้หลุดร่อนหรือหายไป นอกจากนี้ยังพบคราบต่าง ๆ เช่น คราบน้ำที่ไหลบนจิตรกรรมซึ่งมักเกิดขึ้นตรงช่องรอยต่อของแผ่นไม้ รอยดำเขม่าที่เกิดจากคนใช้มือจับหรือสัมผัสโดยตรงกับบานประตูหรือหน้าต่าง และมูลนกพิราบ ขี้แมลง ซากแมลง

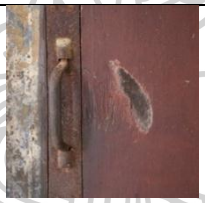
3. วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม

สัญลักษณ์แสดงความเสื่อมสภาพบนจิตรกรรม

หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
หมายเลข 5	หมายเลข 6	หมายเลข 7	หมายเลข 8
หมายเลข 9	หมายเลข 10	หมายเลข 11	หมายเลข 12
			

หมายเลข 13	หมายเลข 14	หมายเลข 15	หมายเลข 16
			
หมายเลข 17	หมายเลข 18	หมายเลข 19	หมายเลข 20
			
หมายเลข 21	หมายเลข 22	หมายเลข 23	หมายเลข 24

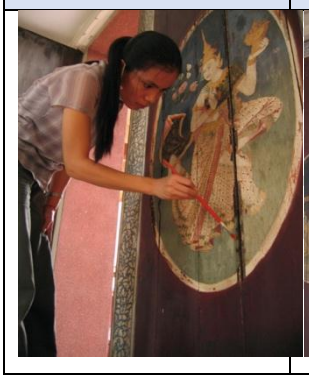
หมายเลข 25	หมายเลข 26	

4. รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ			
ชั้นสีหลุดร่อนเป็นแผ่น		ชั้นสีหลุดลอก	
รอยขูดขีด		ชั้นสีหลุดลอกจากแรงกล	
คราบสี		ขั้นสีโป่งงอ	
รูบนแผ่นไม้		รอยแตกร้าว	
สิ่งสกปรกต่างๆ		สีเปลี่ยน	

ขั้นสีแตก(จุดเล็กๆ)		คราบสีขาว	
คราบน้ำ		รังแมลง	

4. การอนุรักษ์จิตรกรรมที่ผ่านมา

จากเอกสารของพิพิธภัณฑ์แห่งชาติกัมพูชาได้บันทึกเกี่ยวกับการอนุรักษ์จิตรกรรมเหล่านี้ว่า เมื่อเดือนพฤษภาคม 2549 มีการทำความสะอาดจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาด้วยแปรงขนสัตว์เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ติดบนพื้นผิวจิตรกรรม มีการใช้ ammonium hydroxide 3% และน้ำกลั่นในการทำความสะอาดกรอบบานประตูและบานหน้าต่าง และมีการผนึกความแข็งแรง (consolidation) จิตรกรรมด้วยยางธรรมชาติจากต้นธนนไชยกับกระดาษสาหรือผ้า

ทำความสะอาด	ทำความสะอาด	ผนึกความแข็งแรง	ผนึกความแข็งแรง
			

4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างสีของจิตรกรรมบนบานหน้าต่างและบานประตูของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ศึกษาตัวอย่างสีด้วยเทคนิค SEM-EDX พบว่าตัวอย่างสีทั้งหมด 11 ตัวอย่างประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว (Pb), ปรอท (Hg), แคลเซียม (Ca), เหล็ก (Fe), ไนโตรเจน (N), ทอง (Au), ทองแดง (Cu), สารหนู (As), กำมะถัน (S), คอลรีน (Cl), อลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) และแบเรียม (Ba) ดังข้อมูลในตารางที่ 5 จากการสืบค้นเกี่ยวกับชนิดของสีที่ใช้ในจิตรกรรมเทียบกับข้อมูลของธาตุองค์ประกอบที่ได้จากเทคนิค SEM-EDX ได้ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา

ดังในตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้ดินสอพองหรือปูนขาวผสมกับตะกั่วขาวเป็นชั้นรองพื้นก่อนจะมีการเขียนสีบนแผ่นไม้ ในดินสอพองหรือปูนขาวมีองค์ประกอบหลักเป็น Ca จะเห็นว่าในบางตัวอย่างสีจะพบ Ca เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Ca นี้น่าจะมาจากดินสอพองหรือปูนขาวที่ใช้เป็นชั้นรองพื้น

จากผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตัวอย่างสีขาว P_White มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นตะกั่ว (Pb) แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างสีขาว P_White เป็นสีขาวตะกั่ว ($2PbCO_3.Pb(OH)_2$) โดยในเอเชีย สีขาวตะกั่วมีการผลิตในประเทศจีน 300 ปีก่อนคริสตศักราช (Runkel, Leisen, Plehwe-Leisen, & Fuchs, 2012) ส่วนในประเทศกัมพูชามีการค้นพบร่องรอยการใช้สีขาวตะกั่วในปราสาทนครวัดในต้นศตวรรษที่ 17 (Uchida, Takubo, Toyouchi, & Miyata, 2012)

ตัวอย่างสีน้ำเงิน P_Blue1 และ P_Blue2 มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น เหล็ก (Fe) ไนโตรเจน (N) และตะกั่ว ซึ่งสันนิษฐานว่าตัวอย่างสีน้ำเงินนี้คือ Prussian blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) นอกจากนี้การพบตะกั่วอยู่ในตัวอย่างนั้น อาจเป็นไปได้ว่าสีขาวตะกั่วได้ถูกใช้ในการผสมกับสีน้ำเงิน Prussian blue เพื่อลดความเข้มของสีน้ำเงิน Prussian blue (Samain, Gilbert, et al., 2013) สีน้ำเงิน Prussian blue ถูกผลิตด้วยศิลปินชาวยุโรปในต้นศตวรรษที่ 18 และนำเข้ามาในประเทศแถบเอเชียประมาณศตวรรษที่ 19 (Bailey, 2013)

ตัวอย่างสีดำ P_Black ขากข้อมูล EDX ไม่สามารถระบุสารให้สีได้อย่างชัดเจน แต่จากผลวิเคราะห์มีการพบธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม (Ca) ที่เป็นองค์ประกอบของชั้นรองพื้น อลูมิเนียม (Al) ซิลิกอน (Si) ที่มาจาก natural earth pigment (Carol, 1986) และร่องรอยของสีแดงชาด (HgS) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สีที่ใช้ในปราสาทนครวัดพบว่า สีดำที่พบมี 3 ชนิดคือ สีดำเขม่า (Carbon black), เลด (IV) ออกไซด์ (Lead (IV) oxide) และยิปซัมที่เสื่อมสภาพกลายเป็นสีดำ (Uchida et al., 2012)

ตัวอย่างสีน้ำตาลบนชั้นสีขาว P_Brown น่าจะเป็นสีอินทรีย์ ดังนั้นไม่สามารถวิเคราะห์สารให้สีด้วยเทคนิค EDX ได้ แต่จากผลวิเคราะห์มีการพบธาตุต่าง ๆ เช่น แบเรียม (Ba) กำมะถัน (S) แสดงให้เห็นว่า สีน้ำตาลเป็น Lake pigment ที่มีสีขาว blanc fixe ($BaSO_4$) เป็นตัวผสม (Gettens & Stout, 1996)

ตัวอย่างสีแดงอ่อน P_Red1 พบปรอท (Hg) กำมะถัน (S) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นสีแดงชาด (HgS) ผสมกับตะกั่วสีแดง (Pb_3O_4) (Fitzugh, 1986) ส่วนตัวอย่างสีแดงเข้ม P_Red2 พบปรอท (Hg) กำมะถัน (S) และตะกั่ว (Pb) และเหล็ก (Fe) ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นสีแดงชาดและตะกั่วแดง ผสมกับสีดินแดง (Red Ochre) เพื่อได้สีแดงที่มีโทนสีเข้ม ซึ่งมีหลักฐานการใช้สีแดงชาดในการ

ตกแต่งและทาบนผนังของปราสาทที่ทำสร้างด้วยอิฐในศตวรรษที่ 10 ของประเทศกัมพูชา (Runkel et al., 2012)

