การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวจุฑามาส เรืองยศจันทนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวจุฑามาส เรืองยศจันทนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

STUDIES ON DETERIORATION AND CONSERVATION FOR THAI MANUSCRIPT WITH PAINTING, CASE STUDY ON THE THAI MANUSCRIPT WITH THE REGISTRATION NUMBER OF R.W. 3 FROM RACHATHIWAT RATCHAWORAWIHAN TEMPLE

By

MISS Jutamas RUEANGYODJANTANA

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements

for Master of Arts (CONSERVATION OF FINE ART)

Graduate School Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร
โดย	จุฑามาส เรืองยศจันทนา
สาขาวิชา	อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ผุสดี รอดเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ ชาตินิยม)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(นางสาว พิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ)

58904303 : อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การอนุรักษ์/หนังสือสมุดไทย/กระดาษข่อย/สีโบราณ

นางสาว จุฑามาส เรืองยศจันทนา: การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

หนังสือสมุดไทยโบราณถือเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่ทรงคุณค่าของไทย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 ของวัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิคทางสเปคโตรสโคปีต่างๆ เช่น Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR – FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM)-Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) และการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) โดยทำการเก็บตัวอย่างเส้นใย 3 จุด คือ RW3-A (บริเวณที่ชำรุดส่วนปกบน) RW3-B (บริเวณที่พบคราบน้ำและร่องรอยการขาด) และRW3-C (บริเวณที่ชำรุดส่วนปกหลัง) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR – FTIR พบว่ามีการปรากฏพีคที่ตำแหน่งคล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งของพีคจะสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันและรูปแบบการสั่นที่บ่งชี้ถึงความเสื่อมสภาพของเส้นใย ข้อมูลจากเทคนิค XRD ปรากฏพีคของเซลลูโลสและแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และพบค่าความเป็นผลึกของเซลลูโลสใน RW3-B สูงกว่า RW3-A และ RW3-C เทคนิค SEM แสดงให้เห็นถึงลักษณะการแตกหักและความเสื่อมสภาพของเส้นใยทั้ง 3 ตัวอย่าง และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS พบปริมาณของธาตุซิลิกอน (Si) คลอรีน (Cl) และแคลเซียม (Ca) ที่แตกต่างกันโดยพบว่า RW3-B มีปริมาณของ Ca น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูล TGA ที่พบว่าน้ำหนักที่หายไปของตัวอย่าง RW3-B มีค่ามากที่สุดซึ่งเป็นตัวช่วยยืนยันปริมาณสารอนินทรีย์ที่ลดลง และการศึกษาองค์ประกอบสีบนสมุดไทยด้วยเทคนิค Synchrotron Radiation Micro X-ray Fluorescence (SRMXRF) โดยเก็บตัวอย่างสีจำนวน 12 สี และได้ทำการวิเคราะห์ชนิดและสารประกอบที่ทำให้เกิดสีบนหนังสือสมุดไทย เช่น สีแดงมีปรอท (Hg) เป็นองค์ประกอบหลัก ได้จาก Vermilion หรือ HgS เป็นต้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการทดลองผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ เพื่อนำมาใช้ในการซ่อมส่วนที่ชำรุดของหนังสือสมุดไทย โดยใช้เบส 3 ชนิด คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสกัดเส้นใยข่อย และดำเนินการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิค ATR-FTIR, XRD และ TGA พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของเยื่อก่อนการสกัดด้วยเบสแสดงพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ 1733 และ 1522 cm^{-1} เยื่อที่สกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตยังปรากฏพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ส่วนเยื่อที่สกัดด้วย $Ca(OH)_2$ และ NaOH ไม่ปรากฏพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ข้อมูลจาก XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วย NaOH มีความเป็นผลึกสูงที่สุด ข้อมูลจากภาพถ่าย SEM พบว่าไม่มีอนุภาคใดๆ บนเส้นใยที่สกัดด้วยเบสทั้ง 3 ชนิด แต่เมื่อตรวจสอบด้วย EDS พบปริมาณแคลเซียม (Ca) ในกระดาษที่ผ่านการสกัดด้วย $CaCO_3$ และ $Ca(OH)_2$ และจากข้อมูล TGA ความเสถียรเชิงความร้อนของเซลลูโลสมีมากขึ้นเมื่อใช้ NaOH ในการสกัด เนื่องจากสายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้นเมื่อเยื่อปราศจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลสทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้มีความเสถียรเชิงความร้อนมากขึ้น ผู้วิจัยได้เลือกกระดาษที่ทำด้วยเยื่อข่อยที่ผ่านการสกัดด้วย $Ca(OH)_2$ มาใช้ในทดสอบการอนุรักษ์ในบริเวณที่กระดาษขาดหาย เนื่องจากสีของกระดาษที่ได้มีความใกล้เคียงกับสีของกระดาษในหนังสือสมุดข่อย

58904303 : Major (CONSERVATION OF FINE ART)

Keyword : Conservation/Thai manuscript/Khoi paper/pigment

MISS Jutamas RUEANGYODJANTANA: Studies on deterioration and conservation for Thai manuscript with painting, case study on the Thai manuscriptwith the registration number of R.W. 3from Rachathiwat Ratchaworawihan temple Thesis advisor : Assistant Professor Radchada Buntem, Ph.D.

Ancient Thai manuscript is the high valued cultural heritage. This research aims to study the deterioration and conservation of Thai manuscript with painting, case study on the Thai manuscript with the registration number of R.W.3, Rachathiwat Ratchaworawihan temple, Bangkok, using various spectroscopic techniques like attenuated total reflectance Fourier transformed infrared (ATR – FTIR) spectroscopy, X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM)-Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) and thermogravimetric analysis (TGA). There are three sampling areas, RW3-A (from front cover) RW3-B (from the area previously soaked with water) and RW3-C (from back cover). ATR – FTIR Spectra of all samples showed similar vibrational peaks corresponding to the functional groups and the deterioration of the cellulose fiber. From XRD data, the characteristic peaks of cellulose and calcium carbonate were observed. The crystallinity of the cellulose in RW3-B is greater than cellulose in RW3-A and RW3-C. The SEM images of all samples show the appearance of broken fibers and similar fiber deterioration as evidenced from the. While the EDS data show different amount of silicon (Si), chlorine (Cl) and calcium (Ca). RW3-B shows the lowest amount of Ca corresponding to the highest weight loss percentage from TGA data which indicates the lower amount of inorganic particles. The compositions of the pigments used in paintings were studied by Synchrotron Radiation Micro X-ray Fluorescence (SRMXRF). Twelve pigments were collected from different areas and analyzed. The red pigment, for example, was identified as vermilion or HgS according to a high amount of Hg observed in XRF spectrum. By imitating the ancient methods, the new khoi paper was prepared in this research in order to apply for Thai manuscript conservation. The fiber extraction was attempted by using three different bases: calcium carbonate ($CaCO_3$), calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) and sodium hydroxide (NaOH). The khoi paper was analyzed by ATR-FTIR, XRD and TGA. FTIR spectrum of the untreated khoi fiber show the absorption peaks of lignin and hemicellulose at 1733 and 1522 cm^{-1} respectively. The presence of lignin and hemicellulose peaks was clearly observed in $CaCO_3$ -treated fiber. While the absence of those peaks was observed in $Ca(OH)_2$ and NaOH -treated fibers. The XRD data show the highest crystallinity of the NaOH-treated fiber. SEM images show the clean surfaces of all base-treated fibers. However EDS data show the Ca contents in $CaCO_3$ and $Ca(OH)_2$ - treated fibers. TGA data show the highest thermal stability of NaOH-treated cellulose due to the closer contact between different cellulose chains resulting in higher strength of the fiber. According to the similar color to the ancient manuscript, the $Ca(OH)_2$ - treated fiber was selected for the manuscript conservation.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ ชาตินิยม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร. ผุสดี รอดเจริญ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และ นางสาวพิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ นักอักษรศาสตร์ทรงคุณวุฒิ (ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านภาษาเอกสารและหนังสือ) กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณการให้ความสนับสนุนและความช่วยเหลือจากสถาบันและบุคคล ดังนี้

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากเงินงบประมาณแผ่นดิน (หมวดเงินอุดหนุนทั่วไป) ของบัณฑิตวิทยาลัยประจำปีงบประมาณ 2560

พระครูสิริกวีวัฒน์ ผู้ช่วยเจ้าอาวาสวัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร

ในความอนุเคราะห์หนังสือสมุดไทย เพื่อใช้ในงานวิจัย

ดร.จิตริน ชัยประภา สถานีวิจัยแสง 6b (SMRXRF) สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา ในการให้คำแนะนำสำหรับการศึกษาองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างด้วยเทคนิค SMRXRF และการใช้โปรแกรม PyMCA Vertion 5.1.4

นายการุณ โรหิตรัตนะ นายช่างพิมพ์อาวุโส นางลัดดาวัลย์ ทรัพย์สิน นางสาวเกศสรินทร์ ประมวลพัฒน์ นายช่างพิมพ์ชำนาญงาน และนางสาวอุษา สาริกบุตร นายช่างพิมพ์ปฏิบัติงาน ในการสอนปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์ ณ สำนักหอสมุดหอสมุดแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร

นายนิศิษย์ ฤทธิเวช อาจารย์ประจำวิชาการทำกระดาษ สมุดข่อย โรงเรียนช่างฝีมือในวัง (ชาย) สำหรับคำแนะนำ ความรู้ เทคนิค และกระบวนการผลิตกระดาษข่อยวิธีโบราณ

นายรุ่งสุริยา บัวสาลี นักวิจัย โครงการวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาว (Thai Long-Term Forest Ecological Research) ในการให้องค์ความรู้เรื่องพันธุ์ข่อย

นางสาวธนภรณ์ บุญรอด และนางสาวกมลวรรณ สามกองงาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่พักระหว่างการศึกษา และปฏิบัติงานด้านอนุรักษ์ตลอดการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามถึงเป็นอย่างสูง ที่คอยสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันให้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

จุฑามาส เรืองยศจันทนา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ 1

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 8

ประโยชน์ของงานวิจัย 8

ขอบเขตของงานวิจัย 8

วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย 9

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 11

นิยามศัพท์ 11

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 12

1.ความรู้เรื่องหนังสือสมุดไทย 12

1.1 การผลิตกระดาษข่อยและสมุดไทยโบราณ 12

1.2 การเขียนและการบันทึกเรื่องราวบนสมุดไทย 15

2. ชนิดและคุณสมบัติของกระดาษข่อย 16

2.1 ชนิดของข่อยที่ใช้ในการผลิต กระดาษ 16

2.2 คุณสมบัติของเส้นใยข่อย 21

3. จิตรกรรมบนสมุดไทย 24
3.1 ลักษณะงานจิตรกรรมและภาพเขียนบนสมุดไทย 24
3.2 สีที่ใช้เขียนหนังสือสมุดไทย 25
4. สาเหตุการเสื่อมสภาพ และการอนุรักษ์ 28
4.1 สาเหตุการเสื่อมสภาพของกระดาษ 28
4.1.1 ปัจจัยภายใน 29
4.1.2 ปัจจัยภายนอก 30
4.2 สาเหตุการเสื่อมสภาพของสี 32
4.3 การอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี 33
4.3.1 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive conservation) 33
4.3.2 การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา (Conservation treatment) 33
4.3.3 การตรวจสอบสภาพและการบันทึกข้อมูล 36
5. เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 38
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ 43
7. กรอบแนวคิด 43
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 46
1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษางานวิจัย 47
1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจและการเก็บข้อมูล 47
1.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง 47
1.3 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองผลิตกระดาษเลียนแบบวิธีโบราณ 47
1.3.1 สารเคมี 47
1.3.2 อุปกรณ์ 48
1.4 เครื่องที่ใช้วิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ 49
1.5 อุปกรณ์สำหรับการแปลข้อมูล 51

2. การสำรวจสภาพ และการเก็บข้อมูล 51
3. การเลือกและเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ 52
4. การวิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 58
4.1 วิเคราะห์ชนิดของธาตุประกอบที่พบบนเส้นใยกระดาษ 58
4.2 วิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของสีที่พบบนหนังสือสมุดไทย 60
4.2.1 เทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF) . 60
5. การผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ และการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 61
5.1 ขั้นตอนการทดลอง 61
5.2 วิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 66
6. ขั้นตอนการอนุรักษ์เบื้องต้น 67
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 68
1. ข้อมูลการสำรวจสภาพ และการเก็บข้อมูล 68
2. ตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ 68
3. ผลการวิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 72
3.1. ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของกระดาษ 72
3.1.1 เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) 72
3.1.2 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) 74
3.1.3 เทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) 77
3.1.4 เทคนิค Thermo gravimetric Analysis (TGA) 79
3.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสีในหนังสือสมุดไทย 81
3.2.1 เทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF) . 81

4. ผลการผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ และผลการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 87
4.2 ผลการวิเคราะห์กระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ 89
4.2.1 เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) 89
4.2.2 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) 91
4.2.3 เทคนิค Scanning Electron Microscopyand Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) 92
4.2.4 เทคนิค Thermo gravimetric Analysis (TGA) 93
5. ผลการการอนุรักษ์เบื้องต้น 96
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 97
ข้อจำกัดในงานวิจัย 98
ข้อเสนอแนะ 98
รายการอ้างอิง 99
ภาคผนวก ก 105
ภาคผนวก ข 114
ภาคผนวก ค 129
ภาคผนวก ง 137
ประวัติผู้เขียน 143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงลักษณะการกระจายพันธุ์ของข่อยที่พบในประเทศไทย	19
2.2	การบันทึกข้อมูลการอนุรักษ์	37
2.3	พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในวงโคจรของธาตุต่างๆ (eV)	41
2.4	ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์กระดาษและสีโบราณ	44
3.1	บริเวณที่เลือกเก็บตัวอย่างกระดาษจากสมุดไทย	53
3.2	บริเวณที่เลือกเก็บตัวอย่างสี	54
4.1	กระดาษที่ใช้ในการศึกษา	68
4.2	สีบนสำลีที่ใช้ในการศึกษา รูปจากกล้องดิจิทัลกำลังขยายสูง 10 เท่า	69
4.3	ความถี่และชนิดของการสั่นของพันธะในหมู่ฟังก์ชันต่างๆในตัวอย่างกระดาษโบราณ	73
4.4	ความเป็นผลึกของตัวอย่างกระดาษ	75
4.5	ข้อมูล EDS แสดงชนิดและปริมาณของธาตุในเส้นใยกระดาษสมุดไทย	78
4.6	ผล TGA ของตัวอย่างกระดาษสมุดไทย 3 ตัวอย่าง	80
4.7	ข้อมูลที่ศึกษาตัวอย่างสีด้วยเทคนิคไมโครเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ ผ่านซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4	83
4.8	ข้อมูลผลการศึกษา XRF ของสีในหนังสือสมุดไทย	85
4.9	ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในหนังสือสมุดไทย	86
4.10	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR	90
4.11	ความเป็นผลึกของตัวอย่างกระดาษที่ผ่านการสกัด	92
4.12	ข้อมูล EDS แสดงธาตุและปริมาณในเส้นใยกระดาษข่อยที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ	93
4.13	ผล TGA ของเยื่อข่อย	95

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ข่อย *Streblus asper Lour* 17

2.2 ดอกของต้นข่อย *Streblus asper Lour.* 17

2.3 ผลของต้นข่อย *Streblus asper Lour*....18

2.4 ข่อย *(S. asper Lour.)*....19

2.5 ข่อยหนาม *(S. ilicifolius (S. Vidal) Corner)*....19

2.6 ข่อยอินเดีย *(S. indicus (Berau) Corner)* 19

2.7 ข่อยใบใหญ่ *(S. macrophyllus Blume)*....20

2.8 ข่อยเปรัก *(S. perakensis Corner)*....20

2.9 ข่อยหยอง *(S.toxoides (B. Heyne ex Roth) Kurz)* 20

2.10 โครงสร้างผนังเซลของพืช 21

2.11 โครงสร้างเซลลูโลส....22

2.12 พันธะไฮรโดรเจน (เส้นประ) ในโครงสร้างเซลลูโลส 22

2.13 ลักษณะเส้นใสเซลลูโลส....23

2.14 เครื่อง ATR-FTIR....38

2.15 สเปกตรัม ATR-FTIR ของ Cellulose acetate (4000-225 cm^{-1}) 38

2.16 TGA ของเซลลูโลส 40

2.17 วงโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมที่แบงออกเป็นชั้น....41

3.1 เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared ..... Spectrometer (ATR-FTIR) 49

3.2 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) 49

3.3 เครื่อง Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)....50

3.4 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)....50

3.5 เครื่อง Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF) 51

ภาพที่ หน้า

3.6 การเก็บตัวอย่างสีบนสมุดไทย....52

3.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR....58

3.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD....58

3.9 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX....59

3.10 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA....59

3.11 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF....60

3.12 ตัดกิ่งข่อยออกจากลำต้น....61

3.13 ลอกเปลือกข่อยขณะที่กิ่งยังสด....61

3.14 เปลือกข่อยที่นำไปตากแดดให้แห้งสนิท....62

3.15 เปลือกข่อยหลังแช่น้ำ 2 วัน และฉีกให้เป็นเส้นเล็กๆ....62

3.16 ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำกลั่น....63

3.17 เปลือกข่อยที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต....63

3.18 ต้มเปลือกข่อย....64

3.19 ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ....65

3.20 อบกระดาษข่อย....65

3.21 ตัวอย่างกระดาษข่อยใหม่ ขนาด 1x1 เซนติเมตร....66

4.1 สเปกตรัมอินฟราเรดของ RW3....73

4.2 สเปกตรัมอินฟาเรด (ขยายช่วง 1200-1850 cm^{-1})....74

4.3 สเปกตรัม XRD ของ RW3....76

4.4 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยกระดาษสมุดไทย....77

4.5 สเปกตรัม TGA ของ RW3....79

4.6 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green _pos2)....81

4.7 เปลือกข่อย....87

4.8 ลักษณะของน้ำหลังจากการสกัด....87

4.9 ลักษณะของเยื่อข่อยหลังจากการสกัด....88

4.10 ลักษณะของเยื่อข่อยหลังจากการสกัดและตำ....88

ภาพที่ หน้า

4.11 กระดาษข่อยที่ได้จากการผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ 88
4.12 สเปกตรัมอินฟราเรดของเยื่อข่อยก่อนการสกัดและหลังการสกัด 89
4.13 สเปกตรัมอินฟาเรด (ขยายช่วง 1200-1800 cm^{-1}) ของเยื่อข่อย 90
4.14 สเปกตรัม XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัด 91
4.15 ภาพถ่ายกำลังขยายของเส้นใยของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัด 92
4.16 สเปคตรัม TGA ของเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัด 94
4.17 กล่องไร้กรดสำหรับจัดเก็บสมุดไทย 96
4.18 สมุดไทยก่อนและหลังการอนุรักษ์ด้วยกระดาษข่อย 96
ก.1 ภาพลายเส้นส่วนชิ้นรองรับวัสดุกล่อง 105
ก.2 ภาพลายเส้นฝากล่อง 106
ก.3 ภาพลายเส้นตัวกล่อง 106
ข.1 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red_pos1) 109
ข.2 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red _pos2) 109
ข.3 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red_pos3) 110
ข.4 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos1) 110
ข.5 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos2) 111
ข.6 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos3) 111
ข.7 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos1) 112
ข.8 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos2) 112
ข.9 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos3) 113
ข.10 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos1) 113
ข.11 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos2) 114
ข.12 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos3) 114
ข.13 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos1) 115
ข.14 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos2) 115
ข.15 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos3) 116