ตัวอย่างสีเขียว P_Green1, P_Green2 และ P_Green3 มีองค์ประกอบหลักเป็น ทองแดง (Cu) ซึ่งสนนิษฐานว่าเป็น copper-based pigments และยังมีพบธาตุอื่นเช่น สารหนู (As), กำมะถัน (S), คอลรีน (Cl), ตะกั่ว (Pb), ซิลิกอน (Si) ในขณะที่ตัวอย่างสีเขียวเข้ม P_Green2 และ P_Green3 พบธาตุของเหล็ก (Fe) เจือปน ซึ่งแสดงว่า มีการเติมสีน้ำเงิน Prussian blue และสีเหลือง เพื่อเพิ่มความเข้มของสีเขียว copper-based pigments (Eremin et al., 2011)

ตัวอย่างสีทอง P_Gold มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น ทอง (Au) และ ทองแดง (Cu) แสดงให้เห็นว่าเป็นแผ่นทองผสม นอกจากนี้ยังพบกำมะถัน (S) ซึ่งน่าจะเกิดจาก CuS ที่ได้จากการเสื่อมสภาพของตัวอย่าง P_Gold (Scott, 1983)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างสี

ชื่อตัวอย่าง	บริเวณที่เก็บตัวอย่างสี	องค์ประกอบ		
P_White		Element	Weight %	Atomic %
		C	9.45	26.00
		O	25.23	52.12
		Si	2.78	3.28
		Cl	5.92	5.52
		Ca	6.10	5.03
		Pb	**50.53**	**8.06**
P_Blue1		Element	Weight %	Atomic %
		C	16.97	25.83
		N	**4.36**	**5.69**
		O	50.19	57.39
		Si	8.51	5.55
		S	6.77	3.86
		Fe	**2.14**	**0.70**
		Pb	11.07	0.98

P_Blue2		Element	Weight %	Atomic %
		O	46.74	75.86
		Si	13.70	12.68
		S	5.25	4.25
		Ca	3.98	2.57
		Fe	**2.45**	**1.14**
		Pb	**27.87**	**3.49**
P_Black		Element	Weight %	Atomic %
		C	15.07	41.96
		O	16.14	33.74
		Al	1.44	1.78
		Si	0.98	1.17
		S	10.25	10.69
		Ca	1.94	1.62
		Hg	54.18	9.03
P_Brown		Element	Weight %	Atomic %
		C	9.07	23.42
		O	26.49	51.36
		Al	1.31	1.50
		Si	3.61	3.98
		S	7.15	6.92
		Ca	2.61	2.02
		Ba	43.95	9.93
		Pb	5.81	0.87
P_Red1		Element	Weight %	Atomic %
		C	14.88	33.89

		O	29.84	51.04
		Si	1.75	1.70
		S	8.55	7.30
		Hg	**26.67**	**3.64**
		Pb	18.30	2.42
P_Red2		Element	Weight %	Atomic %
		C	14.51	31.47
		O	33.04	53.82
		Si	4.12	3.83
		S	4.55	3.70
		Cl	1.50	1.11
		Fe	1.96	0.92
		Hg	**18.25**	**2.37**
		Pb	22.06	2.77
P_Green1		Element	Weight %	Atomic %
		O	27.79	62.75
		S	0.25	0.28
		Cl	1.09	1.12
		Cu	**42.14**	**23.96**
		As	**22.38**	**10.79**
		Pb	6.36	1.11
P_Green2		Element	Weight %	Atomic %
		C	11.26	29.19
		O	27.25	53.03
		Si	2.15	2.38
		Cl	3.32	2.92

		Fe	**2.18**	**1.21**
		Cu	**5.42**	**2.66**
		As	**4.97**	**2.06**
		Pb	43.45	6.53
P_Green3		Element	Weight %	Atomic %
		C	17.05	33.63
		O	38.13	56.49
		Si	3.62	3.06
		Fe	2.04	0.86
		Cu	**2.60**	**0.97**
		As	**3.95**	**1.25**
		Pb	32.61	3.73
P_Gold		Element	Weight %	Atomic %
		C	20.27	68.59
		O	5.31	13.49
		S	1.19	1.51
		Cu	2.98	1.91
		Au	**70.25**	**14.5**

ตารางที่ 6 ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในจิตรกรรม

ชื่อตัวอย่าง	ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสี
P_White	Lead white
P_Blue1 และ P_Blue2	Prussian blue + Lead white
P_Black	Organic pigment
P_Brown	Organic brown pigment + Barium sulfate (Lake pigment)
P_Red1 และ P_Red2	Red cinnabar

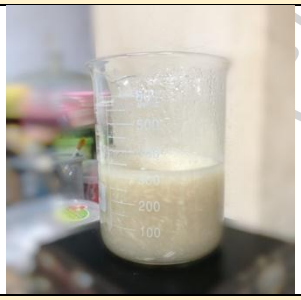
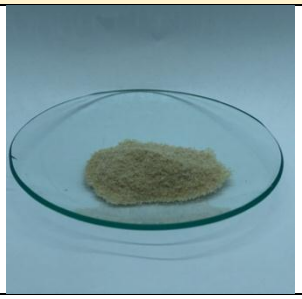
ชื่อตัวอย่าง	ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสี
P_Green1, P_Green2 และ P_Green3	Copper-based pigment
_Gold	Gold alloy

4.3 การเตรียมผงกาวและผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.3.1. การเตรียมผงกาวเมล็ดมะขาม

ขั้นตอนการเตรียมผงกาวเมล็ดมะขาม แสดงรายละเอียดดังในตารางที่ 7 ผงกาวเมล็ดมะขาม ที่เตรียมได้ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลาในการกวนประมาณ 5 นาที ผงกาวที่เตรียมโดยเทคนิคนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้เป็นเวลานาน โดยไม่ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย และง่ายต่อการนำไปใช้งาน

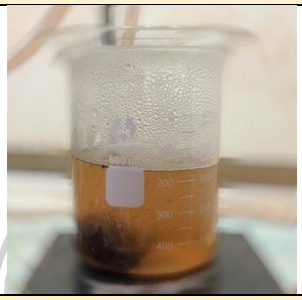
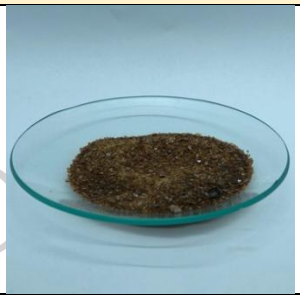
ตารางที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมผงกาว

1. ให้ความร้อน	2. ลอกเปลือก	3. บด
3. กวนสารละลายกาว	4. กรองน้ำกาว	5. ตกตะกอนกาว
		
6. อบตะกอน	7. บดตะกอน	8. ผงกาว
		

4.3.2 ผงกาวธนนไชย

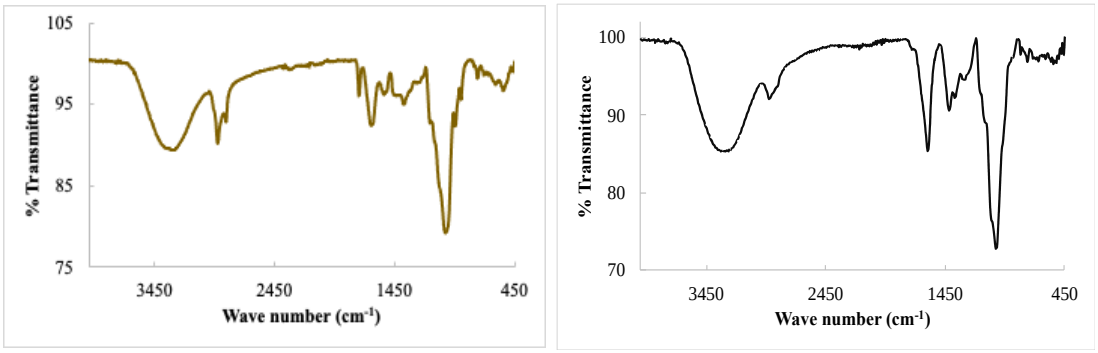
ขั้นตอนการเตรียมผงกาวธนนไชย แสดงรายละเอียดดังในตารางที่ 8 ผงกาวที่เตรียมได้ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ผงกาวที่เตรียมโดยเทคนิคนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้เป็นเวลานาน โดยไม่ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย และง่ายต่อการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 8 ขั้นตอนการผลิตผงกาวธนนไชย

1. ยางไม้ธนนไชย	2. กวนสารละลายกาว	3. กรองน้ำกาว
		
3. อบกาว	4. บดฟิล์มกาว	5. ผงกาวธนนไชย
		

4.3.3 ผลการวิเคราะห์กาวด้วย Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR)

เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในผงกาวเมล็ดมะขาม และผงกาวธนนไชยแสดงในภาพที่ 20 พบว่าตัวอย่างทั้ง 4 ปรากฏแถบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งคล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันและรูปแบบการสั่นดังตารางที่ 9