ภาพที่ หน้า

ข.16 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos1)....116
ข.17 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos2)....117
ข.18 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos3)....117
ข.19 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos1)....118
ข.20 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos2)....118
ข.21 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos3)....119
ข.22 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos1)....119
ข.23 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos2)....120
ข.24 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos3)....120
ข.25 สเปกตรัม XRF ของสีเนื้อ (RWBKK_beige_pos1)....121
ข.26 สเปกตรัม XRF ของสีเนื้อ (RWBKK_beige_pos2)....121
ข.27 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos1)....122
ข.28 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos2)....122
ข.29 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos3)....123
ค.1 ภาพพระสงฆ์พนมมือ....124
ค.2 เตมีย์ชาดก....124
ค.3 มหาชนกชาดก ตอนพระมหาชนกออกผนวช....125
ค.4 สุวรรณสามชาดก ตอนพระสุวรรณสามต้องศรพระเจ้าปิลยักขราช....125
ค.5 เนมีราชชาดก ตอนพระเนมีราชทอดพระเนตรนรก....126
ค.6 มโหสถชาดก ตอนพระมโหสถเจี๋ยดาบขู่พระเจ้าจุลนีในถ้ำ....126
ค.7 จันทกุมารชาดก ตอนบูชายัญพระจันทกุมาร....127
ค.8 พรหมนารทชาดก ตอนพระพรหมนารทโปรดนางรุจา....127
ค.9 วิธุรชาดก ตอนนางอิรันทตีฟ้อนรำกับตอนปุณณกยักษ์ขี่ม้าพาวิธุรบัณฑิตออกจากเมือง....128
ค.10 วิธุรชาดก ตอนวิธุรบัณฑิตเทศนาปุณณกยักษ์และปุณณกยักษ์พยายามฆ่าวิธุรบัณฑิต 128

ภาพที่ หน้า

ค.11 วิธุรชาดก ตอนปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตกลับเมือง/วิธุรบัณฑิตเข้าเฝ้าพญานาคราชกับปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตไปยังนาคพิภพ 129
ค.12 เวสสันดรชาดก ตอนพระเวสสันดรเสด็จด้วยพระบาทสู่เขาวงกต 129
ค.13 เวสสันดรชาดก ตอนกษัตริย์เจตราษฎร์เชิญพระเวสสันดรครองเมือง 130
ค.14 เวสสันดรชาดก ตอนทั้ง 4 อาศัยในเขาวงกต 130
ค.15 พรานป่าล่ากวาง 131
ค.16 วิธีชีวิต 131
ง.1 เกียรติบัตรการฝึกปฏิบัติงานด้านการสงวนรักษาหนังสือ 132
ง.2 เกียรติบัตรการฝึกปฏิบัติงานด้าน XRF 132
ง.3 หนังสือรับรองการฝึกปฏิบัติงานด้าน XRF 133
ง.4 เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบโปสเตอร์งาน PACCON 2017 134
ง.5 หนังสือรับรองการนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบโปสเตอร์งาน PACCON 2017 135
ง.6 หนังสือรับรองการตีพิมพ์วารสารวิชาการ Veridian E-Journal 136
ง.7 เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ด้วยโปสเตอร์การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 7 137
ง.8 การตอบรับการตีพิมพ์ Key Engineering Materials (KEM) 137

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สมุดไทยเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการทางวัฒนธรรมไทยในด้านการเขียนและการใช้ตัวอักษร คนไทยเริ่มรู้จักการบันทึกเรื่องราวลงบนวัสดุต่างๆ จำพวก ไม้ ดินเผา แผ่นหิน ดังปรากฏหลักฐานจำพวกศิลาจารึกหลักต่างๆ ที่พบในประเทศไทย สำหรับการบันทึกเรื่องราวบนกระดาษ ไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจนว่าเก่าที่สุดนั้นสมัยใด แต่มีการศึกษาพบสมุดไทยที่เก่าที่สุดซึ่งอยู่ในการดูแลของหอสมุดแห่งชาติปัจจุบันนั้น ได้แก่ พระราชพงศาวดารกรุงศรีอยุธยา ฉบับหลวงประเสริฐอักษรนิติ์ สร้างขึ้นในปีพุทธศักราช 2223 [1] จัดเป็นมรดกอันทรงคุณค่าทางวัฒนธรรม และในปัจจุบันยังมีการพบหลักฐานสมุดไทยตามวัดต่างๆ จำนวนมาก ที่มีการบันทึกเรื่องราวสำคัญหลากหลาย และมีการเขียนงานจิตรกรรมบนกระดาษที่มีความวิจิตรงดงาม นอกจากนี้ยังพบหลักฐานจากจดหมายเหตุ ของ มร.เดอ ลาลูแบร์ หนึ่งในคณะราชทูตฝรั่งเศสซึ่งเข้ามายังสยามและได้บันทึกไว้ว่า

> “...ชาวสยามทำกระดาษจากผ้าฝ้ายเก่าๆ และยังทำจากต้นไม้ชนิดหนึ่งชื่อต้นข่อย (Ton Coe) อีกด้วย ซึ่งต้องนำมาบดย่อยให้ละเอียด เช่น อย่างย่อยผ้าขี้ริ้วเหมือนกัน แต่กระดาษเหล่านี้มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอ ทั้งเนื้อกระดาษและความขาวผ่องก็หย่อยกว่าของเรา ฉะนั้นชาวสยามจึงไม่ใช้หมึกจีน (สีดำ) เขียนบนกระดาษของพวกเขา ส่วนมากมักจะชุบหมึกให้ดำ ซึ่งทำให้เนื้อกระดาษแน่นขึ้น แล้วใช้เขียนด้วยดินสอ (สอแปลว่าขาว) ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นดินเหนียวปั้นตากแดด หนังสือของพวกเขาไม่มีการเข้าเล่มเย็บสัน หากทำเป็นแผ่นยาวเหยียด ไม่ใช้วิธีม้วนเก็บเช่นบรรพบุรุษของเรา หากพับทบไปมาอย่างพับพัดด้ามจิ้วและทางที่ตีเส้นบรรทัดเขียนตัวอักษรนั้น เป็นไปตามทางยาวของรอยพับหาได้เขียนทางทางด้านขวางไม่...” [2]

จากข้อความข้างต้น แสดงให้เห็นถึงเอกลักษณ์สำคัญของคนไทยที่รู้จักการนำต้นไม้ เช่น ต้นข่อย มาผลิตกระดาษขนาดใหญ่ และมีการย้อมสีของเส้นใยให้เป็นสีดำนอกจากนี้ยังเป็นการแสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการนำกระดาษ มาทำเป็นสมุดโดยมีการแบ่งหน้ากระดาษสำหรับพับกลับไปมาให้เป็นเล่มโดยมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า การเรียกชื่อสมุดนิยมเรียกกันตามลักษณะการผลิต เช่น สมุดข่อย คือ การนำต้นข่อยมาเป็นวัสดุ สมุดไทยขาว คือ สมุดที่มีสีธรรมชาติ สมุดไทยดำ คือ สมุดที่มีการย้อมสีของเส้นใยให้เป็นสีดำ และชื่อเรียกอื่นๆ เช่น ในภาคใต้จะนิยม เรียกกันว่า บุดขาว บุดดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีความนิยมในการเรียกชื่อตามการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีขนาดมาตรฐานอยู่ 7 ขนาด [1]

สมุดไทยถือเป็นมรดกอันทรงคุณค่าทางวัฒนธรรม เป็นขุมทรัพย์ทางปัญญาที่บรรพบุรุษได้สร้างและหลงเหลือไว้ให้คนรุ่นหลังได้ศึกษาไม่ว่าจะเป็นเรื่องราวทางประวัติศาสตร์ คำสอน ขนบธรรมเนียมประเพณี สังคม ศาสนา การดำรงชีวิต และข้อมูลต่างๆ [3] รวมถึงลวดลายของงานจิตรกรรมหรืองานศิลปะที่มีความวิจิตรงดงาม ประณีต งานจิตรกรรมที่พบบนสมุดไทยจัดเป็นจิตรกรรมที่เคลื่อนที่ได้ โดยจิตรกรหรือช่างเขียนส่วนใหญ่นั้นสร้างสรรค์ผลงานจากความเชื่อความศรัทธา แสดงออกให้เห็นถึงคุณค่าแห่งความงาม ในลักษณะจำพวก ลายเส้น สี เทคนิค องค์ประกอบ เป็นต้น และความรู้สึกที่แฝงไปด้วยอารมณ์บนชิ้นงาน เพื่อใช้ในการสื่อความหมาย ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมเขียนในเรื่องของพุทธประวัติ ทศชาติชาดก ไตรภูมิ วรรณคดี ชีวิตสังคมไทย นอกจากนี้ยังได้แสดงเทคนิคในการเขียนที่มีกรรมวิธีการสร้างสรรค์ผลงานเฉพาะบุคคล หรือตามแบบความนิยมของแต่ละยุคแต่ละสมัย และมีลักษณะพิเศษในการจัดวางภาพแบบเล่าเรื่องเป็นตอนๆ ในระยะแรกมีการเขียนภาพแบบไทยประเพณี มีลักษณะการเขียนเส้นสีอย่างง่ายๆ เช่น การใช้สีเอกรงค์ ได้แก่ สีดำ สีขาว สีดินแดง และสีเหลืองดิน ซึ่งในแต่ละยุคแต่สมัยก็ได้มีการปรับเปลี่ยนหรือการพัฒนาอย่างเรื่องของการใช้สีเอกรงค์ และสีพหุรงค์ โดยเฉพาะการใช้สีแบบพหุรงค์นั้นนิยมกันมากในสมัยรัตนโกสินทร์ ทำให้งานเขียนนั้นมีความสวยงามและเป็นธรรมชาติมากขึ้น [4]

ในสมัยโบราณนิยมใช้ต้นข่อย (*Streblus asper Lour.*) [5] ซึ่งเป็นพืชที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย และแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [6] มาใช้ในการผลิตกระดาษและทำเป็นสมุดไทย โดยเริ่มจากการตัดกิ่ง แล้วนำมาลอกเปลือกออก และแช่ในน้ำไหล 3 - 4 วัน นำเส้นใยที่ผ่านการแช่น้ำคลุกกับปูนขาว (แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$) และให้ความร้อน จนได้เส้นใยที่ต้องการ ให้นำเส้นใยขึ้นและล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นจึงนำเส้นใยที่ล้างจนสะอาดแล้วมาทุบให้ละเอียด และนำมาขึ้นรูปกระดาษ [1] หากล้างเส้นใยไม่สะอาดจะมี $Ca(OH)_2$ ตกค้างซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของเส้นใย [7] เส้นใยข่อยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (Cellulose) มีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีการเจือปนจำพวกเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และซิลิกอนไดร์ออกไซด์ (SiO_2) [8] สารเจือปนเหล่านี้จะละลายในเบสแก่ นอกจากนี้ยังพบว่าในสมัยโบราณยังมีความนิยมใช้ $Ca(OH)_2$ ในการผลิตกระดาษ ซึ่ง $Ca(OH)_2$ อาจจะมีประสิทธิภาพไม่มากพอที่จะกำจัดสิ่งเจือปนในเส้นใย โดยเฉพาะลิกนินที่เจือปนอยู่ในเส้นใยของกระดาษ เนื่องจากลิกนินเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดจุดสีน้ำตาลอ่อนหรือเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อได้รับแสง [9, 10]

หนังสือสมุดไทยจัดอยู่ในกลุ่มของอินทรียวัตถุ ที่มีสมบัติที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อม ส่งผลให้หนังสือสมุดไทยที่เคยผ่านการใช้งานและการเก็บรักษาเป็นเวลานาน ได้รับผลกระทบจากกระบวนการเชิงกล เคมี และชีววิทยา ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ สำหรับสมุดไทยที่มีการเขียนลวดลายของงานศิลปะหรือการเขียนสี มีความเสี่ยงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและชำรุดเสื่อมสภาพได้สองทาง คือ การเสื่อมสภาพของเนื้อกระดาษ เช่น กระดาษเปื่อยยุ่ย ขาดหาย เกิดคราบ เป็นต้น และการเสื่อมสภาพสีที่อยู่ในหนังสือสมุดไทย เช่น หลุดร่อน เปลี่ยนสี ทำลายเนื้อกระดาษ เป็นต้น เนื่องจากสีที่ใช้ในหนังสือสมุดไทยมีทั้งสีที่ได้จากอินทรียวัตถุจำพวกพืช สัตว์ และจากอนินทรียวัตถุจำพวก หิน ดิน หรือแร่ ที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งอินทรียวัตถุและอนินทรียวัตถุนั้นมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน สีที่ใช้ในการเขียนภาพเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับความชื้น รังสีอัลตราไวโอเลต สัมผัสกรดหรือเกิดจากสาเหตุในตัวเอง เช่น สารสีเขียวที่ได้จากคอปเปอร์ (II) แอซิเตท ($Cu(CH_3COO)_2$) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและกรดแอซิติก เมื่อได้รับความชื้นจะเปลี่ยนเป็นกรดแอซิติก กรดที่เกิดขึ้นจะกัดกระดาษให้เป็นรู ส่วนคอปเปอร์ (II) เรซิเนท ($Cu(C_{19}H_{29}COO)_2$) ซึ่งเป็นสารให้สีเขียวเช่นเดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไปจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) และแสง จะเปลี่ยนเป็นคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ (CuO) และ

คาร์บอน (C) [11] สำหรับสีเหลืองจากหรดาลหรืออาร์เซนิกไตรซัลไฟด์ (As_2S_3) มีคุณสมบัติไม่เสถียรภายใต้แสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอาร์เซนิกไตรออกไซด์ (As_2O_3) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี [12] และสีขาวจำพวก ขาวตะกั่ว หรือตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) จะเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือ “แก๊สไข่เน่า” ที่มีอยู่ในอากาศ แล้วเปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ซึ่งมีสีดำ [13] หรืออาจเกิดปฏิกิริยากับสีชนิดอื่น (ที่มีองค์ประกอบเป็นเกลือซัลไฟด์) เช่น สีแดงชาด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเมอร์คิวรี (II) ซัลไฟด์ (HgS) เมื่ออยู่ใกล้กับสีขาวตะกั่วก็จะทำให้เปลี่ยนเป็นสีดำ

การอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยอย่างเหมาะสมและเป็นระบบนั้นเป็นการทำงานเพื่อมุ่งเน้นวิธีการการอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive conservation) และการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา (Conservation treatment) เพื่อหาทางหยุดปัญหาต่างๆ และดำเนินการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิชาการ เนื่องจากหลักการสำคัญในการดำเนินงานอนุรักษ์ คือ คงรูปลักษณ์เดิมไว้ให้ได้มากที่สุด โดยทำการซ่อมแซมและเสริมแต่งให้น้อยที่สุด ไม่ควรต่อเติมอักษรหรือสิ่งอื่นใดลงในชิ้นงาน และการซ่อมแซมนั้นจะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาในอนาคต [14] ในการดำเนินการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษานั้น จำเป็นต้องดำเนินการควบคู่กับการอนุรักษ์เชิงป้องกันเสมอ โดยมีการนำเอาวิทยาการทางวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในเรื่องการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากวัตถุ การควบคุมความเสื่อมสภาพ การเลือกใช้สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำความสะอาด การซ่อมหรือเสริมความแข็งแรง และการอนุรักษ์วัตถุ [15]

การอนุรักษ์เชิงป้องกัน เป็นการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม การจัดการความเสี่ยงที่ส่งผลต่อวัสดุ เช่น การเก็บรักษาหนังสือสมุดไทยไว้ในห้องที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ควรควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 22 - 24 องศาเซลเซียส ความชื้นระหว่าง 50 - 65 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง หากไม่สามารถเก็บในห้องที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้ควรมีการหมุนเวียนอากาศภายในห้องจัดเก็บ เป็นต้น [16] การปฏิบัติงานอนุรักษ์ด้านการป้องกัน จำเป็นต้องมีความเข้าใจข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น พื้นที่ในการดูแล การจัดเก็บ การจัดแสดง แสง อุณหภูมิ ความชื้น สภาพแวดล้อมทั้งภายในห้องและโดยรอบอาคาร เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมได้ นอกจากนี้ต้องมีความเข้าใจ

วัสดุหลักของวัตถุ เช่น ลักษณะหรือคุณสมบัติ วัสดุที่ใช้ในการป้องกันจำพวก กระดาษ ไม้ พลาสติก เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่ต้องสัมผัสกับวัตถุทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การจัดเก็บ การจัดแสดง การเคลื่อนย้าย และวัสดุที่ใช้ในการรักษา เช่น เสริมความแข็งแรง การเติมส่วนที่ชำรุดขาดหาย เป็นต้น หากมีข้อจำกัดในสิ่งที่สามารถแสวงหาหรือปฏิบัติได้ตามความเป็นจริง ควรใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการตรวจสอบเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติที่ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา เป็นการดำเนินงานหลังจากที่เลือกวิธีการรักษา การใช้วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี ฯลฯ โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ ตามข้อเสนอแนะ หลักการและเหตุผล ซึ่งถูกต้องตามหลักจริยธรรมและแนวทางปฏิบัติงานของนักอนุรักษ์ [17] จึงสามารถเริ่มดำเนินการปฏิบัติงานตามขั้นตอนได้ เช่น การอนุรักษ์วัสดุประเภทกระดาษและสมุดไทยนั้นจะเริ่มจาก การกำจัดแมลง ขยะตกค้าง เช่น ด้าย แผ่นทอง เทปกาว เป็นต้น ก่อนเริ่มทำความสะอาดแห้งด้วยการกำจัดฝุ่นโดยใช้แปรงขนอ่อน เครื่องดูดฝุ่น จากนั้นทำการทดสอบการละลายของตัวอักษร และลวดลายบนหนังสือสมุดไทย ยกเว้นหนังสือสมุดไทยดำที่เขียนด้วยเส้นดินสอ (ขาว) หากเป็นการอนุรักษ์แบบเปียกจะมีการเพิ่มขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยน้ำ หรือสารละลายก่อนที่จะซ่อมเสริมความแข็งแรง ส่วนที่ขาด รอยพับ ปก [14]

สิ่งที่สำคัญในการศึกษาก่อนการอนุรักษ์ คือ การความเข้าใจและการตรวจวิเคราะห์วัตถุ ตรวจสอบปัญหาเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ และการบันทึกข้อมูลก่อนดำเนินการอนุรักษ์ มีการสืบค้นข้อมูลทางประวัติศาสตร์ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับเทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ การทดลองเบื้องต้นที่จำเป็นต่อการอนุรักษ์ การบันทึกข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ ที่ได้จากการสังเกตด้วยตาและจากอุปกรณ์ เช่น แว่นขยาย กล้องจุลทรรศน์ ข้อมูลการประเมินสภาพด้วยวิธีการจดบันทึก การถ่ายภาพ เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์ ก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณเกี่ยวกับชิ้นงานนั้น สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์สามารถอธิบายถึงลักษณะและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น ชนิดของเนื้อวัตถุ ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งเทคนิคและวิธีการผลิต โดยอาศัยเครื่องมือและวิธีการต่างๆ เช่น การวัดค่าความเป็นกรดเบส โดยใช้ pH paper หรือ pH meter วิเคราะห์พื้นผิวตัวอย่างด้วยการถ่ายรูปด้วยรังสีเอกซ์

(X-radiography) วิเคราะห์อัตลักษณ์ของสารประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) หรือวิเคราะห์ธาตุองค์องค์ประกอบด้วยวิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence) และการหาชนิดของเชื้อแบคทีเรียหรือราด้วยวิธีการทางจุลชีววิทยา (Microbiology) เป็นต้น [18]

หลังจากที่มีการศึกษาและการตรวจวิเคราะห์วัตถุจนทราบถึงสาเหตุที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการอนุรักษ์ ซึ่งต้องมีการวางแผนการดำเนินงานและแผนการปฏิบัติงานให้รัดกุมและชัดเจน โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและการตรวจวิเคราะห์วัตถุมาใช้ในการช่วยตัดสินใจว่าควรดำเนินการอนุรักษ์ในรูปแบบใด เนื่องจากสภาพของวัตถุบางประเภทเหมาะสมกับการอนุรักษ์เชิงป้องกัน และสภาพของวัตถุบางประเภทมีความจำเป็นต้องดำเนินการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการเลือกชนิดวัสดุ กาวและเทคนิคที่ใช้ในการอนุรักษ์เพื่อหยุดยั้งการเสื่อมสภาพ โดยต้องมีการคำนึงถึงความเสี่ยง ข้อควรระวัง ประโยชน์ ประมาณการเวลาและต้นทุน ขณะการดำเนินการอนุรักษ์ เมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการอนุรักษ์ จะต้องบันทึกข้อมูลรายละเอียดการทำงาน ประเภท สภาพวัตถุ การเปลี่ยนแปลง ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ด้วยลายลักษณ์อักษรและการบันทึกภาพ และบันทึกข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บวัตถุ [19, 20]

กรณีศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกศึกษาหนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี จำนวน 1 เล่ม เลขทะเบียน ร.ว.3 ที่จัดแสดงอยู่ในห้องจัดแสดง อาคารพิพิธภัณฑ์มหาราชานุสรณ์ รัชกาลที่ 4 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร ไม่ปรากฏผู้เขียนชัดเจน ปรากฏเพียงตราประทับวัดราชาธิวาส (ชื่อเดิม) หนังสือสมุดไทยเล่มนี้ถือเป็นหลักฐานหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงคุณค่าของเอกสารโบราณ รูปแบบอักษร ภาษา งานศิลปกรรม และยังเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความเชื่อ ความศรัทธาทางศาสนาที่มีต่อวัดในอดีต วัดราชาธิวาสราชวรวิหารเป็นวัดที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ และเป็นวัดเก่าแก่ ที่ได้รับการบูรณปฏิสังขรณ์มาตั้งแต่สมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก และอยู่ในพระบรมราชูปถัมภ์ ของพระมหากษัตริย์ไทยในราชวงศ์จักรี มีความเกี่ยวข้องกับพระมหากษัตริย์ไทยในราชวงศ์จักรีมาโดยตลอด มีสถานะเป็นพระอารามหลวงชั้นโทชนิดราชวรวิหาร [21] หนังสือสมุดไทยที่เลือกนำมาศึกษานี้เป็นสมบัติเดิมของวัดราชาธิวาส

ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร และพบว่ามีเพียง 1 เล่ม ที่พบงานจิตรกรรมบนกระดาษที่ทรงคุณค่าและเกิดการชำรุดเสียหาย พบปัญหาภาพเขียนสีบนกระดาษเกิดการหมองคล้ำ สีหลุดเป็นผง ในขณะที่กระดาษเกิดการเสื่อมสภาพ ได้แก่ เปื่อยยุ่ย ขาด เกิดคราบน้ำ

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและสภาพหนังสือสมุดไทย วิเคราะห์และตรวจดูร่องรอยการเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทย ลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่า อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้นและเครื่องวัดแสง พบสภาวะเสี่ยงที่อาจส่งผลรุนแรงในอนาคต เช่น ปัญหาสภาพแวดล้อมภายในห้องจัดแสดงที่ส่งผลต่อวัตถุ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ การเพิ่มจำนวนประชากรแมลงในเส้นใยที่มีการเจาะกินหนังสือสมุดไทยและเอกสารโบราณเล่มอื่นๆ ภายในตู้และห้องจัดแสดงเดียวกัน ทำให้หนังสือสมุดไทยและเอกสารโบราณเล่มอื่นๆ ชำรุดเสียหาย ติดกันเป็นปึก และพบสิ่งมีชีวิต เช่น แมลง หนอนฝังตัวอยู่ภายในกระดาษ เป็นต้น และจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับหนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี ทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในสีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence) [22] และ Energy Dispersive Spectrometry (EDS) [23] วิเคราะห์อัตลักษณ์ของสารประกอบในสีด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) [24] ศึกษาการเสื่อมสภาพของเส้นใยกระดาษด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) [25, 26], X-ray Diffraction (XRD) [27-29], Scanning Electron Microscopy (SEM) [30] และ Thermogravimetric Analysis (TGA) [31]

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการศึกษาการเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทยจากการสำรวจสภาพ โดยการตรวจดูร่องรอยเชิงกายภาพ และความเสียหายจากสิ่งมีชีวิตด้วยตาเปล่า การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจและการเก็บข้อมูล เช่น อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น อุปกรณ์วัดแสง เป็นต้น รวมทั้งศึกษาการเสื่อมสภาพของกระดาษด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) และศึกษาองค์ประกอบสีบนหนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray

fluorescence (SRMXRF) โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทย จากสภาพแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี รวมถึงเพื่อสร้างแนวทางสำหรับการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่ทรงคุณค่าในอนาคต โดยก่อให้เกิดการเรียนรู้กับผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปปรับใช้กับงานลักษณะใกล้เคียงกันได้ต่อไป

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสาเหตุความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี
2. ศึกษาความเสื่อมสภาพของเส้นใยโดยใช้เทคนิคทางสเปคโตรสโคปีต่างๆ
3. วิเคราะห์องค์ประกอบสีของจิตรกรรมไทยบนกระดาษ

ประโยชน์ของงานวิจัย

1. ทราบถึงสาเหตุความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี
2. ทำให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบสีของจิตรกรรมไทยบนกระดาษ

ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์ ศึกษากระดาษและสีของหนังสือสมุดไทยขาวที่มีภาพเขียนสี จำนวน 1 เล่ม เลขทะเบียน ร.ว.3 ที่จัดแสดงอยู่ภายในอาคารพิพิธภัณฑ์มหาราชานุสรณ์ รัชกาลที่ 4 ของ วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR - FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) ศึกษาความเสื่อมสภาพของกระดาษ และเทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray fluorescence (SRMXRF) ศึกษาองค์ประกอบสีบนหนังสือสมุดไทย

วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูลทางประวัติศาสตร์ ความรู้ แนวคิด และเทคนิคการทำสมุดไทย ความเสื่อมสภาพ การอนุรักษ์เชิงป้องกัน และการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษาของหนังสือสมุดไทย ศึกษาความรู้เรื่องสีที่ใช้บนสมุดไทย องค์ประกอบสี และเทคนิคโบราณต่างๆ สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎี แนวคิด รูปแบบ เนื้อหา และกรรมวิธี เพื่อนำมาเป็นแนวทางการสร้างรูปแบบการศึกษาที่นำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างแนวทางการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี ทั้งการอนุรักษ์เชิงป้องกัน และการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา โดยใช้แหล่งข้อมูลทางด้านเอกสารและตำราต่างๆ ได้แก่ วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร หอสมุดแห่งชาติ หอสมุดมหาวิทยาลัยศิลปากร กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ โรงเรียนช่างฝีมือในวัง (ชาย) ห้องคลังโบราณวัตถุและห้องปฏิบัติการ สถาบันพิพิธภัณฑ์การเรียนรู้แห่งชาติ (สพร.) และใช้เอกสารทางสื่ออิเลคทรอนิกส์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องมาสร้างกรอบแนวคิดและวางแผนการปฏิบัติงาน

2. การสำรวจ การเก็บข้อมูล และการเก็บตัวอย่าง

สำรวจสภาพหนังสือสมุดไทยขาวที่มีภาพเขียนสีบนกระดาษ (เลขทะเบียน ร.ว.3) ที่จัดแสดงอยู่ภายในอาคารพิพิธภัณฑ์มหาราชานุสรณ์ รัชกาลที่ 4 ของวัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร สำรวจสภาพแวดล้อมภายในห้องจัดแสดง อาคารพิพิธภัณฑ์ และเก็บข้อมูลทางประวัติศาสตร์จากการบอกเล่าของ พระครูสิริกวีวัฒน์ ผู้ดูแลวัตถุภายในพิพิธภัณฑ์ โดยทำการบันทึกข้อมูลก่อนการอนุรักษ์ด้วยลายลักษณ์อักษรและการบันทึกภาพ ดำเนินการเก็บตัวอย่างสีโดยใช้สำลีพันก้านป้ายบริเวณที่ต้องการศึกษา และเก็บตัวอย่างกระดาษบริเวณที่จะนำไปดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

3. การดำเนินงานวิจัยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

วิเคราะห์คุณสมบัติ ลักษณะ และการเสื่อมสภาพของเส้นใยหนังสือสมุดไทยโบราณด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FT-IR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) และศึกษาองค์ประกอบของสีบนกระดาษด้วยเทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRM-XRF)

4. การผลิตกระดาษข่อยเพื่องานอนุรักษ์

ดำเนินการทดลองผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ โดยใช้เบส 3 ชนิด คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสกัดเส้นใยข่อย และดำเนินการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ สำหรับใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ

5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

ประมวลเรื่องราว คุณค่างานศิลปกรรม ข้อมูลจากการการศึกษาด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลจากกาสำรวจและเก็บข้อมูล ผลที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ และผลการทดลองการผลิตกระดาษเลียนแบบวิธีโบราณ มาตีความเปรียบเทียบเพื่อให้เข้าใจสาเหตุความเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทย เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบสีของจิตรกรรมบนกระดาษ และได้แนวทางการอนุรักษ์ด้านการป้องกัน และการอนุรักษ์ด้านการรักษา ต่อไปในอนาคต

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของระยะเวลาการศึกษา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2559 - เดือนเมษายน 2560 และเสนอวิทยานิพนธ์ภายในเดือนพฤษภาคม

ขั้นตอน	เดือน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. การศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง										
2. การสำรวจและการเก็บข้อมูล										
3. การดำเนินงานวิจัยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์										
4. การผลิตกระดาษข่อยเพื่องานอนุรักษ์										
5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล										
6. เขียนรายงานวิจัย										

นิยามศัพท์

การอนุรักษ์ หมายถึง การดำเนินงานเพื่อการหยุดปัญหาต่างๆ และดำเนินการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยทำการเสริมหรือเติมแต่งให้น้อยที่สุด และไม่ควรดำเนินการซ่อมแซม และดูแลรักษาที่ก่อให้เกิดปัญหาในอนาคต

การอนุรักษ์เชิงป้องกัน หมายถึง การทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม การจัดการความเสี่ยงที่ส่งผลต่อวัสดุ

การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา หมายถึง การดำเนินงานหลังจากที่เลือกวิธีรักษา การใช้วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี ฯลฯ โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ ตามข้อเสนอแนะ หลักการและเหตุผลซึ่งถูกต้องตามหลักจริยธรรมและแนวทางปฏิบัติงานของนักอนุรักษ์

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

วรรณกรรมและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยเบื้องต้น ได้แก่ ความรู้เรื่องหนังสือสมุดไทย ชนิดและคุณสมบัติของกระดาษ จิตรกรรมบนหนังสือสมุดไทย สาเหตุการเสื่อมสภาพ การอนุรักษ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปสู่การสร้างกรอบแนวความคิด และเป็นการสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

1.ความรู้เรื่องหนังสือสมุดไทย

หนังสือสมุดไทย ถือเป็นมรดกทางศิลปวัฒนธรรมอันทรงคุณค่า ที่ได้มีการบันทึกเรื่องราวทางประวัติศาสตร์ คำสอน ขนบธรรมเนียมประเพณี สังคม ศาสนา การดำรงชีวิต และข้อมูลต่างๆ รวมถึงลวดลายของงานจิตรกรรมหรืองานศิลปะที่มีความวิจิตรงดงาม และประณีต หนังสือสมุดไทยที่พบมี 2 สี คือ สีขาว และสีดำ ซึ่งทางภาคใต้จะนิยมเรียกว่า บุดขาว บุดดำ ส่วนทางภาคเหนือนั้นส่วนใหญ่จะผลิตจากกระดาษสา เรียกว่า สมุดกระดาษสา นอกจากนี้ยังพบหลักฐานว่าในประเทศไทยมีการนำเปลือกต้นข่อยมาทำเป็นสมุดไทย [2] จึงเป็นที่มาของการเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า สมุดข่อย และยังพบสมุดที่มีลักษณะใกล้เคียงกันในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น พม่า มาเลเซีย เป็นต้น

1.1 การผลิตกระดาษข่อยและสมุดไทยโบราณ

ก่องแก้ว วีระประจักษ์ ได้กล่าวไว้ว่าเป็นการทำงานที่ต้องอาศัยประสบการณ์ ความชำนาญ และระยะเวลาในการผลิต การผลิตนั้นจะต้องเริ่มจากการเตรียมเปลือกข่อย การเลือกกิ่งที่ใช้ในการผลิต ควรเลือกกิ่งที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป ส่วนการลอกเปลือกนั้นควรลอกขณะที่กิ่งข่อยยังมีความสด เพราะจะสามารถลอกออกได้ง่าย แต่หากมีการทิ้งไว้จนกิ่งแห้ง ให้นำไปลนไฟเพื่อให้เปลือกข่อยอ่อนตัว จะทำให้สามารถลอกเปลือกออกได้ง่าย จากนั้นนำเปลือกที่ได้ไปตากกระทั่งแห้ง และทำตามกระบวนการ [1] ดังนี้

1.1.1 การหมักเปลือก

คือ การนำเปลือกที่เตรียมไว้ตามจำนวนที่ต้องการ แช่ลงน้ำไหลนาน 3 – 4 วัน เพื่อให้เปลือกนั้นเปื่อยและล้างเมือกที่ติดอยู่บนเปลือกออก จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาฉีก (เสียด) ให้เป็นเส้นเล็กๆ แล้วนำมาหมักกับน้ำปูนขาว จากนั้นใช้ใบตองหรือผ้าปิดไว้ป้องกันแดดหรือลมเพื่อไม่ให้แห้ง ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง

1.1.1.1 การนึ่งเปลือก

คือ การนำเปลือกที่ได้จากการหมัก มาใส่ลงในรอม (รอม คือ ภาชนะที่สานจากไม้ไผ่รูปทรงกระบอก) ที่วางลงในกระทะใบบัวขนาดใหญ่ แล้วจึงให้ความร้อนสม่ำเสมอ ใช้เวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นกลับเปลือกในรอม เพื่อทำให้ได้รับความร้อนทั่วกันโดยตั้งแต่อีก 24 ชั่วโมง หากเปลือกยังเปื่อยไม่พอที่จะใช้การได้ ให้นำไปแช่ใน น้ำปูนขาวต่อประมาณ 24 ชั่วโมงหรือมากกว่ากระทั่งเปลือกเปื่อยยุ่ยจนสามารถบี้ให้ละเอียดได้

1.1.1.2 การสบ

คือ การทุบเปลือกข่อยให้ละเอียด หลังจากที่นำเปลือกขึ้นจากน้ำปูนขาวแล้ว ล้างในน้ำจนสะอาด จากนั้นบีบให้หมาดแล้วจึงนำไปทุบด้วยค้อนทุบเปลือกทำจากไม้ชิงชัน ไม้ประดู่ หรือไม้เขลง บนกระดานทุบเยื่อ หรือเขียงซึ่งเป็นไม้ประดู่ หรือไม้มะขามขนาดใหญ่ ถ้ามีเศษกระดาษเก่าที่ทำไว้ครั้งก่อน ให้นำไปชุบน้ำจนอิ่มตัวแล้วนำมาใส่รวมและทุบรวมกันได้ และเมื่อทุบจนละเอียดดีทั่วกันแล้ว เยื่อจะมีลักษณะเป็นเส้นบางๆ