(ก) (ข)

ภาพที่ 20 สเปกตรัมอินฟราเรดของ (ก) ผงกาวมะขาม (ข) ผงกาวธนนไชย

ตารางที่ 9 ลักษณะการสั่นของพันธะในตัวอย่างผงกาว

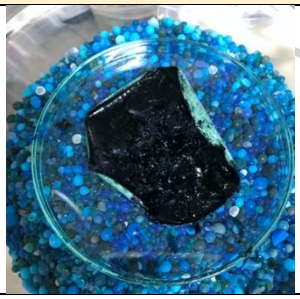
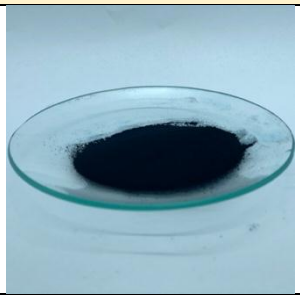
ชนิดของผงกาว	ความถี่ (ชนิดของการสั่น)
เมล็ดมะขาม	3303 (ν_{OH}), 2924, 2854 (ν_{CH}), 1745 ($\nu_{C=O}$), 1638 (δ_{OH}), 1373 (δ_{CH}), 1151 (ν_{C-O-C}), 1022 (ν_{C-O}), 943 ($\nu_{C-O, C-C}$)
ยางธนนไชย	3310 (ν_{OH}), 2924 (ν_{CH}), 1720 ($\nu_{C=O}$), 1596 (δ_{OH}), 1369 (δ_{CH}), 1117 (ν_{C-O-C}), 1023 (ν_{C-O}), 820 (δ_{CH})

4.4 การวิเคราะห์สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

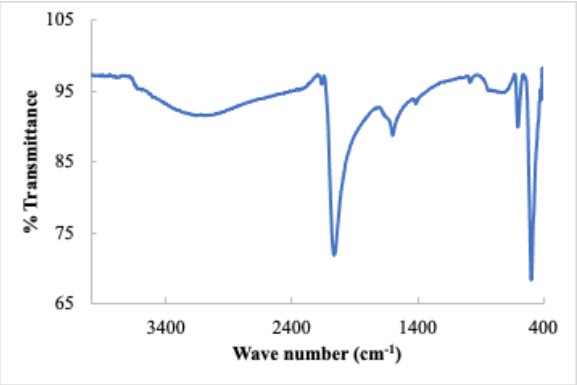
4.4.1 สีสังเคราะห์ (Samain, Grandjean, et al., 2013)

สีน้ำเงิน Prussian blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ได้จากการสังเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 10 สีน้ำเงินชนิดนี้ละลายในเอทานอลได้ดี

ตารางที่ 10 ขั้นตอนการสังเคราะห์สีน้ำเงิน Prussian blue

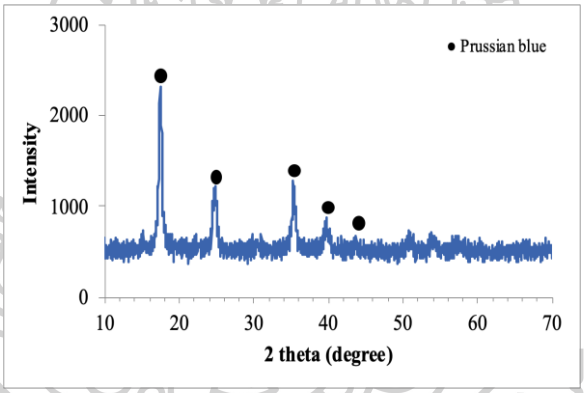
1. เตรียมสารเคมี	2. การตกตะกอน	3. การกรอง
4. วางในโถดูดความชื้น	5. การบดผงสี	6. ผงสี
		

เทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectrometer (FT-IR) เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในสีน้ำเงิน Prussian blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) แสดงในภาพที่ 21 พบว่าตัวอย่างสีน้ำเงิน Prussian blue มีพีคที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของการยืด-หดของพันธะ C≡N (ν_{CN}) พีคที่ตำแหน่ง 2063 cm^{-1} ซึ่งเป็น cyanide ion



ภาพที่ 21 สเปกตรัมอินฟราเรดสีน้ำเงิน Prussian blue

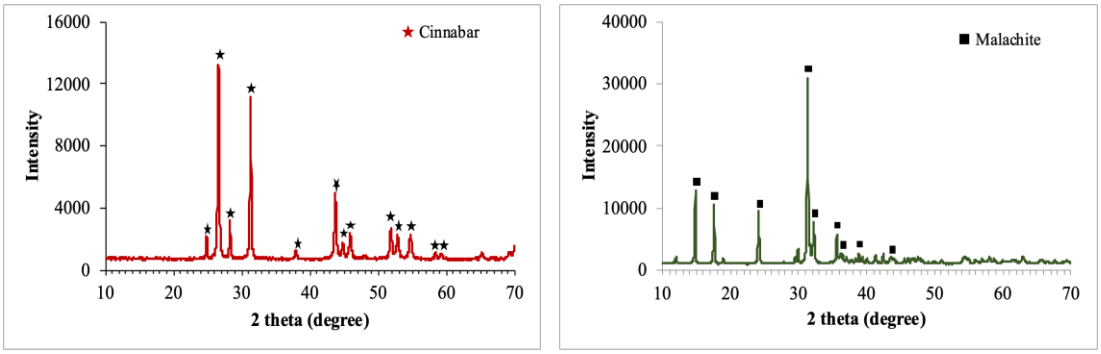
เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) เทคนิคนี้ใช้ในการวัดความเป็นผลึกหรือความเป็นระเบียบของผงสีน้ำเงิน Prussian blue แสดงในภาพที่ 22 และมีค่า 2 theta (degree) คือ 17.48, 24.67, 35.39, 39.74, และ 43.73



ภาพที่ 22 รูปแบบ XRD ของผงสีน้ำเงิน Prussian blue

4.4.2 สีธรรมชาติ

นำสีธรรมชาติที่ได้ซื้อมาจากร้าน กระยารงค์ by Nop-Art-Studio เช่น สีแดงชาด และสีเขียวมาลาไคท์มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แสดงในภาพที่ 23 (ก) และ (ข) ด้วยสีแดงมีค่า 2 theta (degree) คือ 26.59, 28.26, 31.28, 43.69, 44.78, 45.86, 51.82, 52.80, และ 54.69 ส่วนสีเขียวมาลาไคท์มีค่า 2 theta (degree) คือ 14.89, 17.61, 24.17, 31.30, 32.19, 35.67, 36.52, 39.45, และ 43.19



(ก) (ข)

ภาพที่ 23 รูปแบบ XRD (ก) ผงสีแดงชาด (ข) ผงสีเขียวมาลาไคท์

4.5 การเตรียมฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น ชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

4.5.1 ฟิล์มกาว

จากการเตรียมฟิล์มกาวเมล็ดมะขามและฟิล์มกาวธนนไชยพบว่า ฟิล์มกาวเมล็ดมะขามมีสีครีมและฟิล์มกาวมีสภาพเหนียวและแข็งแรง ส่วนฟิล์มกาวธนนไชยมีสีน้ำตาลเหลืองและฟิล์มกาวมีสภาพกรอบ แตกง่าย

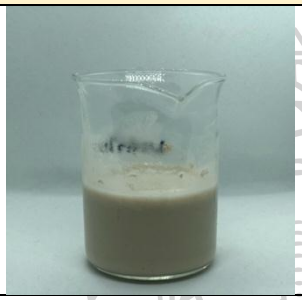
4.5.2 ชั้นรองพื้น

จากการทดลองเตรียมชั้นรองพื้นโดยใช้น้ำกาวที่มีความเข้มข้น 1% (w/v) และความเข้มข้น 2% (w/v) มาทาบนแผ่นไม้ แผ่นกระจกสไลด์ และกระดาษ พบว่า ชั้นรองพื้นที่ใช้น้ำกาวที่มีความเข้มข้น 1% (w/v) เมื่อชั้นรองพื้นแห้งสนิทมีลักษณะหลุดล่อนและหลอก ดังภาพที่ 24 (ก) เนื่องจากนี้เมื่อนำสีมาทาบนชั้นรองพื้นที่ใช้น้ำกาวที่มีความเข้มข้น 1% (w/v) ชั้นสีแตกและล่อนจากวัสดุรองรับ ดังภาพที่ 24 (ข) ส่วนน้ำกาวที่มีความเข้มข้น 2% (w/v) เมื่อชั้นรองพื้นแห้งสนิทมีลักษณะแข็งแรงติดกับวัสดุรองรับได้ดีดังตารางที่ 11 สามารถนำมาทาสี เพื่อศึกษาความเสื่อมสภาพของชั้นรองพื้นและชั้นสี