1.1.1.3 การหล่อกระดาษ

ถ้าต้องการให้เนื้อกระดาษมีความหนาเท่ากันจะต้องแบ่งเยื่อที่ทุบละเอียดมาปั้นเป็นก้อนให้เท่ากัน จากนั้นนำก้อนเยื่อมาละลายน้ำในครุ (ครุ คือ ภาชนะอย่างหนึ่งที่สานด้วยไม้ไผ่ลักษณะคล้ายกระบุง มีงวงสำหรับถือ ตัวครุมีชันยาโดยรอบ) แล้วใช้มือตีเยื่อให้แตกจากกันละลายปนกับน้ำ และค่อยๆ ใส่ลงในพะแนง ที่วางอยู่บนน้ำนิ่ง (พะแนง คือ แบบพิมพ์ที่ลักษณะคล้ายตะแกรงมีกรอบไม้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กรุด้วยผ้ามุ้ง หรือลวดมุ้ง ขึงให้ตึงกับขอบไม้)

หลังจากเทเยื่อลงแล้วเกลี่ยให้เยื่อแผ่กระกระจายให้เสมอกัน และใช้น้ำพรมให้ทั่วอีกครั้งก่อนยกพะแนงขึ้นจากน้ำ ซึ่งตอนยกนั้นต้องให้พะแนงอยู่ในระดับราบเสมอกันทั้งแผ่น เพื่อให้กระดาษมีความหนาบางเสมอกันตลอดทั้งแผ่น เมื่อยกขึ้นมาแล้วให้ตากพะแนงเอียง 80 องศา แล้วใช้ไม้ซางยาวๆ คลึงรีดเยื่อบนพะแนงเพื่อให้น้ำแห้งและหน้ากระดาษเรียบเสมอกัน

1.1.1.4 การลบสมุด

เป็นขั้นตอนที่จะนำกระดาษหนาที่ได้มาทำเป็นสมุดไทย โดยทาด้วยแป้งเปียก (ได้จากข้าวจ้าว โดยนำข้าวเจ้าแช่ไว้ 1 คืน และโม่หรือบดให้ละเอียด ถ้าจะทำแป้งเปียกทาลงบนสมุดไทยสีขาวและต้องมีการผสมกับน้ำปูนขาว เพราะจะช่วยในเรื่องการกัดซึมกระดาษ และเมื่อนำแป้งเปียกตั้งไฟกวนให้สุกแล้วนั้น จึงจะใช้ลบได้) แต่หากลบสมุดไทยให้เป็นสีดำ จะมีวิธีการเดียวกันกับสมุดไทยขาว ต่างกันที่แป้งเปียกที่ใช้นั้นจะไม่ใส่น้ำปูนขาว แต่จะผสมกับเขม่าไฟหรือถ่านบดละเอียด (ถ่านจะได้จากไม้โสน กาบหมาก หรือกาบมะพร้าว เผาไฟ)

1.1.1.5 การทำเล่ม

เมื่อลบกระดาษเสร็จแล้ว หากมีจุดที่บางหนาไม่สม่ำเสมอกันจะต้องปะเสริมซ้อนทับกัน จนกระดาษนั้นมีความหนาพอที่จะทำสมุด ก่อนที่จะทำเล่มนั้นจะต้องมีการขัดให้เรียบและมันโดยการใช้หินจากแม่น้ำขัดทั้งสองด้าน แล้วจึงนำมาพับเป็นสมุด โดยการพับกลับไปกลับมาตามขนาดไม้แบบ และตัดริมทั้งสองข้างให้เรียบเป็นแนวตรง นิยมทำเป็นขนาดมาตรฐาน 7 ขนาด คือ

1.สมุดพก	กว้าง	8	เซนติเมตร	ยาว	15	เซนติเมตร
2.สมุดถือเฝ้า	กว้าง	20	เซนติเมตร	ยาว	26	เซนติเมตร
3.สมุดจดหมายเหตุ	กว้าง	12	เซนติเมตร	ยาว	34	เซนติเมตร
4.สมุดพระมาลัย	กว้าง	13	เซนติเมตร	ยาว	66	เซนติเมตร
5.สมุดไสยศาสตร์	กว้าง	15	เซนติเมตร	ยาว	41	เซนติเมตร
6.สมุดไตรภูมิ แบบที่ 1	กว้าง	12	เซนติเมตร	ยาว	63	เซนติเมตร
7.สมุดไตรภูมิ แบบที่ 2	กว้าง	28	เซนติเมตร	ยาว	51	เซนติเมตร

1.2 การเขียนและการบันทึกเรื่องราวบนสมุดไทย

การเขียนหรือการบันทึกเรื่องราวลงในสมุดไทยนิยมเขียนไว้ใต้เส้นบรรทัด เนื่องจากสมุดไทยแต่ละเล่มไม่มีมาตรฐานในการกำหนดขนาดความกว้างและความยาวของกระดาษและจำนวนหน้า ฉะนั้นการเขียนหนังสือแต่ละครั้งไม่จำเป็นจำต้องกำหนดว่าแต่ละหน้าควรมีกี่บรรทัดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เขียน จากการศึกษาพบว่าหากเป็นสมุดหลวงหรือสมุดราชการจะนิยมเขียน 3 - 4 บรรทัด ต่อหนึ่งหน้า โดยการเขียนนั้นจะต้องขีดเส้นบรรทัดไว้ก่อนด้วยตะกั่วนมเหลา แหลมขีดเส้นบรรทัด ซึ่งจะต้องมีการกำหนดความถี่ห่างของช่องไฟระหว่างบรรทัดให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดทั้งเล่ม และต้องให้มีพื้นที่พอสำหรับการเขียนด้วย ส่วนการเขียนอักษรบนเส้นนั้นปรากฏหลักฐานประมาณช่วงปลายรัชกาลที่ 3 ถึงต้นรัชกาลที่ 4 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ ว่าเป็นอิทธิพลของวัฒนธรรมตะวันตก

สำหรับเรื่องราวที่ใช้เขียนบนสมุดไทย มีการแบ่งออกเป็นหลายหมวด เช่น หมวดจดหมายเหตุ หมวดพงศาวดาร ตำนาน หมวดวรรณคดี หมวดศาสตร์ต่างๆ หมวดธรรมคดี เป็นต้น และมีการใช้วัสดุในการเขียนตัวอักษรแตกต่างกัน นอกจากการบันทึกเรื่องราวด้วยตัวอักษรแล้ว บางเล่มยังมีการเขียนงานจิตรกรรมประกอบการเล่าเรื่องราว การรียกชื่อหนังสือสมุดไทยสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เรียกชื่อตามประโยชน์ใช้สอย เช่น สมุดถือเฝ้า สมุดรองทรง และสมุดไตรภูมิ เป็นต้น และเรียกชื่อสมุดตามสีของเส้นอักษรที่เขียน เช่น สมุดดำเส้นขาว สมุดดำเส้นหรดาล สมุดเส้นรงค์ สมุดเส้นทอง สมุดขาวเส้นหมึก เป็นต้น

2. ชนิดและคุณสมบัติของกระดาษข่อย

2.1 ชนิดของข่อยที่ใช้ในการผลิต กระดาษ

พืชสกุลข่อย (*Streblus Lour.*) จัดอยู่ในวงศ์ (Family) เดียวกับไทร มะเดื่อ ขนุน ปอสา หม่อน ยางน่อง หรือพืชวงศ์ *Moraceae* (ทั่วโลกมีประมาณ 37 สกุล 1,070-1,150 ชนิด กระจายพันธุ์ทั่วประเทศเขตร้อนหรือกึ่งเขตร้อน พบน้อยในแถบประเทศเขตอบอุ่น) พืชสกุลข่อยทั่วโลกมี 22 ชนิด กระจายพันธุ์เฉพาะประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนเท่านั้น ประเทศไทยพบ 6 ชนิด ได้แก่ ข่อย (*S. asper Lour.*) ข่อยหนาม (*S. ilicifolius (S. Vidal) Corner*) ข่อยอินเดีย (*S. Indicus (Berau) Corner*) ข่อยใบใหญ่ (*S. macrophyllus Blume*) ข่อยเปรัก (*S. perakensis Corner*) และ ข่อยหยอง (*S.toxoides (B. Heyne ex Roth) Kurz)* ซึ่งพืชสกุลข่อย ขึ้นได้หลายสภาพป่า ทั้งป่าตามที่ลุ่ม ตลอดถึงป่าเขาหินปูนที่แล้งจัด พื้นที่เปิดโล่งถึงใต้ร่มไม้รกทึบ [32]

สำหรับข่อยที่ใช้ในการผลิตกระดาษในประเทศไทยนั้น นิยมใช้ข่อย *Streblus asper Lour*. [5] มีชื่อพ้อง คือ (Synonym) *Diplothorax tonkinensis Gagnap* และ *Thophis cochinchinensis Poir.* จัดอยู่ในวงศ์ (Family) *Moraceae* และมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น กักไม้ฝอย (ภาคเหนือ) ซะโยเส่ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ตองขะแหน่ (กะเหรี่ยง-กาญจนบุรี) ส้มพอ (เลย) สะนาย (เขมร) Sand paper tree Siamese rough bust Serut (อินโดนีเซีย) Tooth brush tree เป็นต้น

ลักษณะ ข่อยเป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้น รูปที่ 2.1 (ก) สูงถึง 15 เมตร ไม่มีหนาม กิ่งอ่อนลู่ลง เปลือกนอกสีเทา เนื้อไม้สีขาว มียางขาวใส รูปที่ 2.1 (ข) ทุกส่วนมีขนหยาบสั้นสีน้ำตาล ใบเดี่ยว เรียงสลับระนาบเดียวถึงเวียนสลับห่างๆ แผ่นใบหยาบ สากและคายคล้ายกระดาษทราย ขนาด 1-6 x 2-12 เซนติเมตร รูปไข่กลับ รูปรีถึงรูปใบหอกกลับ โคนสอบเรียวหรือเป็นรูปลิ่ม เว้าถึงเบี้ยว ขอบหยักเป็นฟันเลื่อย ปลายแหลมมนถึงเว้าตื้น เส้นใบแบบร่างแหขนนก เส้นแขนง 4 - 8 คู่ ปลายเส้นจรดกันก่อนถึงขอบใบรูปที่ 2.1 (ค) ก้านใบยาว 0.1-0.3 เซนติเมตร หูใบ 1 คู่ ติดใกล้ง่ามใบ รูปสามเหลี่ยมปลายแหลมหรือหยักเป็น 2 แฉก

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.1 ข่อย *Streblus asper Lour.*

(ก) ต้น (ข) ยาง (ค) ใบ

ดอก แยกเพศอยู่ร่วมต้นเดียวกันหรือแยกเพศอยู่ต่างต้น มีเฉพาะกลีบเลี้ยง 4 กลีบ สีเขียวอ่อน ไม่มีกลีบดอก ดอกเพศผู้ รูปที่ 2.2 (ก) ออกเป็นช่อกระจุกแน่น 1-2 ช่อ ตามง่ามใบ ก้านดอกสั้น มีเกสรเพศผู้ 4 อัน ดอกเพศเมีย รูปที่ 2.2 (ข) ออกเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่ม 1-4 ดอก ตามง่ามใบ ไม่มีก้านดอก กลีบเลี้ยงขยายใหญ่ และโค้งลงเมื่อเป็นผล

(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 ดอกของต้นข่อย *Streblus asper Lour.*

(ก) ดอกเพศผู้ (ข) ดอกเพศเมีย

ผล แบบผนังชั้นในแข็ง รูปร่างค่อนข้างกลม ปลายนุ่ม ยาว 0.6-0.8 เซนติเมตร สุกสีเหลืองถึงส้ม รสหวาน มี 1 เมล็ด มนกลม สีเทาขาว [33]

รูปที่ 2.3 ผลของต้นข่อย *Streblus asper Lour.*

นิเวศวิทยา ขึ้นตามที่โล่งแจ้งตามที่ลุ่ม ป่าละเมาะ ทุ่งนา ริมห้วยหรือแม่น้ำ ในป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้น ที่ระดับความสูงใกล้ทะเลถึง 600 เมตร ออกดอกและติดผลเกือบตลอดปี กระจายพันธุ์ทั่วประเทศไทย ในต่างประเทศพบที่ประเทศอินเดีย ประเทศเนปาล ประเทศศรีลังกา ตอนใต้ของประเทศจีน และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ลักษณะพื้นที่และการตัดตกแต่งกิ่ง จะส่งผลให้ข่อยมีการเจริญเติบโตในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น ข่อยที่ปลูกใกล้แหล่งน้ำ จะทำให้ใบข่อยมีขนาดใหญ่ กิ่งอ่อนยืดตัวและลำเลียงอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้ดีกว่าการปลูกในพื้นที่แห้งแล้ง ซึ่งส่งผลให้ต้นข่อยแคระแกรน การยืดตัวของกิ่งข่อยสั้นผิดปกติ สังเกตได้จากตาใบที่ออกชิดกัน กิ่งข้อสั้น ใบเล็ก แข็งและหยาบ แต่หากได้รับน้ำมากจนเกินไป ความแข็งแรงของเยื่อจะลดลงเช่นกัน ดังตัวอย่างข่อยที่ขึ้นใกล้แหล่งน้ำและไกลจากแหล่งน้ำ [32]

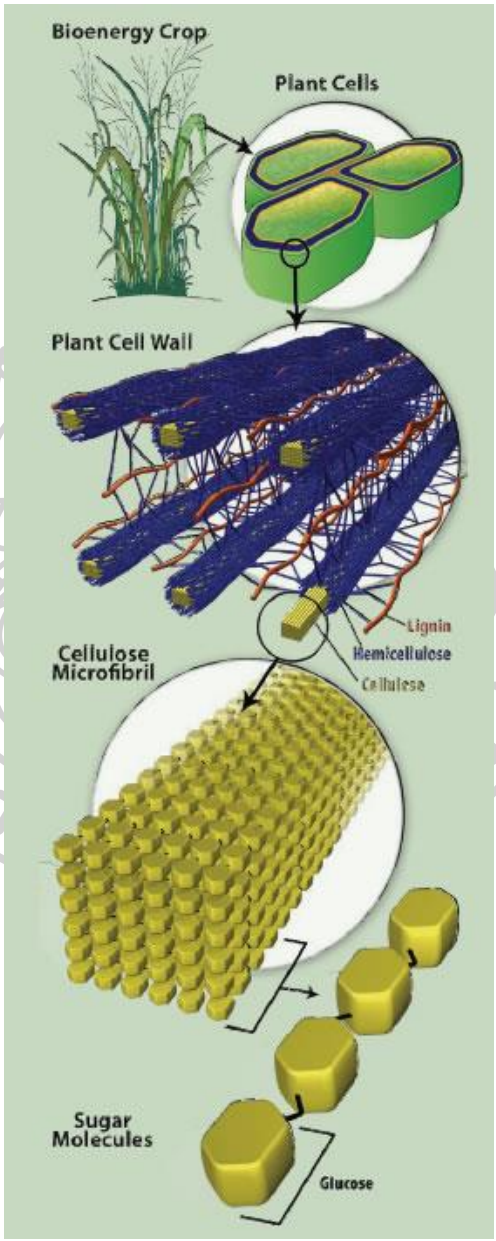
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงลักษณะการกระจายพันธุ์ของข่อยที่พบในประเทศไทย [34-36]

ที่	ลักษณะการกระจายพันธุ์	ภาพประกอบ
1.	ข่อย *(S. asper Lour.)* ขึ้นตามที่โล่งแจ้งตามที่ลุ่ม ป่าละเมาะ ทุ่งนา ริมห้วยหรือแม่น้ำในป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้น ที่ระดับความสูงใกล้ทะเลถึง 600 เมตร กระจายพันธุ์ทั่วประเทศไทย ในต่างประเทศพบที่ประเทศอินเดีย ประเทศเนปาล ประเทศศรีลังกา ตอนใต้ของประเทศจีน และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	
2.	ข่อยหนาม *(S. ilicifolius (S. Vidal) Corner)* ขึ้นตามป่าละเมาะ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น และป่าเขาหินปูน ไม่พบตามที่โล่งแจ้ง ที่ระดับความสูงเหนือทะเลปานกลาง 5-600 เมตร กระจายพันธุ์ทั่วประเทศไทยในต่างประเทศพบที่ประเทศบังกลาเทศ ประเทศอินเดีย ตอนใต้ของประเทศจีน และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	
3.	ข่อยอินเดีย *(S. indicus (Berau) Corner)* ขึ้นตามป่าดิบแล้ง และป่าเขาระดับต่ำ ที่ระดับความสูงเหนือทะเลปานกลาง 300-1400 เมตรประเทศไทยกระจายพันธุ์ทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ในต่างประเทศพบทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย ตอนใต้ของประเทศจีน และประเทศลาว	

ที่	ลักษณะการกระจายพันธุ์	ภาพประกอบ
4.	ข่อยใบใหญ่ *(S. macrophyllus Blume)* ขึ้นตามป่าริมห้วย ป่าดิบแล้ง และป่าเขาหินปูน ที่ระดับความสูงเหนือทะเลปานกลาง 100-300 เมตร ประเทศไทยกระจายพันธุ์เฉพาะทางภาคตะวันตก ในต่างประเทศพบทางตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศเวียดนาม ประเทศมาเลเซีย ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศฟิลิปปินส์	
5.	ข่อยเปรัก *(S. perakensis Corner)* ขึ้นตามเชิงเขาป่าดิบชื้น เฉพาะทางภาคใต้ ต่อเนื่องถึงคาบสมุทรมลายู ที่ระดับความสูงใกล้ทะเลถึง 100 เมตร	
6.	ข่อยหยอง *(S.toxoides (B. Heyne ex Roth) Kurz)* ขึ้นตามป่าละเมาะใกล้ชายหาด ทั้งที่แห้งแล้งและใกล้แหล่งน้ำ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น และเชิงป่าเขาหินปูน ที่ระดับความสูงใกล้ทะเลปานกลางถึง 400 เมตร กระจายพันธุ์ทั่วประเทศไทย ในต่างประเทศพบที่ประเทศศรีลังกา ประเทศบังกลาเทศ ประเทศอินเดีย ประเทศภูฏาน ตลอดถึงทางตอนใต้ของประเทศจีน และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	

2.2 คุณสมบัติของเส้นใยข่อย

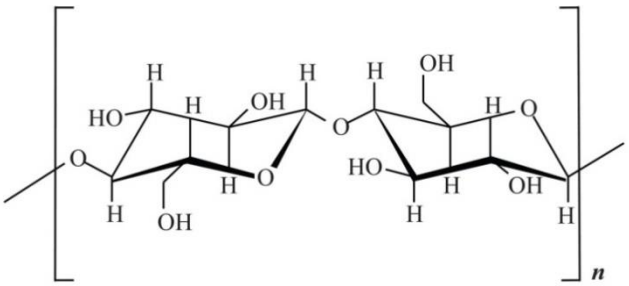
กระดาษข่อยผลิตจาก ต้นข่อย (*Streblus Lour.*) พบได้ทั่วไปในประเทศไทย และแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [6] มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ดังรูปที่ 2.10