(ก) (ข)

ภาพที่ 24 ชั้นรองพื้นด้วยน้ำกาวที่มีความเข้มข้น 1% (w/v) (ก) ชั้นรองพื้นหลุดล่อน (ข) ชั้นสีลอก

ตารางที่ 11 การเตรียมชั้นรองพื้นด้วยน้ำกาวที่มีความเข้มข้น 2% (w/v)

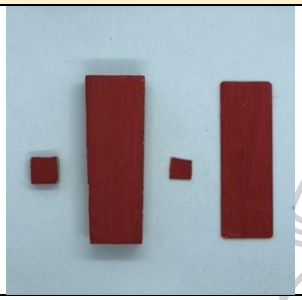
1. เตรียมดินสอพอง	2. ละลายกาว
3. ผสมน้ำกาวกับดินสอพอง	4. ชั้นรองพื้น
	

4.5.3 การเตรียมชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

การทดลองเตรียมชั้นสี เช่น สีแดงชาด สีเขียวมาลาไคท์ และสีน้ำเงิน Prussian blue พบว่า สีแดงชาด และสีเขียวมาลาไคท์ เมื่อแช่น้ำกลั่นก่อนผสมกาว เม็ดสีแตกตัวง่าย ส่วนสีน้ำเงิน Prussian blue แตกตัวยาก แต่สีน้ำเงิน Prussian blue แตกตัวง่ายเมื่อแช่เอทานอล เนื่องจากนี้ สีน้ำเงิน Prussian blue ไม่สามารถทาบนชั้นรองพื้นได้เนียน และเมื่อชั้นสีแห้งสนิทพื้นผิวของชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue มีลักษณะไม่เรียบเสมอ ดังภาพที่ 25 ชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue ต้องผสมสีขาวตะกั่ว เพื่อให้พื้นผิวของชั้นสี Prussian blue เมื่อแห้งสนิทมีลักษณะเรียบเนียน ไม่ถลอก และลดความเข้มของสีน้ำเงิน Prussian blue

ภาพที่ 25 ชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue

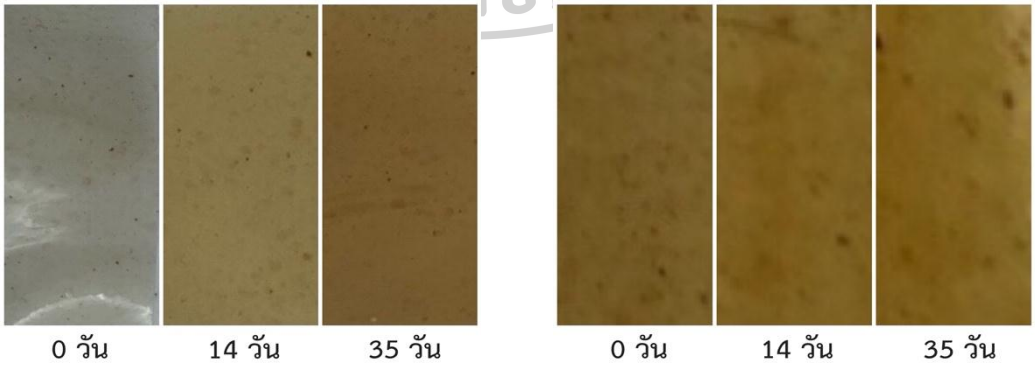
ตารางที่ 12 การเตรียมชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

1. เตรียมสี	2. ละลายกาว	3. ผสมน้ำกาวกับสี
4. ชั้นสี	ภาพเขียนสีบนกระดาษ	
		

4.6 การศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้น และชั้นสีบนไม้ตะเคียน

4.6.1 การศึกษาความเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว

ภาพถ่ายของตัวอย่างฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม และฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตในระยะเวลา 14 วัน และ 35 วัน ภาพที่ 26 จะเห็นว่า ฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม (ก) มีการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอ่อนในระยะเวลา 14 วัน และเป็นสีน้ำตาลเข้มในระยะเวลา 35 วัน ส่วนฟิล์มกาวธนนไชย (ข) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตด้วยสายตา



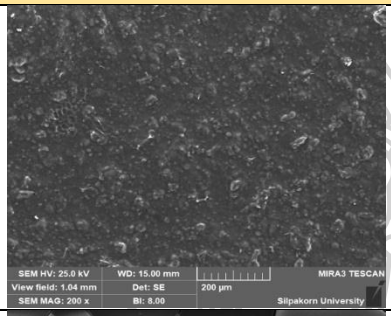
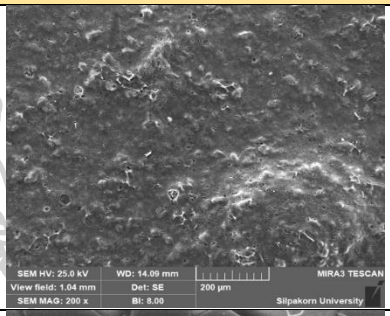
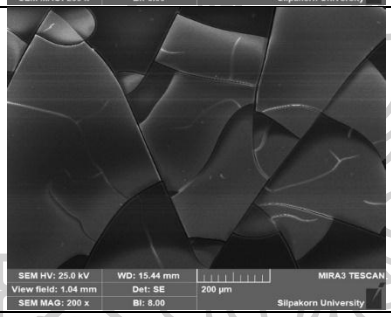
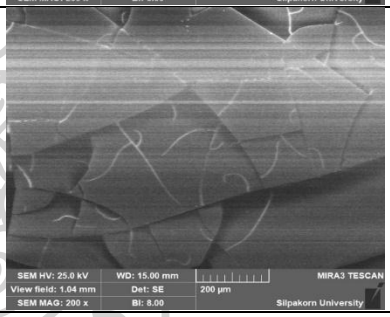
(ก) (ข)

ภาพที่ 26 ภาพถ่ายก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตในระยะเวลา 14 วัน และ 35 วัน

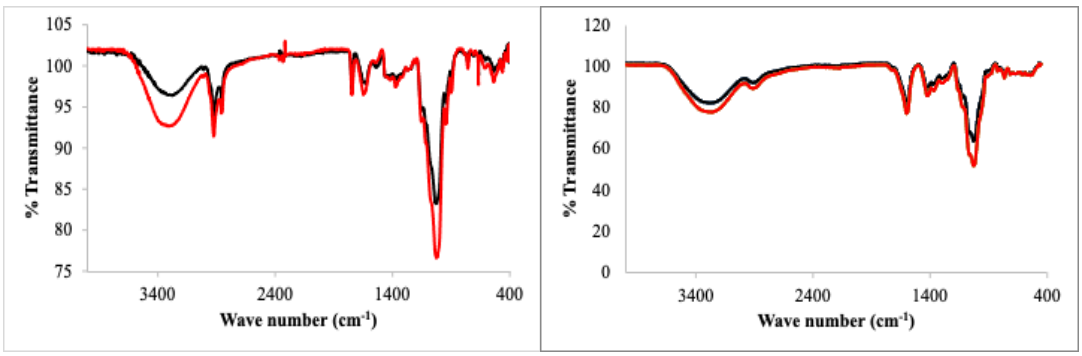
(ก) ฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม (ข) ฟิล์มกาวธนนไชย

นำฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม และฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 13 จากภาพ SEM ของฟิล์มกาวเมล็ดมะขามหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต จะเห็นว่าเนื้อฟิล์มมีการโป่งงอ และเกิดรูเล็กๆ ทั่วทั้งพื้นผิว ในขณะที่ฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต จะเห็นว่าเนื้อฟิล์มมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือเกิดรอยแยกทั่วทั้งพื้นผิว

ตารางที่ 13 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มกาวก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต

ตัวอย่าง	0 วัน	35 วัน
กาวเมล็ดมะขาม		
กาวธนนไชย		

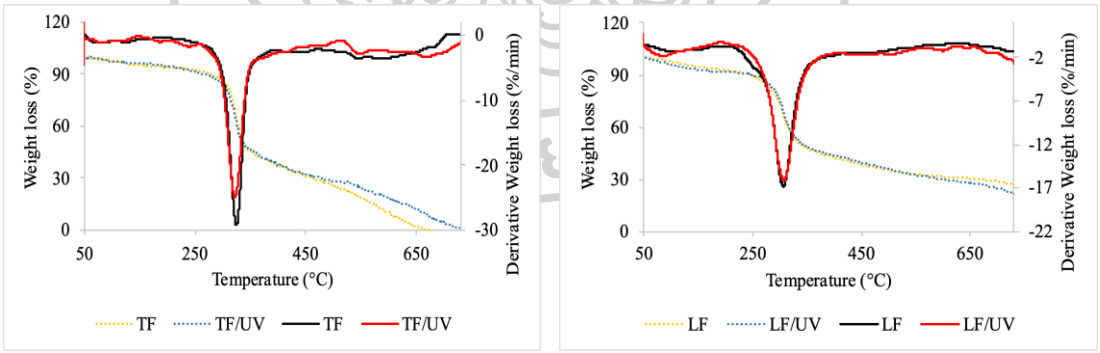
สำหรับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างฟิล์มกาวทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค FTIR ไม่พบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของฟิล์มก่อน-หลังการวางภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต



(ก) (ข)

ภาพที่ 27 สเปกตรัมอินฟราเรดของ (ก) ฟิล์มกาวมะขาม (ข) ฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน (สีดำ) และหลัง (สีแดง) วางภายใต้แสง UV 35 วัน

ผลการวิเคราะห์ความเสถียรเชิงความร้อนของฟิล์มกาวทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค TGA (Thermo-gravimetric Analysis) ได้ Thermogram ดังภาพที่ 28 และข้อมูลการสลายตัวดังตารางที่ 14 โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการระเหยของน้ำในฟิล์มกาว และขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนที่ลดน้ำหนักมากที่สุด เป็นขั้นตอนการสลายตัวของพอลิแซคคาไรด์ในกาวเมล็ดมะขามและกาวธนนไชย (Prajapati, Jani, Moradiya, & Randeria, 2003) และพบข้อมูลที่น่าสนใจคือฟิล์มกาวมะขามหลังการวางภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีความเสถียรเชิงความร้อนลดลง โดยมี Tp ของขั้นตอนที่สองที่ 320.93°C ซึ่งมีค่า**น้อยกว่า**ฟิล์มกาวมะขามก่อนการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งมีค่า Tp อยู่ที่ 324.67°C (ดูตารางที่ 14)



(ก) (ข)

ภาพที่ 28 Thermogram ของ (ก) ฟิล์มกาวเมล็ดมะขาม (ข) ฟิล์มกาวธนนไชย ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 0 และ 35 วัน

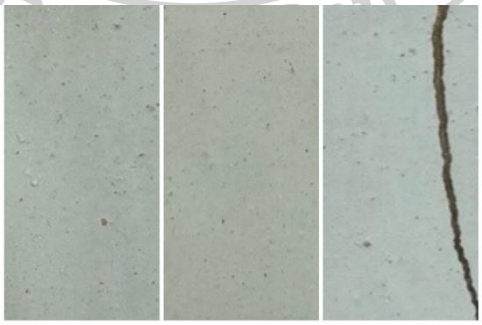
ตารางที่ 14 ผล TGA ของฟิล์มกาวเมล็ดมะขามและฟิล์มกาวธนนไชย

ตัวอย่างฟิล์มกาว	ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)			% น้ำหนักที่หายไป	
		เริ่ม	สุดท้าย	Tp*	แต่ละขั้น	รวม
มะขาม 0 วัน	1st	49.12	187.08	124.38	5.79	66.19
	2nd	187.08	431.06	**324.67**	60.4	
มะขาม 35 วัน	1st	46.98	145.47	81.28	3.58	60.1
	2nd	202.54	401.3	**320.93**	56.52	
ธนนไชย 0 วัน	1st	45.52	204.81	103.86	7.62	59.13
	2nd	204.81	419.93	**305.95**	51.51	
ธนนไชย 35 วัน	1st	47.36	192.99	85.06	7.92	57.13
	2nd	192.29	409.35	**306.93**	49.21	

หมายเหตุ Tp* คือ อุณหภูมิที่พีคของ Derivative weight % (%/min) เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด

4.6.2 การศึกษาความเสื่อมสภาพของชั้นรองพื้น

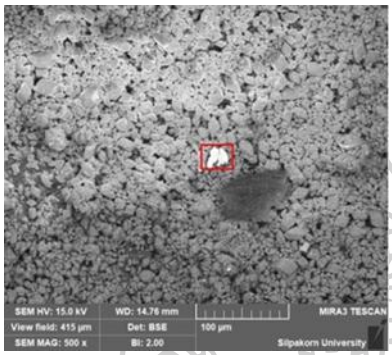
ภาพถ่ายของตัวอย่างชั้นรองพื้นจากกาวเมล็ดมะขาม ก่อน-หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตในระยะเวลา 14 วัน และ 35 วัน ภาพที่ 29 แสดงการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่าที่เวลา 14 วัน ชั้นรองพื้นมีสีคล้ำมากขึ้นซึ่งน่าจะมาจากการเปลี่ยนสีของกาวมะขาม และหลังจากทิ้งไว้ 35 วัน ชั้นรองพื้นเปลี่ยนเป็นสีขาวจัด พื้นผิวเกิดรอยแตกร้าวและดินสอพองเกิดการหลุดร่อนเมื่อถูกสัมผัส รวมทั้งยังพบร่องรอยการหลุดของชั้นรองพื้นออกจากผิวของไม้ที่เป็นวัสดุรองรับ แสดงให้เห็นว่ากาวมะขามเกิดการเสื่อมสภาพและขาดคุณสมบัติยึดติดเนื้อดินสอพอง



ภาพที่ 29 ภาพถ่ายชั้นรองพื้นก่อน-หลังภาพใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต

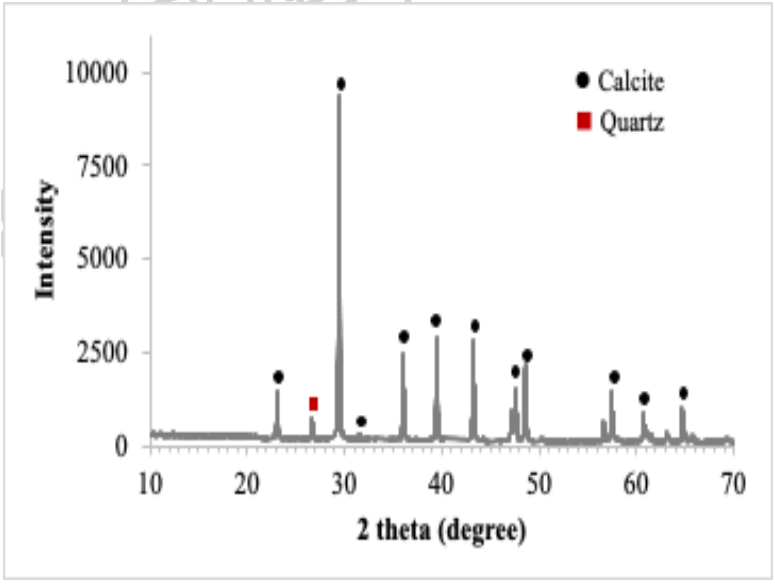
ผลการวิเคราะห์ชนิดของธาตุองค์ประกอบในชั้นรองพื้นกาวเมล็ดมะขามโดยเทคนิค EDX พบว่าตัวอย่างที่เป็นชั้นรองพื้นประกอบด้วยธาตุ แคลเซียม (Ca), อลูมิเนียม (Al) และ ซิลิกอน (Si) ดัง

ภาพที่ 30 ซึ่งการพบธาตุอลูมิเนียม และ ซิลิกอน ในชั้นรองพื้นนั้นเกิดจากดินสอพองที่ใช้มีสิ่งเจือปนเป็นทราย (SiO_2) หรือ clay ($Al_2O_3(SiO_2)_2(H_2O)_2$) (Gettens, Fitzugh, & Feller, 1974) และผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ช่วยยืนยันว่าชั้นรองพื้นประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และ quartz (SiO_2) โดยแคลเซียมคาร์บอเนตจะเกิด diffraction peaks ที่ค่า 2 theta : 23.11, 29.46, 31.50, 35.93, 39.45, 43.21, 47.56, 48.56, 57.45 และ 64.73° (ภาพที่ 31) ส่วน quartz เกิดที่ 26.65° (รูปที่ 4.12)



ธาตุ	Atomic %
C	14.96
O	68.96
Al	1.1
Si	2.19
Ca	12.79

ภาพที่ 30 ผล SEM-EDX ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต



*ภาพที่ **31** รูปแบบ XRD ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 35 วัน*

4.6.3 การศึกษาความเสื่อมสภาพของชั้นสีและภาพเขียนบนกระดาษ

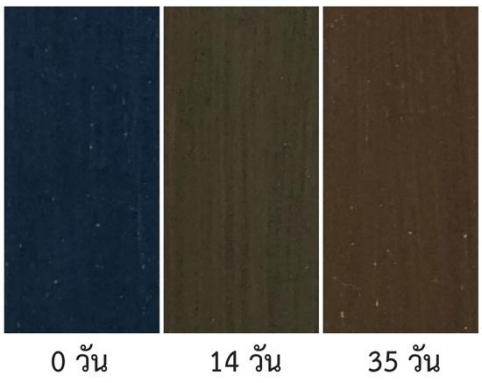
ลักษณะของภาพเขียนบนกระดาษก่อนและหลังวางภายใต้แสง UV เป็นเวลา 14 และ 35 วัน แสดงในภาพที่ 32 โดยพบการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างมากสำหรับสีน้ำเงิน (Prussian blue) และสี

แดงชาด และเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉดสีเล็กน้อยของสีเขียวมาลาไคท์ ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชั้นสีด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ แสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

*ภาพที่ **32** ลักษณะของภาพเขียนบนกระดาษก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน*

ชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue)

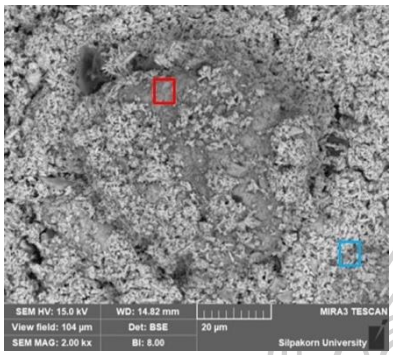
หลังจากวางอยู่ภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตระยะเวลา 14 วัน สีน้ำเงิน (Prussian blue) มีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนจากสีน้ำเงินเข้มกลายเป็นสีน้ำตาลอมเขียว และหลังจาก 35 วัน จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) ก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน

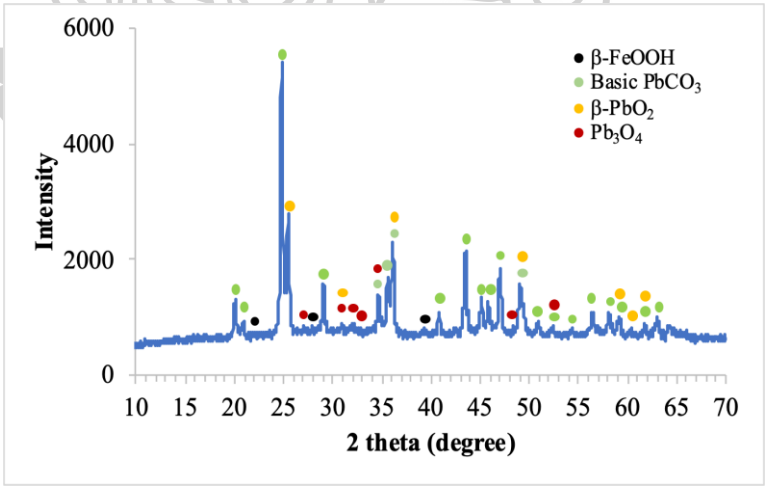
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) โดยเทคนิค EDX แสดงในภาพที่ 34 พบว่าตัวอย่างที่เป็นชั้นสีประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน (N), อลูมิเนียม (Al), คอลรีน (Cl), แคลเซียม (Ca), เหล็ก (Fe), และ ตะกั่ว (Pb) สำหรับธาตุแคลเซียม และอลูมิเนียม จะมาจากดินสอพองที่ใช้ในชั้นรองพื้น ส่วนคลอรีน เป็นธาตุที่ปนเปื้อนมาจากขั้นตอนการสังเคราะห์สีน้ำเงิน Prussian blue และจากข้อมูล XRD (ภาพที่ 35) ยืนยันว่าสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) คือ

β-PbO_2 และ Pb_3O_4 โดย β-PbO_2 ที่มีสีดำหรือน้ำตาล และ Pb_3O_4 ที่มีสีแดงหรือแดงอมส้ม เกิดจากปฏิกิริยา Photooxidation ของสีขาวตะกั่วที่ผสมในสีน้ำเงิน Prussian blue (Zhao et al., 2019)



ธาตุ	Atomic %	
	สีแดง	สีฟ้า
C	18.65	26.12
N	6.27	-
O	53.07	44.75
Na	2.79	-
Al	-	2.96
Cl	2.29	-
Ca	1.44	-
Fe	11.48	12.65
Pb	4.01	13.51

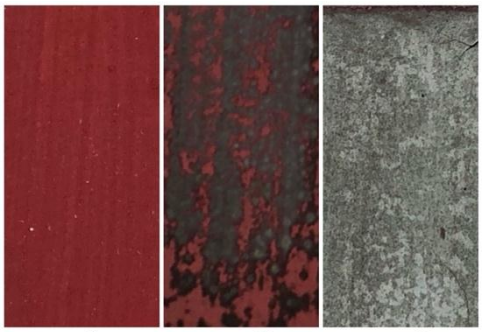
ภาพที่ 34 ผล SEM-EDX ของชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 35 วัน



*ภาพที่ **35** รูปแบบ XRD ของชั้นสีน้ำเงิน (Prussian blue) ที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต*

ชั้นสีแดงชาด

หลังจากวางอยู่ภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 วัน ชั้นสีแดงชาดเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มและเกิดจุดสีดำขึ้นบนพื้นสีแดง หลังจาก 35 วันจะเกิดของแข็งสีขาวคลุมทั่วทั้งพื้นผิว รวมทั้งชั้นสีเกิดการแตกร้าว (ภาพที่ 36)



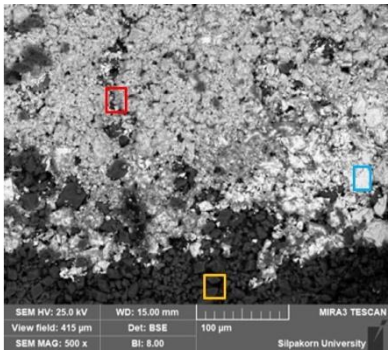
ภาพที่ 36 ชั้นสีแดงชาดก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของชั้นสีแดงชาดโดยเทคนิค EDX (ภาพที่ 37) พบว่าตัวอย่างที่เป็นชั้นสีประกอบด้วย ปรอท (Hg), กำมะถัน (S), อลูมิเนียม (Al) แมงกานีส (Mg) และ ซิลิกอน (Si) ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบที่เป็น HgS (สีแดงชาด), calcite (จากชั้นรองพื้น), quartz (จากชั้นรองพื้น), clay (จากชั้นรองพื้น) ทำการยืนยันองค์ประกอบเหล่านี้ด้วยเทคนิค XRD พบว่าสารสีดำที่เกิดขึ้นบนสีแดงชาดหลังจากฉายรังสีอัลตราไวโอเลต 14 วัน เกิดจากการเปลี่ยนรูปผลึกจาก α-HgS (สีแดง) เป็น β-HgS (สีดำ) (Nöller, 2014) นอกจากนี้ยังพบ calcite ซึ่งเกิด diffraction peak ที่ 2 theta เท่ากับ 29.37° (ภาพที่ 38 (ก)) และสารสีขาวที่เกิดคลุมพื้นผิวของชั้นสีแดงชาดหลังจากฉายรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 35 วัน คือ gypsum ($CaSO_4$) ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Calcium sulfation ของสีแดงชาด (HgS) ดังกลไกต่อไปนี้ (Cotte et al., 2006):

$$HgS + CaCO_3 \longrightarrow HgCO_3 + CaS$$

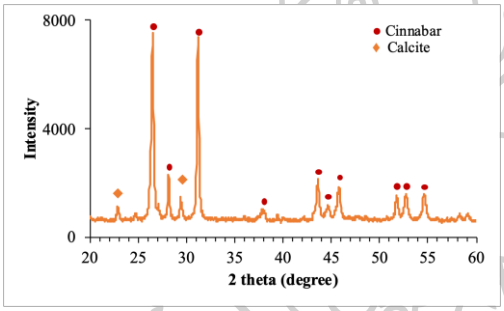
$$CaS + O_2 \longrightarrow CaSO_4$$

$$HgCO_3 \longrightarrow HgO + CO_2$$

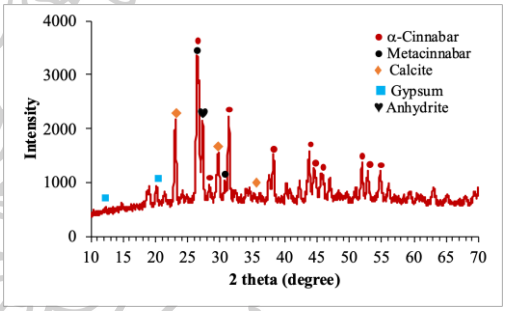


ธาตุ	Atomic %		
	สีส้ม	สีแดง	สีฟ้า
C	14	16.98	33.46
N	-	20.87	-
O	66.85	38.78	30.73
Mg	0.55	-	-
Al	0.71	1.07	-
Si	1.19	0.74	-
S	1.67	11.92	19.59
Ca	15.03	-	1.52
Hg	-	9.64	14.7