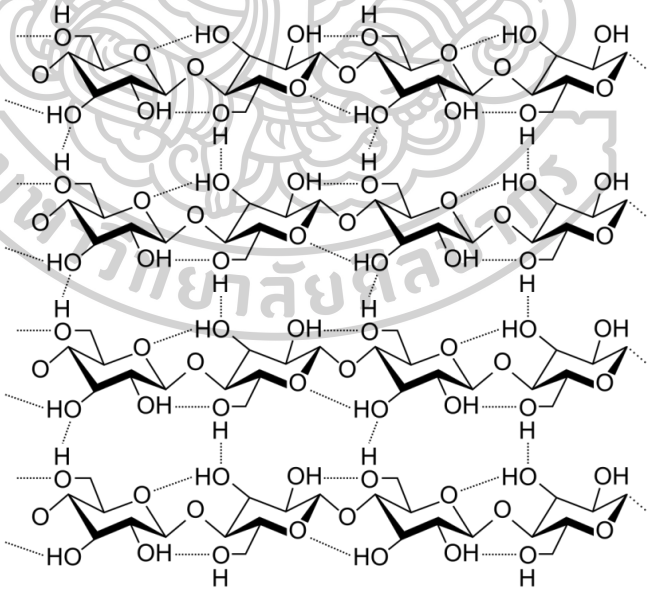
รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช [37]

ที่มา : Lynn Yarris (2010)

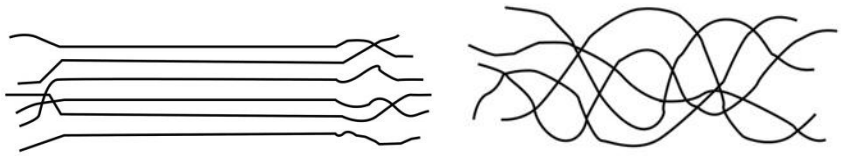
เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรท ซึ่งมีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.11 มีลักษณะเป็นสายยาวเรียงขนานกันและมีแรงกระทำระหว่างสายเป็นพันธะไฮโดรเจนดังแสดงในรูปที่ 2.12 ภายในโมเลกุลเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (β- 1, 4- glycosidic) พันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใยเซลลูโลสแต่ละสาย โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ เซลลูโลสที่เป็นผลึก (crystalline) ดังรูปที่ 2.13 (ก) และ เซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึก (amorphous) ดังรูปที่ 2.13 (ข) [35]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างเซลลูโลส



รูปที่ 2.12 พันธะไฮโดรเจน (เส้นประ) ในโครงสร้างเซลลูโลส



(ก) (ข)

รูปที่ 2.13 ลักษณะเส้นใยเซลลูโลส

(ก) เซลลูโลสที่เป็นผลึก (ข) เซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึก

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทำหน้าที่เป็นตัวยึด เซลลูโลสไว้ด้วยกัน ทำให้เยื่อไม้มีความแข็งแรง เฮมิเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรทประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ภายในโมเลกุลเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (β- 1, 4-glycosidic) และประกอบด้วยน้ำตาลหลายๆ ชนิดผสมกัน ได้แก่ Acetyl group, Uronic acid และ Metoxilouronic acid, Pentose sugar ที่มีไซโลส Xylose และอะราบิโนส Arabinose, Hexose sugar ที่มีกลูโคส Glucose แมนโนส Mannose และกาแล็กโทส Galactose

ลิกนิน (Lignin) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเส้นใย เป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึก ประกอบด้วย สารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ได้แก่ *trans-p*-coumaryl alcohol, *trans*-coniferyl alcohool และ *trans-p*-sinapyl alcohol [38] ในการผลิตกระดาษลิกนินจะถูกขจัดออกจากเยื่อกระดาษด้วยเบส หากมีลิกนินหลงเหลืออยู่ในกระดาษ จะส่งผลให้กระดาษสามารถเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้เมื่อได้รับแสง

การสกัดเส้นใยด้วยเบส สารเคมีที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นต้น ซึ่งเบสจะช่วยสกัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสิ่งเจือปนออกจากเส้นใยได้ดีเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น และต้องการออกซิเจนในการขจัดสิ่งเจือปนในเส้นใย ซึ่งจะมีผลทำให้สายใยพอลิแซคคาไรด์สั้นลง นอกจากนี้ยังพบว่าการหั่นการทุบ เส้นใยนั้นยังเป็นการช่วยสกัดสิ่งเจือปน เช่น เฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยด้วยเช่นกัน [39]

จากกระบวนการผลิตกระดาษข่อยด้วยวิธีโบราณนั้นพบว่าเส้นใยของข่อยมีคุณสมบัติสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นกระดาษได้ และสามารถสกัดสิ่งเจือปนได้ค่อนข้างดี ทำให้คุณสมบัติของกระดาษข่อยนั้น มีความเหนียว คงทน ไม่กรอบ เปื่อยยุ่ยได้ยาก

3. จิตรกรรมบนสมุดไทย

3.1 ลักษณะงานจิตรกรรมและภาพเขียนบนสมุดไทย

งานจิตรกรรมบนสมุดไทย จัดเป็นจิตรกรรมแบบประเพณี และถือว่าเป็นจิตรกรรมที่เคลื่อนที่ได้ [4] ศิลปินส่วนใหญ่สร้างสรรค์ผลงานเพื่อวัตถุประสงค์ในการตกแต่งพื้นที่ให้มีความสวยงาม การเขียนเรื่องราวลงบนสมุดไทยนิยมเขียนทั้งเรื่องที่สอดคล้องและไม่สอดคล้องกับเนื้อหา ทั้งนี้เพื่อชักจูงให้ผู้พบเห็นเกิดความเลื่อมใสศรัทธาทางพุทธศาสนา จิตรกรรมบนสมุดไทยยังเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงการทำงานเพื่อรับใช้พุทธศาสนาในทางศิลปะของศิลปิน ผลงานจิตรกรรมไม่เพียงแต่มีประโยชน์ในแง่ความสวยงาม แต่ยังมีประโยชน์ทางอ้อมที่แสดงให้เห็นถึง สภาพสังคม เศรษฐกิจ วัฒนธรรม ศาสนา ประวัติศาสตร์ โบราณคดี เป็นต้น

การสร้างงานจิตรกรรมแบบโบราณนั้น นิยมเขียนไว้บนฝาผนัง ผืนผ้า และกระดาษ ความแตกต่างจะสามารถพิจารณาได้จากการเตรียมพื้นที่ในการวาด การเลือกใช้ชนิดของสี อุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียน กรรมวิธีในการเขียนเฉพาะตัว อุปกรณ์เครื่องเขียนของศิลปินสมัยโบราณนิยมประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น พู่กัน ทำจากขนหูของวัวมารวมกัน เปลือกไม้ รากไม้ เป็นต้น การเขียนสีในงานจิตรกรรมศิลปินส่วนมากจะนิยมใช้สีฝุ่น เพราะมีความเหมาะสมต่อการทำงานที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อนและประณีต และยังมีรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ยุคสมัย ภาพจิตรกรรมไทยมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 3 ประการ ได้แก่ เส้น การจัดวางรูปแบบ และสี

จิตรกรรมแบบประเพณีไทย เป็นจิตรกรรมแบบอุดมคติมากกว่างานเหมือนจริง ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลมาจากศรีลังกาในสมัยสุโขทัย และมีความเกี่ยวข้องกับพุทธศาสนา ดังปรากฏหลักฐานในช่วงสมัยสุโขทัย เช่น ภาพสลักลายเส้นเล่าเรื่องนิทานชาดกที่มีความประณีต อันได้แก่ ภาพบุคคล พระโพธิสัตว์ ต้นไม้ เป็นต้น ต่อมาในสมัยอยุธยา เริ่มมีพัฒนาการในการสร้างสรรค์ผลงานของศิลปิน ด้วยการใช้สีและปิดทองลงบนงาน [40] ในสมัยอยุธยานิยมเขียนฉากประกอบเหตุการณ์

จำพวกทิวทัศน์ที่เริ่มเข้ามามีบทบาทและมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น สำหรับจิตรกรรมในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น ช่วงพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก (รัชกาลที่ 1) จนถึงสมัยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) มีลักษณะเด่น ได้แก่ ตัวละครไม่มีการแสดงสีหน้าท่าทาง ตามความรู้สึก มีความนิยมในการปิดทองที่เครื่องประดับ จำพวก มงกุฎ ชฎา สร้อย สังวาล ซึ่งตรงกันข้ามกับทาส บริวารและสามัญชนมักเป็นภาพระบายสีแบบเรียบๆ และสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 4) ได้เริ่มมีการรับอิทธิพลชาวตะวันตกเข้ามา เทคนิคการขียนภาพแบบไทยประเพณีนั้นเริ่มมีการประยุกต์ ผู้คนในภาพก็เริ่มมีการแต่งกายแบบชาวตะวันตก การสร้างสรรค์ผลงานได้เริ่มกลายเป็นลักษณะสากลนิยม และไม่สามารถแยกได้อย่างชัดเจนในเรื่องของช่วงเวลาและพัฒนาการของศิลปิน เช่น ฝีมือการเขียนของพระและศิลปินหลวง เพราะศิลปินได้เริ่มมีการผสมผสานกันในเรื่องของรูปแบบและเรื่องราว

3.2 สีที่ใช้เขียนหนังสือสมุดไทย

สีในงานจิตรกรรมไทยในอดีตนิยมใช้สีฝุ่น ที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งจากอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งช่างโบราณได้ค้นพบสารที่ให้สีจากสิ่งใกล้ตัวจำพวก แร่ หิน พืช สัตว์ เป็นต้น หรือบางครั้งก็ได้จากการติดต่อแลกเปลี่ยนกันทางการค้าเมื่อได้สารที่ให้สีแล้วศิลปินจะต้องนำไปผ่านกระบวนการจนสารให้สีกลายเป็นตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อน เพื่อให้สีที่ได้คงที่และเหมือนกันในแต่ละครั้งก่อนที่จะนำไปใช้งาน จากนั้นจะนำสีที่ได้มาบดเป็นผงละเอียด แล้วนำไปผสมกับสารยึดต่างๆ เช่น กาวกระถิน กาวมะขาม ดินสอพอง ฯลฯ แล้วนำไปเขียนบนชิ้นงานงาน

งานจิตรกรรมในยุคเริ่มแรกนิยมใช้สีเพียงไม่กี่สีในการเขียนชิ้นงาน ต่อมาพบว่าศิลปินได้เริ่มนำสีที่เรียกว่า “เบญจรงค์” (คือ สี 5 สี ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีคราม สีขาว และสีดำ) มาใช้ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานมากขึ้นใน สมัยโบราณศิลปินจะไม่ใช้คำว่า “สี” จากหลักฐานที่มีการบันทึกพบว่าจะนิยมใช้คำว่า “รงค์” หมายถึง สี“กระยารงค์” หมายถึง เครื่องสีต่างๆ [3] ส่วนคำว่า “น้ำยา” หมายถึง สีที่ผสมตัวสารยึดแล้ว [41] การเรียกชื่อสีหากดูจากบันทึกต่างๆ นั้นยังมีความสับสนในการเรียกกันในหมู่ช่าง เนื่องจากช่างมักนิยมเรียกตามแหล่งที่มาของสี หรือบางครั้งก็มักเรียกกันตามภาษาท้องถิ่น หรือจากสายครูช่าง และภาษาที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกับต่างประเทศ เช่น แดงชาด เสน เขียวตังแช รง เป็นต้น

สีแดง เป็นสีที่ช่างเขียนไทยนิยมใช้กันมากมาตั้งแต่อดีต พบหลักฐานจากงานเขียนอย่างจิตรกรรมบนกระดาษ จิตรกรรมฝาผนัง และงานศิลปะอื่นๆ และสามารถแบ่งออกเป็นหลายลำดับชั้นของสีขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของสี และบางครั้งก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของศิลปินซึ่งมีกรรมวิธีในการเพิ่มตัวผสมสีตามต้องการเพื่อเพิ่มลำดับชั้นของสีใหม่ๆ ในอดีตนั้นสีแดงอาจได้จากหินผา หรือดินตามพื้นที่ชนบท แต่เมื่อนำไปผสมกับตัวผสานแล้วเนื้อสีจะไม่ค่อยแน่น ทำให้การระบายสีนั้นจะไม่มีความเรียบ เมื่อมีการแลกเปลี่ยนทางการค้า ประเทศไทยได้รับ ดินแดงเทศจากประเทศอินเดีย ซึ่งเนื้อสีนั้นมีความแข็งแรง และสดกว่า ต่อมาจีนก็เริ่มส่ง ตัวเปี๊ย เป็นผงสีแดงชาดก้อน (ชาดอามุ่ย) และ ชาดจอแส นั้นว่าได้จากเมืองเอ้หมึงเหมือนกันแต่เป็นของระดับรองลงมา นอกจากนี้ยังมีเสนที่บดเป็นผงมาจากหินชนิดหนึ่งของจีน สีลิ้นจี่ (อินจี่) ลักษณะเป็นแผ่นใช้สำหรับทาปาก [41] ส่วนดินแดงที่ใช้มาจากประเทศไทย พบที่ศรีราชา จันทบุรี สงขลา เป็นต้น การใช้สีของศิลปินมักนำมาผสมกับตัวให้สีอื่นๆ เพื่อเพิ่มลำดับชั้นสี เช่น สีเสนเป็นสีแดงเมื่อผสมเหลืองจะได้สีส้มออกแดง ได้จากจากออกไซด์ของดีบุก [42] ถ้านำไปผสมกับกับสีฝุ่นขาวจะได้สีที่เรียกว่า บางเสนหรือสีอิฐ นิยมนำไปเขียนประดับลายผ้า สีแดงเมื่อเอาไปผสมกับเขม่าดำจะได้สีเลือดหมูซึ่งศิลปินนิยมนำมาระบายเป็นสีพื้น ส่วนสีแดงเข้มสดใสนั้นจะต้องเอาชาดที่ส่งมาจากจีนผสมแดงเปี๊ยและแดงเสนผสมส่วนละเท่าๆ กันจะได้สีแดงฉ่ำ เรียกว่า แดงเลือดนก ถ้าผสมสีแดงชาดมากจะได้แดงลิ้นจี่มีสีใกล้เคียงทับทิมหรือแดงมณี นับเป็นที่นิยมเพราะดูขลังและศักดิ์สิทธิ์ [40]

สีเหลือง ส่วนใหญ่มักได้จากดิน และเหลืองหรดาลหิน ดินเหลืองที่ได้จากธรรมชาติมักจะมีสีหม่น จะต้องนำมากรองละลายกับน้ำเอากรวดทรายออก และเอาไปเกรอะจนแห้ง แล้วบดให้เป็นฝุ่น ส่วนสีเหลืองหรดาลนั้น เกิดจากออกไซด์ของปรอททำปฏิกิริยากับกำมะถัน มีลักษณะเป็นก้อนก่อนใช้ก็ต้องนำไปบดจนเป็นผง [42] นอกจากนี้ยังมี สีเหลืองรง รงเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ใบกลมโต ปลายใบมนๆ มี 2 ชนิด คือ รงกา ยางเป็นสีเขียวและ รงทอง มาจากยางต้นรง (ชื่อพฤกษศาสตร์ *Gracinia Hanbury Hook*) ซึ่งต้นรงทองจะมียางเป็นสีเหลือง เมื่อเอามีดกรีดลำต้นรงทอง จะมียางสีเหลืองไหลออกมา ช่างเขียนแต่ก่อนจะตัดไม้ไผ่ขนาดพอสมควร ไปรองรับเพื่อเก็บยางรง แล้วนำไปตากแดดให้แห้งจึงจะผ่าไม้ไผ่ที่ใส่ยางรงออก ก็จะได้ยางรงเป็นแทงออกมามีสีน้ำตาลเหลือง หรือน้ำตาลไหม้ เมื่อจะนำมาใช้ต้องนำมาฝนกับน้ำ จะได้เป็นสีเหลืองออกมาสามารถใช้เขียนระบายได้โดยไม่ต้องนำมาผสมกับกาวยางกระถินหรือกาวยางใดๆ เพราะยางรงมีคุณสมบัติเป็น

ยางไม้โดยธรรมชาติอยู่แล้วจึงสามารถจับติดผนังได้เป็นอย่างดี นอกจากจะใช้ยางรงเขียนระบายกับสีฝุ่นเพื่อเขียนภาพจิตรกรรมไทยแล้วยางรงยังใช้เขียนตัวอักษรบนสมุดไทยดำ เป็นเส้นตัวอักษรเรื่องราวต่างๆได้ สีเหลืองรงมีตัวอย่างในหนังสือสมุดไทยดำ ตั้งแต่สมัยต้นรัตนโกสินทร์แล้ว คุณสมบัติของยางรงอีกประการหนึ่ง คือ ใช้ยางรงในส่วนที่จะปิดทองคำเปลว ภาพจิตรกรรมไทยก่อนที่จะทายางมะเดื่อ จะทำให้ปิดทองได้เรียบและง่ายขึ้น ทองจะขึ้นเป็นเงา ไม่เป็นคลื่นสามารถตัดเส้นพู่กันบนแผ่นทองได้ดีและเป็นการช่วยซับหนุน ในกรณีที่ทองคำเปลว เกิดเป็นตามดหรือเป็นรูรั่วเล็กๆ เมื่อปิดทองลงบนพื้น สีรงซึ่งเป็นสีเหลืองคล้ายสีของทองทำให้เกิดความกลมกลืนระหว่างทองและส่วนที่เป็นรอย ต้นรงมีอยู่แถบเมืองจันทบุรี และภาคตะวันออกของประเทศไทย

สีฟ้า หรือสีคราม (Indigo) เตรียมจากใบของต้นคราม ซึ่งต้นครามเป็นไม้ล้มลุกชนิดพุ่มใบเล็กคล้ายกางปลา มีดอกสีเหลืองฝักคล้ายฝักถั่วเขียวแต่เล็กติดกันเป็นกระจุก (Indigofera ruffrieose) มีขึ้นอยู่มากแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ภาคเหนือ เรียกต้นฮ้อม นำมาย้อมผ้า เมื่อจะนำเอามาทำเป็นสีครามให้นำใบต้นคราม มาตำพอแหลกแล้วนำไปแช่น้ำปูนขาว ทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วจึงเอาปูนขาวผสมแช่ไว้อีกเป็นเวลาราว 1 เดือน ใบของต้นครามจะเน่าเปื่อยกลายเป็นสีคราม แล้วใช้ผ้าขาวบางกรองเอาตัวเนื้อสีครามโดยปล่อยให้ตกตะกอนใช้ตะกอนนั้นมาเป็นสีครามเขียนภาพได้ โดยนำมาตากให้แห้ง แล้วนำมาบดให้ละเอียด สีครามนี้จะมีกลิ่นเหม็นอันเกิดจากการเปื่อยเน่าของใบคราม สีครามที่ได้จะเป็นสีน้ำเงินเข้ม (Prussian Blue , Indigo) พบการใช้สีครามนี้ในงานจิตรกรรมฝาผนังตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา จนถึงปลายรัชกาลที่ 3 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ [43]