ภาพที่ 37 ผล SEM-EDX ของชั้นสีแดงชาดที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต



(ก)

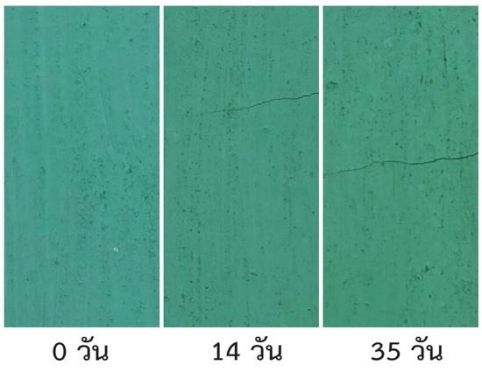


(ข)

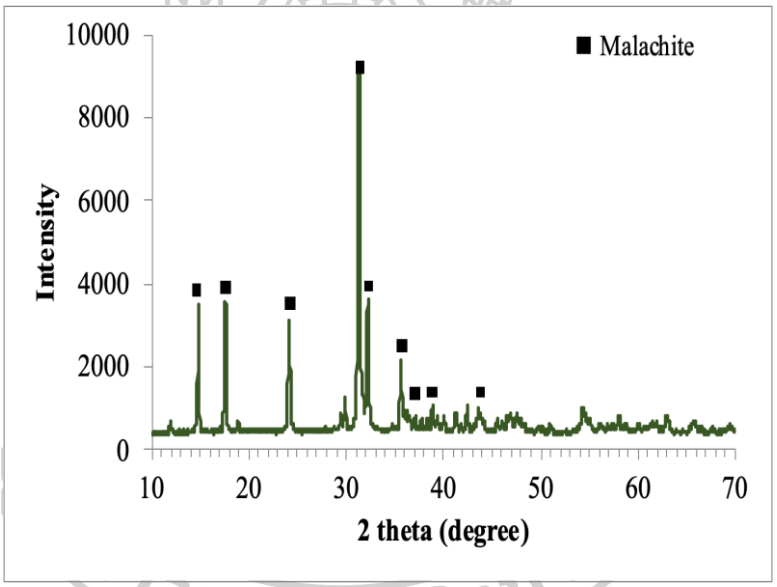
*ภาพที่ **38** รูปแบบ XRD ของชั้นรองพื้นที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา (ก) 14 และ (ข) 35 วัน*

ชั้นสีเขียวมาลาไคท์ (Malachite)

หลังจากวางอยู่ภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตระยะเวลา 14 วัน และ 35 วัน สีเขียวมาลาไคท์เกิดเฉดสีเหลืองขึ้นบนชั้นสีเขียวของมาลาไคท์ ซึ่งมาจากการเปลี่ยนสีของกาวมะขามถายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และพบรอยแตกร้าวจากชั้นรองพื้น ดังภาพที่ 39 จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า สีเขียวมาลาไคท์เป็นสีที่ทนทานและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากต่อหลายปัจจัย เช่น ชนิดของกาวหรือสาร binder ต่างๆ แสง รังสีอัลตราไวโอเลต และความเป็น (Coccato et al., 2017) ดังนั้นการเสื่อมสภาพของชั้นสีเขียวมาลาไคท์มีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของกาวมะขามเป็นสำคัญ



*ภาพที่ **39** ชั้นสีเขียวมาลาไคท์ก่อนและหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 วัน และ 35 วัน*



*ภาพที่ **40** รูปแบบ XRD ของชั้นสีเขียวมาลาไคท์ที่วางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลต*

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการศึกษาความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่างไม้ของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา ได้ผลสรุปดังนี้

1. จากการเก็บข้อมูลและการประเมินสภาพจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาพบความเสื่อมสภาพในหลากหลายรูปแบบทั้งทางกายภาพและเคมี ได้ออกแบบรายงานบันทึกสภาพ เพื่อบันทึกข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความเสื่อมสภาพจากภาพถ่าย ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการอนุรักษ์ซ่อมแซมจิตรกรรมบนแผ่นไม้ของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา
2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสีจิตรกรรมบนบานประตูและบานหน้าต่างพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชาด้วยเทคนิค SEM-EDX พบว่า สีที่ใช้ในงานจิตรกรรมคือ สีน้ำเงิน Prussian blue สีขาวตะกั่ว สีแดงชาด สีเขียว copper-based pigment สีน้ำตาลจากวัสดุอินทรีย์ที่ผสมกับสีขาว blanc fixe ($BaSO_4$) และมีการใช้แผ่นทองคำ (gold alloy) สำหรับงานปิดทอง
3. จากการศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของฟิล์มกาว ชั้นรองพื้นและชั้นสีบนไม้ตะเคียน พบว่า

   ฟิล์มกาวมะขามหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี ในขณะที่ฟิล์มกาวธนนไชยหลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

   ชั้นรองพื้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสีภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต จากสีขาวเป็นสีหมองคล้ำ และกลับมาเป็นสีขาว และพบพื้นผิวของชั้นรองพื้นมีสภาพหลุดร่อนเมื่อถูกสัมผัส รวมทั้งพบรอยแตกร้าวและหลุดลอกจากผิวของไม้ที่เป็นวัสดุรองรับ การเสื่อมสภาพของชั้นรองพื้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเสื่อมสภาพและขาดคุณสมบัติยึดติดของกาวมะขาม

ชั้นสีน้ำเงิน Prussian blue หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน เกิดชั้นสีน้ำตาลบนพื้นผิวของ Prussian blue และข้อมูลจากเทคนิค XRD บ่งชี้ว่าสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นคือ β-PbO_2, Pb_3O_4 และ β-FeOOH

ชั้นสีแดงชาด หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 วัน เกิดการเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มและมีจุดดำขึ้นบนพื้นสีแดง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปผลึกจาก α-HgS (สีแดง) เป็น β-HgS (สีดำ) นอกจากนี้ยังพบ calcite หลังจาก 35 วันจะเกิดของแข็งสีขาวคลุมทั่วทั้งพื้นผิว รวมทั้งชั้นสีเกิดการแตกร้าว ข้อมูลจากเทคนิค SEM-EDX และ XRD ช่วยยืนยันว่าของแข็งสีขาวคือ gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) ได้จากกระบวนการ Calcium sulfation ของสีแดงชาด (HgS)

ชั้นสีเขียวมาลาไคท์ หลังวางภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 14 และ 35 วัน เกิดเฉดสีเหลืองขึ้นบนชั้นสีเขียวของมาลาไคท์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสีของกาวมะขามถายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และพบรอยแตกร้าวของชั้นรองพื้น ซึ่งร่องรอยการเสื่อมสภาพของชั้นสีเขียวมาลาไคท์นั้นมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของกาวมะขามเป็นสำคัญ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาปัจจัยอื่น (นอกเหนือจากรังสีอัลตราไวโอเลต) ที่มีผลต่อความเสื่อมสภาพของสีน้ำเงิน Prussian blue สีแดงชาด สีเขียวมาลาไคท์ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับงานอนุรักษ์เชิงป้องกันจิตรกรรมบนไม้
2. ทดลองใช้สีขาวจากสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่ $2PbCO_3.Pb(OH)_2$ ในการผสมกับสีน้ำเงิน Prussian blue เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ $2PbCO_3.Pb(OH)_2$ จากอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเลต
3. จิตรกรรมที่มีการใช้สีแดงชาด และสีน้ำเงิน Prussian blue (ที่ผสมกับขาวตะกั่ว) ควรหลีกเลี่ยงจากรังสีอัลตราไวโอเลต

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Bailey, K. (2013). A note on Prussian blue in nineteenth-century Canton. *Studies in Conservation, 57*(2), 116-121. doi:10.1179/2047058412y.0000000002

Bansal, J., Kumar, N., Malviya, R., & PKSharma. (2013). Extraction and Evaluation of Tamarind Seed Polysaccharide as pharmaceutical In situ gel forming system. *American-Eurasian Journal of Scientific Research, 9*, 1-5. doi:10.5829/idosi.aejsr.2013.9.1.8259

Carol, A. G. (1986). Green Earth. In A. Roy & R. L. Feller (Eds.), *Artists' Pigments: a Handbook of Their History and Characteristics.* (Vol. 1, pp. 141-167). Oxford: Oxford University Press.

Chawananorasest, K., Saengtongdee, P., & Kaemchantuek, P. (2016). Extraction and Characterization of Tamarind (Tamarind indica L.) Seed Polysaccharides (TSP) from Three Difference Sources. *Molecules, 21*(6), 775. doi:https://doi.org/10.3390/molecules21060775

Coccato, A., Moens, L., & Vandenabeele, P. (2017). On the stability of mediaeval inorganic pigments: a literature review of the effect of climate, material selection, biological activity, analysis and conservation treatments. *Heritage Science, 5*(1). doi:10.1186/s40494-017-0125-6

Cotte, M., Susini, J., Metrich, N., Moscato, A., Gratziu, C., Bertagnini, A., & Pagano, M. (2006). Blackening of Pompeian Cinnabar Paintings: X-ray Microspectroscopy Analysis. *Analytical Chemistry, 78*(12), 7484-7492. doi:10.1021/ac0612224

Cristache, R., Sandu, A. V., Vasilache, V., & Sandu, I. (2015). Thermal Degradation of a Wood Painting Support from XIXth Century. *Applied Mechanics and Materials, 754-755*. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.703

Doménech-Carbó, M. T., & Oc, L. (2016). Another beauty of analytical chemistry: chemical analysis of inorganic pigments of art and archaeological objects. *ChemTexts, 2*. doi:10.1007/s40828-016-0033-5

Eremin, K., Stenger, J., Khandekar, N., Huang, J. F., Betley, T., Aspuru-Guzik, A., . . . Speakman, S. (2011). Materials and Techniques of Thai Painting. *MRS*

Proceedings, 1047. doi:10.1557/proc-1047-y06-04

Feian, Y. (1988). *Chinese Painting Colors : Studying Their Preparation And Application in Traditional and Modern Times* (S. J. & M. A., Trans.). Hong Kong: Hong Kong University Press.

Fitzugh, E. W. (1986). Red Lead and Minium. In A. Roy & R. L. Feller (Eds.), *Artists' Pigments: a Handbook of Their History and Characteristics.* (Vol. 1, pp. 109-139). Oxford: Oxford University Press.

Gettens, R. J., Fitzugh, E. W., & Feller, R. L. (1974). Calcium Carbonate White. *Studies in Conservation, 19*(3), 157-184.

Gettens, R. J., & Stout, G. L. (1996). Painting Materials: a Short Encyclopedia. In. New York: Dover Publications.

Grevenstein-Kruse, A., Van duin, P., Gompel, D., Groves, R., Horie, V., Kos, N., . . . Seymour, K. (2014). *The conservation of panel paintings and related objects*: Netherland Organization for Scientific Research.

Haines, P. J. (1995). *Thermal Methods of Analysis: Principle, Applications and Problems*. London: Chapman and Hall.

Hoadley, R. B. (1998). *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, 24-28 April 1995*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institue.

Hoffmann, P. M., & Jones, M. A. (1990). Structure and Degradation Process for Waterlogged Archaeological Wood. In R. M. Rowell & R. Barbour (Eds.), *Archaelogical Wood - Properties Chemistry and Preservation*. Washington, DC.: American Chemical Society.

Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(14), 3912-3918. doi:DOI: 10.1021/jf011652p

Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., & Randeria, N. P. (2003). Pharmaceutical Applications of Various Natural Gums, Musilage and Their Modified Forms. *Carbohydrate Polymer, 92*, 1685-1699.

Radepont, M. (2013). *Understanding of chemical reactions involved in pigment discoloration, in particular in mercury sulfide (HgS) blackening.*

Reddy, M., Bhoni, K., & Kuppala, K. (2015). Extraction and Characterization of Tamarind Seed Polysaccharide as a Pharmarceutical Excipeient., *3*(39), 1244-1253.

Roveda, V., & Yem, S. (2009). *Buddhist Painting in Cambodia.* Thailand: River Book.

Runkel, S., Leisen, H., Plehwe-Leisen, E. v., & Fuchs, R. (2012). Interior Polychromy and Wall Paintings in Khmer Brick Temples of the 9th and 10th Century in Cambodia.

Samain, L., Gilbert, B., Grandjean, F., Long, G. J., & Strivay, D. (2013). Redox reactions in Prussian blue containing paint layers as a result of light exposure. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 28*(4). doi:10.1039/c3ja30359d

Samain, L., Grandjean, F., Long, G. J., Martinetto, P., Bordet, P., & Strivay, D. (2013). Relationship Between the Synthesis of Prussian Blue Pigments, Their Color, Physical Properties and Their Behavior in Paint Layers. *The Journal of Physical Chemistry, 117*, 9693-9712.

Scott, D. (1983). The Deterioration of Gold Alloys and Some Aspects of Their Conservation. *Studies in Conservation, 28*(4), 194-204.

Simova, Veronika, Bezdicka, P., Hradilová, J., Hradil, D., Matys Grygar, T., & Grygar, T. (2012). X-ray Powder Microdiffraction for Routine Analysis of Paintings. *Powder Diffraction, 20*(3), 224-229. doi:10.1154/1.1938983

Stuart, B. (2007). *Analytical Techniques in Materials Conservation.* England: John Wiley & Sons Ltd.

Surf. Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy. Retrieved from https://www.surfgroup.be/semedx

Uchida, E., Takubo, Y., Toyouchi, K., & Miyata, J. (2012). Study on the Pigments in the Cruciform Gallery of Angkor Wat, Cambodia. *Archaeometry, 54*(3), 549-564. doi:10.1111/j.1475-4754.2011.00634.x

Zhao, Y., Wang, J., Pan, A., He, L., & Simon, S. (2019). Degradation of red lead pigment in the oil painting during UV aging. *Color Research & Application, 44*(5), 790-797. doi:10.1002/col.22386

กอก จันท์ถาด. (2539). จิตรกรรมโบราณ เรื่องรามเกียรติ์ในพระระเบียงพระวิหารพระแก้วมรกต (พระบรมราชวัง). กรุงพนมเปญ: มูลนิธิโตโยตา.

เพรีบ จันมารา. (2555). ประวัติโรงเรียนรจนา. กรุงพนมเปญ: นักนิพนธ์.

สมัย เสวครบุรี, & ทัษณ อาชวาคม. (2008). พืชกินได้ในป่าสะแกราช: สถานบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).

สอน สุพรรณ. (2554). การเตรียมพื้นเขียนจิตรกรรมฝาผนัง.

สาน ผลลา. (2555). จิตรกรรมตามวัด. กรุงพนมเปญ: เรยยม.

หน่วยงานอนุรักษ์พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา. (2549). จดหมายเหตุของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติกัมพูชา.

ภาพผนวก ก

แบบรายงานบันทึกสภาพของจิตรกรรมบนบานประตูและหน้าต่าง

พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติกัมพูชา

1. ข้อมูลทั่วไป	
ชื่อผู้สำรวจ	
วันที่สำรวจ	
ปีที่สร้างงาน	
ศิลปิน	
วัสดุที่ใช้ในการสร้างงาน	
จำนวนของภาพเขียน	
2. สภาพทั่วไปของจิตรกรรม	
3. วิธีการใช้สัญลักษณ์เพื่อบันทึกความเสื่อมสภาพของจิตรกรรม	
4. รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ	
5. การอนุรักษ์จิตรกรรมที่ผ่านมา	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	SOKHENG LA
วัน เดือน ปี เกิด	17 November 1993
สถานที่เกิด	Phnom Penh, Cambodia
วุฒิการศึกษา	Silpakorn University
ที่อยู่ปัจจุบัน	#231, Toul Songkea, RusseyKeo, DounPenh, Phnom Penh, Cambodia.
ผลงานตีพิมพ์	การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเสื่อมสภาพของจิตรกรรมบนแผ่นไม้ในประเทศกัมพูชา