สีขาว เกิดจากออกไซด์ของตะกั่ว (zinc oxide) โดยใช้ความร้อนจากก๊าซคาร์บอนรมแผ่นตะกั่วทำให้เกิดสนิมขาว เนื้อสีละเอียดและขาว ศิลปินรุ่นเก่าเรียกสีขาวว่า “ฝุ่น” ตามภาษาจีนกวางตุ้งที่เรียกแป้งว่า ฝุ่น สีขาวกะบัง ทำจากดินเนื้อละเอียดสีขาวที่เรียกว่า Braytar เป็นสีที่มีน้ำหนักมาก นำมาแช่น้ำแล้วกรองให้สะอาด เกรอะจนแห้ง (เกรอะ คือ การกรองโดยแยกเอาแต่ส่วนที่เป็นน้ำใสหรือส่วนละเอียดที่นอนก้น) สำหรับสีขาว ที่เรียกว่าปูนขาวที่ทำจากเปลือกหอยหรือหินปูนเผาไฟ แล้วแช่ลงในน้ำปูน หอยหรือหินจะละลายเป็นแป้ง นำมาเกรอะจนแห้งแล้วบดให้ละเอียด

สีดำ ได้จากธาตุวัตถุหลายอย่างที่ต้องเตรียมการอย่างเหมาะสม สามารถจำแนกได้ เช่น หมึกจีน เป็นสีดำที่ได้จากในตัวปลาหมึกจึงเรียกทับศัพท์ว่า หมึก ชาวจีนจะนำเอาหมึกจากตัวหมึกนี้ไปผสมกับเขม่า ทำทั้งตีเป็นแท่งและน้ำหมึกใส่ขวด ที่ทำเป็นแท่งเวลาใช้จะต้องนำไปฝนกับหินรางฝนหมึกกับน้ำ ให้ได้น้ำหมึกก่อนแล้วจึงจะนำมาใช้เขียนได้ คุณสมบัติพิเศษของหมึกจีนประการหนึ่ง คือ มีความดำเป็นพิเศษกว่าหมึกฝรั่งหรือหมึกแขก และมีเนื้อที่พิเศษกว่าสีฝุ่นอื่นๆ ส่วนใหญ่จะได้จากเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทำให้ได้เขม่าจากควันไฟละเอียดหรือหยาบต่างกันออกไป เช่น เขม่าจากฟืนจะหยาบกว่าเขม่าที่ได้จากการเผาน้ำมันยางซึ่งจะมีความละเอียดและให้สีดำมาก ปัจจุบันเขม่ายังมีขายตามร้านขายเครื่องยาจีนเป็นห่อ เวลาใช้จะต้องนำมาเจือกับแอลกอฮอล์เล็กน้อย เนื่องจากไม่ค่อยเข้ากับน้ำเมื่อผสมกับกาว สำหรับสีดำที่ได้จากถ่านที่เกิดจากงาช้างเผา นิยมใช้ส่วนที่เป็นเศษๆ และนำมาบดให้ละเอียดแล้วผสมกับกาวใช้เขียนระบายได้

สีทอง เป็นทองที่ตีแผ่จนเป็นแผ่นบางมาก มักใช้สำหรับการปิดทอง (gilding) หรือที่ใช้สำหรับปิดบนองค์พระพุทธรูป

4. สาเหตุการเสื่อมสภาพ และการอนุรักษ์

การศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่ามีหลายกระบวนการที่ส่งผลให้กระดาษเกิดการเสื่อมสภาพ เช่น การดูแลรักษา การจัดเก็บ การจัดแสดง การปฏิบัติการอนุรักษ์ เป็นต้น และเมื่อวัตถุเกิดการเสื่อมสภาพ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม เพื่อหาแนวทางป้องกันและเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพ

4.1 สาเหตุการเสื่อมสภาพของกระดาษ

การเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทยเกิดจากปัจจัยแวดล้อม ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันกระทั่งเกิดกระบวนการเสื่อมสภาพ อาจเกิดจากกระบวนการเชิงกล เคมี และชีววิทยา ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ สำหรับหนังสือสมุดไทยที่มีการเขียนลวดลายของงานศิลปะหรือการเขียนสี มีความเสี่ยงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและชำรุดเสื่อมสภาพได้สองทาง คือ ความเสื่อมสภาพของเนื้อกระดาษ เช่น กระดาษเปื่อยยุ่ย ขาดหาย เกิดคราบ เป็นต้น และ

การเสื่อมสภาพสีที่อยู่บนหนังสือสมุดไทย เช่น หลุดร่อน เปลี่ยนสี ทำลายเนื้อกระดาษ เป็นต้น เนื่องจากสีที่ใช้บนหนังสือสมุดไทยมีทั้งสีที่ได้จากอินทรียวัตถุจำพวกพืช สัตว์ และจากอนินทรียวัตถุจำพวก หิน ดิน หรือแร่ ที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งอินทรียวัตถุ และอนินทรียวัตถุนั้นมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยสาเหตุการเสื่อมสภาพนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยใหญ่ คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก

4.1.1 ปัจจัยภายใน

หมายถึง กระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบต่างๆ แม้จะไม่มีสาเหตุจากปัจจัยภายนอกมากระทำ อย่างกระบวนการทางเคมีที่เกิดการย่อยสลาย (Hydrolysis) ของเส้นใยที่เกิดจากการปนเปื้อนสารเคมีตั้งแต่การผลิต เช่น การสกัดเส้นใยและยังหลงเหลือลิกนิน การใช้สารเคลือบผิว ในกระบวนการผลิตกระดาษ และการปนเปื้อนหรือการใช้สารเคมีในการสกัดเส้นใย

การเสื่อมสภาพที่เกิดจากกรดในกระดาษ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระดาษได้รับความเสียหายรุนแรง ซึ่งกรดเป็นสารประกอบที่นำไปละลายในน้ำ จะเกิดไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion) เมื่อวัดระดับความเป็นกรดเบส โดยใช้เครื่องวัดระดับพีเอช (pH meter) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ ระดับ 0-14 จะพบว่าสารที่เป็นกรดมีค่าพีเอชต่ำกว่า 7 [44] สำหรับการเสื่อมสภาพที่เกิดจากเบส จะเกิดไฮดรอกไซด์ (hydroxide) ซึ่งมีค่า pH สูงกว่า 7 สำหรับตัวอย่างกระดาษที่เป็นกรด เช่น กระดาษที่ผลิตในยุโรปสมัยคริสต์ศตวรรษที่ 18 - 19 ซึ่งนิยมใช้ชันสนและสารส้มเป็นสารเคลือบผิวกระดาษ หรือบางแห่งมีการใช้กาวหนังสัตว์และสารส้ม เมื่อได้รับความชื้นเป็นเวลานาน อลูมิเนียมซัลเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารส้มเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้กรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถัน ซึ่งเป็นกรดแก่ ทำให้กระดาษเปื่อยกรอบ และเปลี่ยนสี นอกจากนี้ยังพบว่ากระดาษที่มีการผลิตจากเยื่อกระดาษที่ได้จากการบดเนื้อไม้ โดยไม่มีการแยกลิกนินออก ลิกนินซึ่งมีสมบัติเป็นกรดก็ทำให้กระดาษเกิดการเสียหายได้เช่นเดียวกับกระดาษที่ผลิตโดยใช้สารเคมีประเภทกรดในการเตรียมเส้นใย [45]

4.1.2 ปัจจัยภายนอก

หมายถึง กระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดการถูกกระทำ ที่ส่งผลจากสภาพแวดล้อมเป็นการเสื่อมสภาพจากสภาพแวดล้อม เช่น ภัยพิบัติทางธรรมชาติ มลภาวะ แสง ความชื้น และอุณหภูมิ เป็นต้น ที่ไม่อาจคาดเดาได้ว่าจะเกิดขึ้น เมื่อไหร่ อย่างไร และมีความรุนแรงมากหรือน้อย เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตมรสุมที่ร้อนชื้น มี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว และมีสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความร้อน ความชื้น และอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุ ปัจจัยเหล่านี้มีบทบาทสำคัญ ที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ

ความชื้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กระดาษเกิดการเสื่อมสภาพได้ เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติในการดูดและคายน้ำได้ จึงส่งผลให้เส้นใยกระดาษเกิดขยายตัวและหดตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้เส้นใยอาจเกิดการชำรุดเสียหายทั้งกระบวนการเชิงกล เคมี และชีววิทยา ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของกระดาษ การควบคุมความชื้น จึงเป็นสิ่งสำคัญในการดูแลรักษากระดาษ ต้องอาศัยเครื่องมือวัดความชื้น ได้แก่ ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) ซึ่งจะแสดงค่าเป็น เปอร์เซ็นต์ (%) ในการดูค่าความชื้น การดูแลรักษากระดาษที่เหมาะสม ควรควบคุมความชื้นให้อยู่ระหว่าง 50 - 65 เปอร์เซ็นต์ และจะต้องคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่การจัดเก็บพื้นที่เสี่ยง เช่น ห้องใต้ดินหรือใต้หลังคา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีค่าความชื้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว และพื้นที่จัดเก็บจะต้องปราศจากฝุ่นละออง ควรหมั่นตรวจดูแมลง จุลินทรีย์ และรักษาความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ

ความร้อน สามารถวัดค่าความเปลี่ยนแปลงได้จากเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ การระบายอากาศที่ดีภายในอาคารช่วยทำให้ความร้อนลดลง โดยอาศัยพัดลมระบายอากาศหรือเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากการระบายความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นต่อวัตถุ หากความร้อนสูงหรือต่ำเกินไปวัตถุอาจได้รับความเสียหายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากสถานที่นั้นอยู่ใกล้แหล่งให้ความร้อน จำพวก เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า หลอดไฟที่มีกำลังวัตต์สูงในตู้จัดแสดง และห้องจัดแสดง บริเวณใต้หลังคา เป็นต้น ซึ่งควรควบคุมอุณหภูมิในการดูแลรักษากระดาษให้เหมาะสม หรืออยู่ระหว่าง 22 - 24 องศาเซลเซียส และจะต้องคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

แสงสว่าง กรณีการเสื่อมสภาพจากแสงเกิดได้จากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ เมื่อกระดาษได้รับการสัมผัสกับแสงอาทิตย์และออกซิเจนในอากาศจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อเซลลูโลสในกระดาษทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนกลายเป็น Oxycellulose สายใยของพันธะก็จะเกิดการแตกหักส่งผลให้เส้นใยอ่อนแอ เปราะ และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเมื่อมีการใช้แสงประดิษฐ์ จำพวก หลอดมีไส้ หลอดเรืองแสง หลอดทังสเตนฮาโลเจน ฯลฯ ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตและปริมาณรังสีอินฟราเรดนั้นจะมากหรือน้อยในการทำลายเส้นใยขึ้นอยู่กับความเข้มแสง ซึ่งควรตรวจสอบความเข้มของแสง ระยะเวลาในการส่องสว่าง และระยะห่างของแสงด้วยเช่นกัน ดังนั้นสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาควรมีแสงสว่างไม่มากหรือมืดสนิท ควรเปิดไฟเฉพาะเวลาที่จำเป็น ความเข้มของแสงไม่ควรเกิน 50 ลักซ์ รังสีอัลตร้าไวโอเลตต่ำกว่า 30 ไมโครวัตต์ต่อลูเมน และควรติดผ้าม่านหรือมู่ลี่เพื่อป้องกันแสงจากภายนอก ประตูหรือหน้าต่างหากเป็นบานกระจกใสควรติดฟิล์มที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงและกรองรังสีอัลตร้าไวโอเลต [16]

การจับต้องเคลื่อนย้ายกระดาษ ควรกระทำอย่างระมัดระวัง คือ ควรล้างมือให้สะอาดและสวมถุงมือก่อนการจับต้องเคลื่อนย้าย เนื่องจากกระดาษมักมีสีขาวหรือสีอ่อนเหงื่อ ไขมันและคราบสกปรกจากมือ สามารถก่อให้เกิดคราบเปื้อนได้ หากกระดาษมีขนาดเล็กให้ใช้ปากคีบช่วย ไม่ควรสัมผัส หรือแตะต้องโดยไม่จำเป็น เนื่องจากอาจทำให้ฉีกขาดได้ การเคลื่อนย้ายควรใช้อุปกรณ์อื่นๆ ช่วยในการเคลื่อนย้าย เช่น การวางในกล่อง หรือรถเข็นที่มีวัสดุรองรับในการกันกระทบกระแทก ระวังไม่ให้วัตถุล้มเอียงหรือกลิ้งไปมาระหว่างการเคลื่อนย้าย

การจัดเก็บหรือการจัดแสดงกระดาษ ควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่น การเก็บรักษาศิลปวัตถุประเภทกระดาษ หากมีขนาดเล็กควรเก็บรักษาในแฟ้มที่ทำจากกระดาษปลอดกรดหรือจัดเก็บในแผ่นไมลาร์ (พลาสติกชนิดพิเศษ) แล้วเก็บในกล่องกระดาษแข็งไร้กรด เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกแสงและฝุ่น หากเป็นกระดาษหรือชิ้นงานขนาดใหญ่ ควรจัดทำหีบห่อและจัดวางในแนวราบ ไม่ควรแขวนหรือพับ ควรจัดเก็บไว้ในตู้หรือลิ้นชัก หากชิ้นงานเกิดความชำรุดเสียหาย ฉีกขาดไม่ควรซ่อมด้วยวัสดุที่อาจส่งผลกระทบกับชิ้นงาน เช่น เทปกาว หมุด ลวดเสียบ เป็นต้น เพราะอาจเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายมากขึ้นในอนาคต

ทั้งนี้การดูแลรักษา การจัดเก็บและการจัดแสดง ที่ขาดการพิจารณาวิธีการ กระบวนการในการจัดการการควบคุมสภาพแวดล้อม และเลือกใช้พื้นที่การจัดวาง จัดเก็บและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมไม่เหมาะสม เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้วัตถุประเภทกระดาษได้รับการเสื่อมสภาพได้ง่าย นอกจากนี้ยังรวมถึง การควบคุมสภาพแวดล้อมจากสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกับวัตถุ จำพวกแมลง จุลินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการทำลายกระดาษให้ชำรุดเสื่อมสภาพ ควรควบคุม ตรวจสภาพ และสังเกตการเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ

4.2 สาเหตุการเสื่อมสภาพของสี

นอกจากนี้ปัจจัยที่อาจส่งผลกับการเสื่อมสภาพของกระดาษ คือ หมึกหรือสีย้อมบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นกรด มีความสามารถในการกัดกระดาษให้ขาดทะลุได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมึกที่มีองค์ประกอบเป็นเกลือซัลเฟต เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้กรดกำมะถัน ซึ่งสามารถกัดเนื้อกระดาษให้ขาดทะลุตามตัวอักษรหรือเส้นที่ขีดไว้

สารให้สีบางชนิดที่ใช้ในการเขียนภาพเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ภาพเขียนสีเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต สัมผัสกรด หรือเกิดจากสาเหตุในตัวเอง เช่น สารสีเขียวที่ได้จากคอปเปอร์(II) แอซิเตท ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและกรดน้ำส้ม จะเปลี่ยนเป็นกรดน้ำส้มเมื่อได้รับความชื้น กัดกระดาษให้เป็นรู ส่วนคอปเปอร์(II) เรซิเนท (copper resinate, $Cu(C_{19}H_{29}COO)_2$) ซึ่งเป็นสารให้สีเขียว เมื่อเวลาผ่านไปจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและแสงได้คอปเปอร์(II) ออกไซด์และคาร์บอน [11] สีเหลืองจากหรดาลหรืออาร์เซนิกไตรซัลไฟด์ (Arsenic trisulfide,As_2S_3) มีคุณสมบัติไม่เสถียรภายใต้แสงวิซิเบิล เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น As_2O_3 [46] ซึ่งเป็นสารไม่มีสี สารสีขาวที่นิยมใช้สมัยโบราณเป็น ขาวตะกั่ว หรือตะกั่วคาร์บอเนต (lead white, $PbCO_3$) เปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือ “แก๊สไข่เน่า” ที่มีอยู่ในอากาศ แล้วเปลี่ยนเป็น PbS ซึ่งมีสีดำ [47] หรืออาจเกิดปฏิกิริยากับสีชนิดอื่น (ที่มีองค์ประกอบเป็นเกลือซัลไฟด์) ที่อยู่ในตำแหน่งใกล้กัน เช่น สีแดงชาด ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเมอร์คิวรี(II) ซัลไฟด์ (HgS) เมื่ออยู่ใกล้กับสีขาวตะกั่วก็จะทำให้เปลี่ยนเป็นสีดำ

4.3 การอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี

ในการดำเนินงานอนุรักษ์ จะต้องมีการสำรวจ การวิเคราะห์ด้านวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพ และการศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติ คุณค่า หลักการวิธีการ และทำการทดลองก่อนการดำเนินการอนุรักษ์ โดยอาศัยหลักการสำคัญในการดำเนินงานอนุรักษ์ คือ คงรูปลักษณ์เดิมไว้ให้ได้มากที่สุด โดยทำการซ่อมแซมและเสริมแต่งให้น้อยที่สุด ไม่ควรต่อเติมอักษรหรือสิ่งอื่นใดลงในชิ้นงาน และการซ่อมแซมนั้นจะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาในอนาคต [14] การดำเนินการอนุรักษ์แบ่งออกเป็น 2 วิธีการ คือ การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive conservation) และการอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา (Conservation treatment)

4.3.1 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive conservation)

เป็นการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม การจัดการความเสี่ยงที่ส่งผลต่อวัสดุ ผู้ที่มีหน้าที่ในการดูแลรักษาจะต้องคอยควบคุมสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาอย่างสม่ำเสมอ เพราะการเสื่อมสภาพนั้นหากอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จำพวก อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง มลพิษ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งภายในและภายนอก จากลักษณะสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่ประกอบด้วย 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝนนั้น ทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง และเมื่ออุณหภูมิได้รับความเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมกับวัตถุ

4.3.2 การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา (Conservation treatment)

เป็นการดำเนินการที่ต้องคำนึกถึงหลักการและเหตุผลที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินงาน เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพ และแก้ไขปัญหาที่เกิดความเสียหายขึ้นกับวัตถุ โดยต้องอาศัยหลักทางวิชาการ ในการดำเนินงานอนุรักษ์แต่ละครั้งนักอนุกรักษ์ต้องแน่ในว่าหลังจากที่มีการดำเนินงานแล้ว วัตถุที่ได้การอนุรักษ์จะต้องได้รับการอนุรักษ์เชิงป้องกันหลังจากที่ปฏิบัติงานแล้วเสร็จ

นอกจากกระบวนและขั้นตอนการดำเนินงานแล้ว การเลือกใช้วัตถุนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการปฏิบัติ เพราะหากการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้กาวและเทปกาวทั่วไป

ติดบนกระดาษ เป็นการเพิ่มปัญหาให้แก่กระดาษในอนาคต เนื่องจากกาวและเทปกาวแต่ละชนิดมีส่วนประกอบที่ต่างกัน เมื่อคุณสมบัติความเป็นกาวหมดอายุการใช้งาน อาจทำให้กระดาษบริเวณที่มีกาว กรอบ หลุดร่อน เปื้อน และทิ้งคราบลงในเนื้อกระดาษ การเร่งระยะเวลาในการดำเนินการซ่อมแซม เช่น การนำกระดาษที่เปียกน้ำ ไปตากแดดโดยตรง หรือเป่าลมจนแห้ง ก็จะทำให้กระดาษเกิดรอยคลื่น รอยคราบน้ำ หรือติดกันได้ และการเลือกใช้สารเคมี หรือความร้อนกำจัดแมลงที่กัดกินเนื้อกระดาษ เป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบกับเส้นใยกระดาษ ทำให้กระดาษเปลี่ยนสี และเนื้อกระดาษถูกทำลาย

การซ่อมสงวนรักษาควรพิจารณาเป็นลำดับขั้น ดังนี้

1. ศึกษาโครงสร้าง ชนิดของวัตถุ และองค์ประกอบทางเคมี

2. ศึกษาสาเหตุที่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย จำพวก แมลง ความชื้น เป็นต้น

3. กำจัดสิ่งที่ก่อให้เกิดความชำรุดเสียหาย โดยการนำความรู้ทางวิทยศาสตร์มาใช้ให้เหมาะสม โดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

4. การตรวจสอบก่อนการสงวนรักษา และการหาวิธีการรักษา โดยการซ่อมแซม และการดูแลรักษา โดยตรวจสอบค่าความเป็นกรด เบส ความเหนียวและสีของกระดาษ การละลายของหมึก ตรวจดูสิ่งมีชีวิต

5. ดำเนินการซ่อมแซม ด้วยการทำลายเชื้อรา ทำลายกรด ฟอกจางสี ทำให้เนื้อกระดาษแข็งแรงขึ้น เป็นต้น [48]

การทำความสะอาดกระดาษ เพื่อแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเอกสาร ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีขั้นตอนและการดำเนินงานที่แตกต่างกัน โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องพิจารณาตามความเหมาะสม การทำความสะอาดสามารถจำแนกออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. แบบแห้ง (Dry cleaning)

2. แบบใช้น้ำ (Aqueous cleaning)

3. แบบใช้สารละลาย (Solvent cleaning) [49]

วิธีการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทย หากสมุดติดกันเป็นปึกให้ค่อยๆแซะออก และคลี่ออกทีละแผ่นโดยใช้แผ่นโลหะบาง หากมีมูลสัตว์ให้ใช้เข็มเขี่ย และถ้าหนังสือสมุดไทยมีรอยไหม้ให้ใช้กาวซึ่งผสมกับคาลาตันซีเอ ผสมกับเอธิลแอลกอฮอล์ 5 เปอร์เซนต์ ทาบริเวณที่ถูกไฟไหมให้ทั่ว

ทั้ง 2 ด้านจะทำให้กระดาษไม่กรอบ เปราะ แล้วจึงดำเนินการอนุรักษ์ตามขั้นตอนต่อไป นอกจากนั้นยังมีกระบวนการดำเนินงานตามลำดับ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทำความสะอาดเบื้องต้น

คลี่หนังสือสมุดไทยออกให้ยาวตลอดทั้งเล่มบนกระดาษซับ และทำการปัดฝุ่นด้วยแปรงขนอ่อน ทำเช่นนี้ทั้ง 2 ข้าง ขั้นต่อไปใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซนต์ 1 ส่วน ผสมน้ำธรรมดา 3 ส่วน ทดสอบจุดใดจุดหนึ่งก่อนเพื่อทดสอบการละลายของหมึก หากไม่ละลายก็ใช้สำลีแตะลงบนหนังสือสมุดไทยจนทั่ว แล้วปล่อยทิ้งไว้จนแห้ง การทำความสะอาด อาจทำความสะอาดแค่แบบแรกก็ได้โดยการวางตะแกรงไว้บนหนังสือสมุดไทยและใช้เครื่องดูดฝุ่น ดูดสิ่งสกปรกออก

2. การปฏิบัติก่อนการปะเสริม

ควรสำรวจบริเวณที่มีภาพเขียนสีหรือจุดที่สามารถละลายน้ำได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสหรือเลอะเปื้อนบริเวณนั้นๆ ในอดีตมีการป้องกันส่วนที่มีผลกระทบต่อการละลายน้ำ เช่น ภาพเขียนสี หรือตัวอักษร โดยการทาเคลือบด้วยกาวพาราลอยด์ บี 72 ในอัตราส่วน 5 เปอร์เซนต์ ผสมกับทูลูอีน

3. การปะเสริมส่วนที่ขาด

ใช้กระดาษปะเสริมจนความหนาเหมาะสม ด้วยการใช้พู่กันจุ่มน้ำแล้ววาดแบบลงบนกระดาษสำหรับปะเสริมตามรอยชำรุด และประสานด้วยกาวแป้ง สำหรับเอกสารที่มีส่วนที่กระดาษขาดหายหรือมีร่องรอยการกัดกินของแมลงที่ขาดเป็นรู เพื่อเสริมความแข็งแรงให้แก่หนังสือสมุดไทย สามารถทำด้วยวิธีการใช้เยื่อกระดาษอุดรูหรือทดแทนส่วนที่ขาดหาย (leaf-casting) โดยการใช้กระดาษ Japanese tissue หรือกระดาษสาแบบบางที่มีลักษณะสีใกล้เคียงกัน และใช้ กาวแป้ง (wheat starch) หรือ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ในการผสาน [49]

4. การทำความสะอาดหลังจากปะเสริม

หากมีรอยด่างรอบรอยที่ชำรุดอันเกิดจากการใช้กาวแป้งเปียก ให้ใช้กระดาษซับจุ่มน้ำในการทำความสะอาด

นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการอนุรักษ์กระดาษนั้น มีหลายขั้นตอนและหลายวิธีการ การเลือกใช้สารเคมี หรือวัสดุ ที่ใช้ในงานอนุรักษ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพชิ้นงานและการเสื่อมสภาพ

4.3.3 การตรวจสอบสภาพและการบันทึกข้อมูล

สำรวจสภาพเบื้องต้นว่าเป็นกระดาษชนิดใด มีความหนา ความบาง มีการบันทึกกี่ด้าน เขียนด้วยวัสดุประเภทใด ดินสอ หมึก หรือสี เขียนเป็นภาษาอะไรและอักษรอะไร จากนั้นวัดขนาดของเอกสาร กว้าง ยาว หนา รวมถึงนับจำนวนหน้า และพลิกหน้ากระดาษสำรวจดูภายในทุกหน้า บันทึกข้อมูล และถ่ายภาพประกอบ และทำแผนผังเอกสาร

การตรวจดูด้วยตาเปล่า ตรวจดูลักษณะการเสื่อมสภาพการชำรุดเสียหายซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุต่างกัน เช่น การชำรุดฉีกขาด ปรุ พรุน พับ ถูกน้ำ รอยการกัดกินของสัตว์และแมลง การเกิดเชื้อรา การเกิดกรดในกระดาษหรือรอยเปื้อนต่างๆ

การตรวจสอบความเป็นกรดเป็นด่างเบื้องต้น โดยใช้ อุปกรณ์วัดค่า pH ได้แก่ pH-paper หรือ pH-meter เป็นเครื่องมือสำหรับการวัดความเป็นกรดและด่างของวัตถุ pH-meter เครื่องมือวัดความเป็นกรดและด่างมีหลายชนิด ได้แก่ ชนิดที่ใช้วัดความเป็นกรดด่างของสารละลาย มักใช้กับกระดาษที่ไม่มีความสำคัญ วิธีตรวจสอบ คือ นำเศษกระดาษที่ต้องการทดสอบใส่ในบิกเกอร์ ใส่น้ำกลั่นลงไปให้ทั่วในปริมาณที่เหมาะสม ทิ้งไว้ประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง ถ้าต้องการเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น ก็นำขึ้นต้มบนเตาไฟฟ้า เมื่อยกลงทำให้เย็นแล้วนำไปวัดด้วยเครื่องมือ ค่าของความเป็นกรดและด่างบจะปรากฏเป็นตัวเลขบนเครื่องมือ ถ้าค่า pH ต่ำกว่า 6 มากๆ แสดงว่ากระดาษมีความเป็นกรดสูง ยิ่งค่า pH มีค่าตัวเลขต่ำกว่าเท่าใดความเป็นกรดยิ่งสูงมากเท่านั้น จะต้องดำเนินการลดกรดเอกสาร แต่หากต้องการวัดความเป็นกรดด่างบนกระดาษ โดยไม่ต้องฉีกเยื่อกระดาษมา

ผสมน้ำกลั่น แต่จะวัดด้วย pH – paper ซึ่งเป็นกระดาษที่ใช้วัดค่าความเป็นกรดด่าง โดยการเทียบสีตามตารางที่ปรากฏบนกล่อง ตัวเลขแต่ละค่ามีสีควบคู่ไปตามค่า pH ที่ปรากฏ

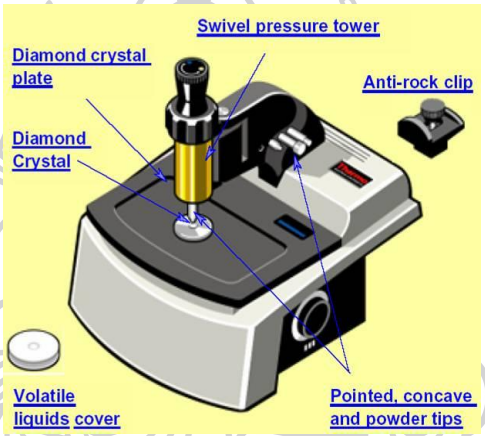
pH-paper วิธีตรวจสอบ คือ หยดน้ำกลั่นลงบนเอกสารที่ต้องการวัดโดยเลือกพื้นที่ที่ไม่มีข้อความหรือภาพ เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายที่อาจเกิดขึ้น นำ pH – paper วางบนเอกสารที่หยดน้ำกลั่นไว้ ใช้พลาสติกวางทับ ทิ้งไว้ 2 -3 นาที และนำ pH – paper ไปหาค่าความเป็นกรดโดยเปรียบเทียบกับสีบนกล่องของ pH – paper ก็จะได้ค่าของกระดาษ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายเพราะไม่ทำลายกระดาษ [14] จากนั้นเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นด้วยเครื่อง Thermo Hygrometer เมื่อบันทึกข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และนำไปวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเชิงกล ข้อมูลและรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การบันทึกข้อมูลการอนุรักษ์

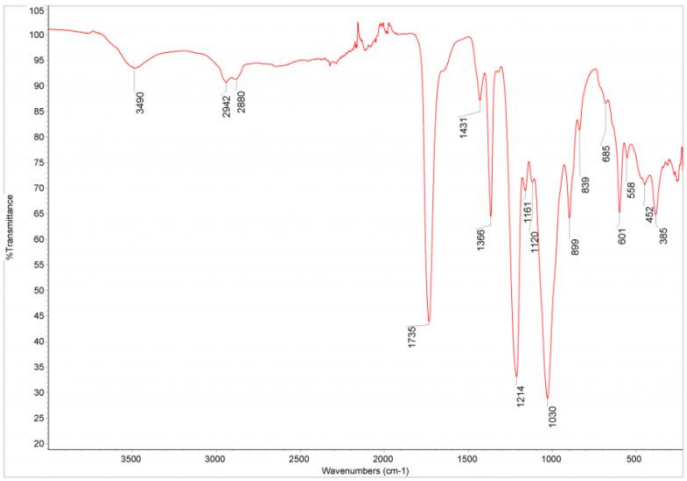
ข้อมูล	**รายละเอียดข้อมูล**
วัตถุ	ชื่อ ประวัติความเป็นมา อายุสมัย ฯลฯ
แบบบันทึกข้อมูลเบื้องต้น	สภาพต่างๆ ขนาด รูปแบบ ฯลฯ
การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์	วัสดุ สาเหตุ ลักษณะการเปลี่ยนแปลง
สภาพก่อนการอนุรักษ์	การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเชิงกล
การอนุรักษ์	แผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์
คำแนะนำ	ข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ

5. เทคนิคทางวิทยาศาสตร์

Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) เป็นเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยแสงช่วงอินฟราเรด ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในสารตัวอย่าง และนำมาประยุกต์ใช้ศึกษาการเสื่อมสภาพของเส้นใยเซลลูโลสได้ โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ในเส้นใย โดยจะมีการให้แสง IR ผ่านผลึกรูปเพชร (diamond crystal) ลงบนผิวตัวอย่างที่ทึบแสง (ดูรูปเครื่อง ATR-FTIR ในรูป 2.14) แล้ววัดแสงที่สะท้อนจากผิวตัวอย่างด้วยตัวตรวจวัด (detector) และแปรผลออกมาเป็นสเปกตรัมดังในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 เครื่อง ATR-FTIR [50]



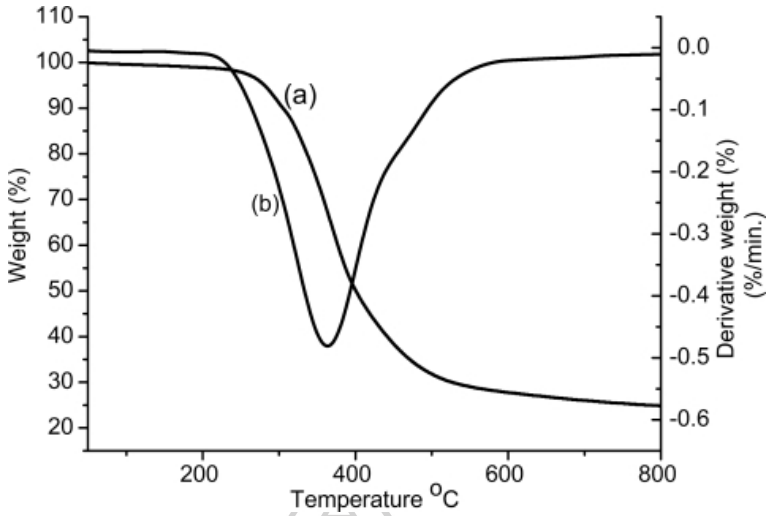
รูปที่ 2.15 สเปกตรัม ATR-FTIR ของ Cellulose acetate (4000 – 225 cm^{-1}) [51]

X-ray Diffraction (XRD) ใช้ศึกษาลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยในกระดาษว่ามีความเป็นระเบียบมากน้อยเพียงใด โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพมากจะมีความเป็นระเบียบของการเรียงตัวของเส้นใยน้อย

Scanning Electron Microscopy (SEM) ใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใย ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 2 มิติ ที่มีขนาดขยายได้มากกว่า 100,000 เท่า โดยพบว่าเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะตรวจพบการแตกหักของเส้นใยได้อย่างชัดเจนจากภาพ SEM อาศัยหลักการใช้ลำอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun) และลำอิเล็กตรอนจะถูกบีบให้แคบลงผ่านชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ เพื่อทำหน้าที่ปรับโฟกัสบนพื้นผิวของชิ้นงาน โดยมีสแกนคอยล์ (Scanning Coil) ควบคุมการส่องกราด และส่งผ่านสัญญาณ (Signal) ที่เกิดขึ้นไปยังตัววัดสัญญาณ (Detector) ส่งไปประมวลผลแปลงภาพออกมาบนหน้าจอ

Energy Dispersive Spectrometry (EDS) มักถูกวิเคราะห์ร่วมกับ SEM ใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบบนพื้นผิวของสารตัวอย่าง มีประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์อนุภาคอนินทรีย์บนเส้นใยกระดาษ

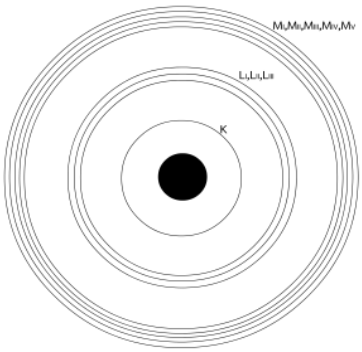
Thermo gravimetric Analysis (TGA) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของสารตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรเชิงความร้อนของตัวอย่าง โดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง ซึ่งการวิเคราะห์ตัวอย่างจะนำตัวอย่างวางลงบน pan ขนาดเล็ก โดยใช้ปริมาณตัวอย่างที่ 0.003 กรัม และจะทำการเผาด้วยอุณหภูมิที่ 50 – 800 องศาเซลเซียส น้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเกิดจากการสลายตัวของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ดังตัวอย่าง thermogram ของเซลลูโลสในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 TGA ของเซลลูโลส [52]

Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF) เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุในตัวอย่าง โดยให้พลังงานในช่วงของรังสีเอ็กซ์ที่ได้จากซินโครตรอนเข้าไปที่ตัวอย่างเพื่อทำให้อิเล็กตรอนวงในของธาตุหลุดออก หลังจากนั้นอิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่สูงกว่าเข้าไปแทนที่ และคายพลังงานในช่วงรังสีเอ็กซ์ออกมา ตรวจสอบค่าความเข้มและพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาซึ่งจะมีค่าเฉพาะ (Characteristic X-Ray) ขึ้นกับชนิดของธาตุ จะได้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในตัวอย่าง ซึ่งรังสีเอ็กซ์ที่ได้จากซินโครตรอนเป็นแสงที่มีความเข้มสูง เกิดจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งปลดปล่อยพลังงานเหมาะสมสำหรับการวัดชนิดและปริมาณของธาตุที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่าง

ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมจะแบ่งเป็นชั้น (shell) ได้แก่ K, L, M, N, ... ชั้น K จะมีระดับ-พลัง (energy level) ต่ำที่สุด และสูงขึ้นตามลำดับ โดยอิเล็กตรอนในชั้นที่ K มีอยู่เพียงระดับพลังงานเดียวเท่านั้น ส่วนชั้นอื่นๆจะมีระดับพลังงานแบ่งออกเป็นชั้นย่อย อันได้แก่ L_1, L_2, L_3 และ M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 ซึ่งพลังงานดังกล่าวก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ละธาตุดังในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมที่แบ่งออกเป็นชั้น

ชั้นของวงโคจร อิเล็กตรอนเองจะมีพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ที่ได้รับจากนิวเคลียสของแต่ละธาตุต่างกันออกไป โดยอิเล็กตรอนที่อยู่วงในจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวมากกว่าวงรอบนอก และธาตุที่มีเลขอะตอมสูงขึ้นก็จะทำให้พลังงานยึดเหนี่ยวสูงขึ้นด้วยในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในวงโคจรของธาตุต่างๆ (eV)

Element	K	L_1	L_2	L_3	M_1	M_2	M_3
S	2472	230.9	163.6	162.5	..	..	..
Cl	2822.4	270	202	200	..	..	..
Ca	4038.5	438.4	349.7	346.2	44.3	25.4	25.4
Ti	4966	560.9	460.2	453.8	58.7	32.6	32.6
V	5465	626.7	519.8	512.1	66.3	37.2	37.2
Cr	5989	696.0	583.8	574.1	74.1	42.2	42.2
Mn	6539	769.1	649.	638.7	82.3	47.2	47.2
Fe	7112	844.6	719.9	706.8	91.3	52.7	52.7
Co	7709	925.1	793.2	778.1	101.0	58.9	59.9
Ni	8333	1008.6	870.0	852.7	110.8	68.0	66.2
Cu	8979	1096.7	952.3	932.7	122.5	77.3	75.1
Zn	9659	1196.2	1044.9	1021.8	139.8	91.4	88.6
As	11867	1527.0	1359.1	1323.6	204.7	146.2	141.2

Element	K	L_1	L_2	L_3	M_1	M_2	M_3
I	33169	5188	4852	4557	1072	931	875
Au	80725	14353	13734	11919	3425	3148	2743
Hg	83102	14839	14209	12284	3562	3279	2847
Pb	88005	15861	15200	13035	3851	3554	3066

เมื่อยิงรังสีเอ็กซ์เข้าไปยังอะตอมของธาตุ อิเล็กตรอนวงในจะรับพลังงาน และหลุดออกจากอะตอม ตำแหน่งของอิเล็กตรอนตรงนั้นว่าง ทำให้อิเล็กตรอนในชั้นที่มีพลังงานสูงกว่าเข้ามาแทนที่ และคายพลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่คายออกนี้จะอยู่ในช่วงของรังสีเอ็กซ์และมีค่าจำเพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ โดยเรียกพลังงานที่คายออกมานี้ว่า “characteristic X-ray” โดย characteristic X-ray ที่เกิดจากอิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่าเข้าไปแทนที่ว่างของวงโคจรชั้น K เรียกว่า K radiation และในกรณีที่อิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่าเข้าไปแทนที่ว่างของวงโคจรชั้น L เรียกว่า L radiation และพบว่ารังสีเอ็กซ์ที่ยิงเข้าไปมีโอกาสทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้น K มากที่สุด ทำให้ความเข้มของ K radiation มากกว่า L radiation ส่วนของ characteristic X-ray ที่มาจากการแทนที่อิเล็กตรอนจากชั้นพลังงานต่างๆ จะแทนด้วยสัญลักษณ์ตามการเคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง เช่น อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากชั้นย่อยของ L_3 ไป K เรียกว่า $K\alpha_1$, L_2 ไป K เรียกว่า $K\alpha_2$, M_3 ไป K เรียกว่า $K\beta$ หรือ M_5 ไป L_3 เรียกว่า $L\alpha_1$ และ M_4 ไป L_3 เรียกว่า $L\alpha_2$ เป็นต้น

ในส่วนของการวิเคราะห์ชนิดของธาตุในเทคนิคเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์นี้คือการวิเคราะห์ค่าพลังงานของ characteristic X-ray ที่มีความจำเพาะในแต่ละธาตุ และการหาปริมาณคือการวัดความเข้มของ characteristic X-ray ที่ปลดปล่อยออกมาโดยใช้ตัวตรวจวัด (detector) ซึ่งในกรณีของ SRMXRF จะใช้ Si Drift เป็นตัวตรวจวัด บันทึกค่าออกมาในลักษณะของสเปกตรัม ซึ่งพื้นที่ใต้จุดยอดของสเปกตรัม (peak area) สามารถคำนวณปริมาณของธาตุในตัวอย่างได้ ดังนั้นการแปลผลสเปกตรัมผู้ศึกษาจะให้ความสำคัญในสองส่วน คือ ค่าพลังงานของ characteristic X-ray หรือตำแหน่งจุดยอดของสเปกตรัม (peak) ที่พบนั้นเป็นของธาตุตัวใด และพื้นที่ใต้สเปกตรัมที่จะบอกถึงปริมาณของธาตุในตัวอย่างที่ศึกษา

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการศึกษาทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยที่ทำการการศึกษาการเสื่อมสภาพของเส้นใยเซลลูโลสในเอกสารโบราณของประเทศโมรอกโกที่มีอายุ 150 200 และ 800 ปี ทั้งก่อนและหลังการอนุรักษ์ด้วยกระดาษญี่ปุ่น โดยการใช้เทคนิค ATR-FTIR, XRD และ SEM-EDS พบว่ากระดาษโบราณที่ผ่านการอนุรักษ์ด้วยกระดาษญี่ปุ่นจะมีสภาพเส้นใยที่แข็งแรงขึ้น [23]

การศึกษาผลกระทบที่เกิดกับเส้นใยเซลลูโลสของเอกสารโบราณหลังจากใช้พลาสมาในการทำลายจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย โดยใช้เทคนิค ATR-FTIR [53] พบว่า IR spectrum ของเอกสารโบราณก่อนและหลังการใช้พลาสมา ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าพลาสมาไม่ทำลายเส้นใยเซลลูโลส นอกจากนี้มีการศึกษาองค์ประกอบสีที่พบในหนังสือสมุดไทยในคริสต์ศตวรรษที่ 18 19 และ 20 จำนวน 7 เล่ม เพื่อเป็นข้อมูลในการอนุรักษ์ โดยใช้เทคนิค XRF, Raman spectroscopy, FTIR และ SEM-EDS เพื่อบอกองค์ประกอบของสีแต่ละชนิดที่ใช้เขียนภาพบนกระดาษที่ปรากฏในหนังสือสมุดไทย [22] มีการนำเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) มาใช้ในการตรวจสอบความเสถียรเชิงความร้อนของกระดาษที่ใช้ในการอนุรักษ์พบว่ากระดาษที่ใช้ในการอนุรักษ์ซึ่งมีการเติม $CaCO_3$ มีความเสถียรต่อความร้อนสูงกว่ากระดาษที่ไม่มีการเติม $CaCO_3$ และพบว่ากระดาษที่มีการเติม $CaCO_3$ จะมีความทนทานต่อแสงและสารเคมีสูงกว่ากระดาษที่ไม่มีการเติม [20]

7. กรอบแนวคิด

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ทำให้ได้กรอบแนวคิดหลังจากที่มีการตรวจวิเคราะห์เอกสารทางประวัติศาสตร์และเอกสารที่เกี่ยวข้องในการอนุรักษ์ รวมถึงการตรวจสอบรายละเอียดการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือ อุปกรณ์ และผลการทดสอบงานวิจัยอื่นๆ เพื่อนำมาปรับใช้ และสร้างแนวคิดในการศึกษา ดังนี้

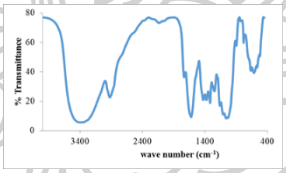
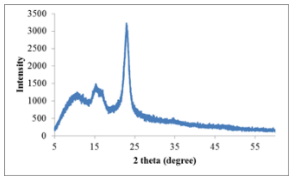
1. สำรวจสภาพ เก็บข้อมูล

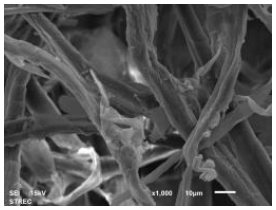
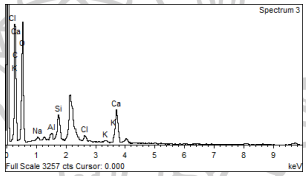
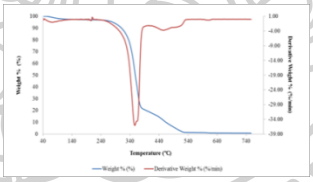
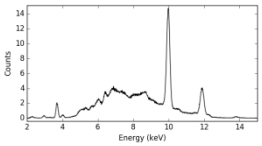
2. ทดลองกระบวนการผลิตกระดาษเลียนแบบวิธีโบราณ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ โดยใช้เบส 3 ชนิด แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสกัดเส้นใยข่อย

3. วิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

4. วางแผนการปฏิบัติงานและวิธีการอนุรักษ์ โดยการบันทึกคำแนะนำและข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเก็บ

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์กระดาษและสีโบราณ

เทคนิค	**ข้อมูลที่ได้**	**ตัวอย่างผลการศึกษา**	**การนำไปใช้ในการศึกษากระดาษโบราณ**
ATR - FTIR	ชนิดของหมู่ฟังก์ชันในกระดาษ		วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในกระดาษ โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ในเส้นใย
XRD	ตำแหน่งของค่า 2 theta และความเข้มของพีคของสารตัวอย่าง		วิเคราะห์ความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของเส้นใย โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพมากจะมีความเป็นระเบียบของการเรียงตัวของเส้นใยน้อย

เทคนิค	ข้อมูลที่ได้	ตัวอย่างผลการศึกษา	การนำไปใช้ในการศึกษากระดาษโบราณ
SEM	ลักษณะพื้นผิวเส้นใย		ลักษณะพื้นผิวเส้นใย โดยพบว่าเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะตรวจพบการแตกหักของเส้นใยได้อย่างชัดเจนจากภาพSEM
EDS	ค่าของพลังงานและความเข้มของ characteristic X-Ray		วิเคราะห์ชนิดของธาตุองค์ประกอบบนเส้นใย และมีประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์อนุภาคอนินทรีย์บนเส้นใยกระดาษ เทคนิคนี้มักใช้วิเคราะห์ร่วมกับ SEM
TGA	อุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ		วิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของสารตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรเชิงความร้อนของตัวอย่าง
SRMXRF	ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในสีที่ใช้เขียนภาพ		วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในสีที่ใช้เขียนภาพ เหมาะสมสำหรับการวัดชนิดและปริมาณของธาตุที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่าง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเล่มนี้ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของหนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาที่วัดราชาธิวาสวรวิหาร กรุงเทพมหานคร เพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความรู้เรื่องหนังสือสมุดไทย การผลิตกระดาษและหนังสือสมุดไทยโบราณ ชนิดและคุณสมบัติของกระดาษ พืชที่ใช้ในการผลิต จิตรกรรม องค์ประกอบสีบนสมุดไทย การเสื่อมสภาพ การอนุรักษ์ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสอดคล้องกับการศึกษากรณีศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้แหล่งข้อมูลทางด้านเอกสารและตำราต่างๆ เช่น หอสมุดตามสถาบันการศึกษาและหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องหลายแห่ง มีการใช้เอกสารทางสื่ออิเลคทรอนิกส์ และได้มีการลงพื้นที่ภาคสนาม บันทึกข้อมูลเบื้องต้นต่างๆ และข้อมูลที่ได้จากการสังเกต เพื่อทราบถึงปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา

ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และประมวลเรื่องราว ตรวจสอบสาเหตุการเสื่อมสภาพของกระดาษ และสีบนหนังสือสมุดไทย โดยวิเคราะห์สิ่งสกปรกที่พบบนกระดาษ วิเคราะห์องค์ประกอบสีบนหนังสือสมุดไทย ตรวจดูร่องรอยการเสื่อมสภาพของเส้นใย และความชำรุดรวมทั้งศึกษาความรู้และหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้สนับสนุนข้อเท็จจริงและยืนยันในการวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หลังการเสื่อมสภาพแล้ว โดยผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาในงานวิจัย
2. การสำรวจสภาพและการเก็บข้อมูล
3. การเลือกและเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์
4. การวิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์
5. การผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ และการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

6. การอนุรักษ์เบื้องต้น

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษางานวิจัย

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจและการเก็บข้อมูล

1.1.1 กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล

1.1.2 แบบบันทึกหลักฐาน การสำรวจสภาพเอกสารโบราณเบื้องต้น

1.1.3 สมุดบันทึกข้อมูล และเครื่องเขียน

1.1.4 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (รุ่น SK-L200THIIα)

1.1.5 เครื่องวัดแสง (Lux Light Meter CEM รุ่น DT-1309)

1.1.6 เครื่องวัดแสงยูวี (Ultraviolet UV Meter Total UV5.7)

1.1.7 สายวัด

1.1.8 ถุงมือยาง

1.1.9 ผ้าปิดปาก

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง

1.2.1 กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล

1.2.2 สมุดบันทึกข้อมูล และเครื่องเขียน

1.2.3 สำลีและสำลีพันก้าน

1.2.4 มีดผ่าตัด

1.2.5 ผ้าปิดปาก

1.2.6 ถุงมือยาง

1.2.7 ถุงพลาสติดซิปล็อค

1.2.8 เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 99.8%

1.2.9 ปากคีบ (Forceps)

1.3 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองผลิตกระดาษเลียนแบบวิธีโบราณ

1.3.1 สารเคมี

1.3.1.1 แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

1.3.1.2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

1.3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1.3.2 อุปกรณ์

1.3.2.1 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) 1000 ml.

1.3.2.2 บีกเกอร์ (Beaker)

1.3.2.3 ที่จับบิวเรต (Burette Clamp)

1.3.2.4 ขาตั้ง (Stand)

1.3.2.5 เครื่องควบแน่น (Condenser)

1.3.2.6 ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)

1.3.2.7 แท่งแก้วคนสาร (Glass rod)

1.3.2.8 เครื่องกวนสารที่มีแม่เหล็ก (Hotplate Stirrer)

1.3.2.9 แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)

1.3.2.10 ช้อนตักสารและไม้พาย (Spatula)

1.3.2.11 เครื่องชั่ง (Balance)

1.3.2.12 โถดูดความชื้น (Desiccator)

1.3.2.13 ซิลิกาเจล (Silica Gel)

1.3.2.14 ปากคีบ (Forceps)

1.3.2.15 ตู้อบความร้อน MEMMERT รุ่น UN110

1.3.2.16 กระดาษทดสอบ pH วัดค่ากรด ด่าง

1.3.2.17 น้ำกลั่น

1.3.2.18 ครกหินและสาก

1.3.2.19 ที่ร่อนแป้ง

1.3.2.20 ถาดและกะละมัง

1.3.2.21 ผ้าตะข่าย

1.3.2.22 สะดึงพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

1.3.2.23 แผ่นกระจกใส

1.4 เครื่องที่ใช้วิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

1.4.1 วิเคราะห์กระดาษ

1.4.1.1 เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectrometer (ATR-FTIR) บริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum 100 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

รูปที่ 3.1 เครื่อง Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectrometer (ATR-FTIR)

1.4.1.2 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) บริษัท Rigaku รุ่น Miniflexll ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

รูปที่ 3.2 เครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

1.4.1.3 เครื่อง Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) รุ่น JSM-6480LV (JEOL)–Oxford instruments ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 เครื่อง Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)

1.4.1.4 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ Perkin Elmer (Pyris 1 TGA) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

รูปที่ 3.4 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

1.4.2 วิเคราะห์สี

1.4.2.1 เครื่อง Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF) สถานีวิจัยแสง 6b (Beam line 6b : BL6b) สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน)

รูปที่ 3.5 เครื่อง Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF)

1.5 อุปกรณ์สำหรับการแปลข้อมูล

1.5.1 คอมพิวเตอร์ PC หรือ Notebook

1.5.2 ซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4

2. การสำรวจสภาพ และการเก็บข้อมูล

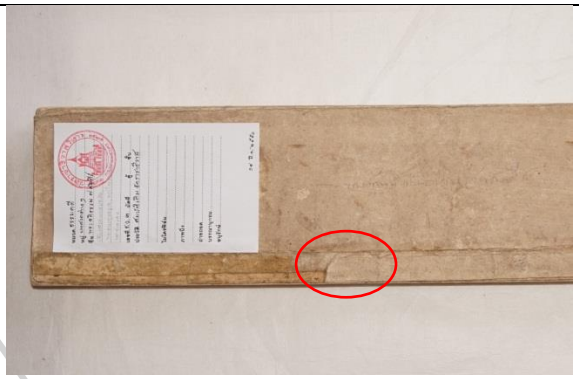
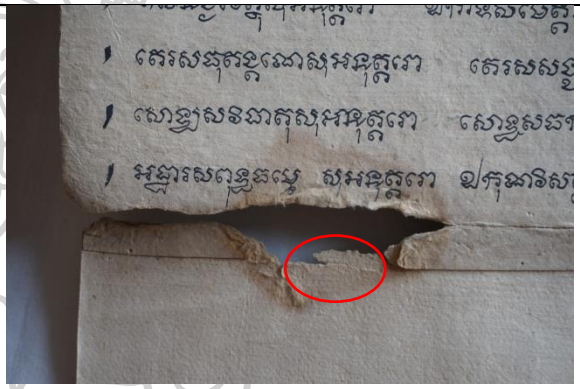
การสำรวจสภาพแวดล้อมและสภาพหนังสือสมุดไทยขาวที่มีภาพเขียนสีบนกระดาษ (พระมาลัย) จำนวน 1 เล่ม เลขทะเบียน ร.ว.3 ที่จัดแสดงอยู่ภายในอาคารพิพิธภัณฑ์มหาราชานุสรณ์ รัชกาลที่ 4 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร และเก็บข้อมูลทางประวัติศาสตร์จากการบอกเล่าของพระครูสิริกวีวัฒน์ ผู้ดูแลวัตถุภายในพิพิธภัณฑ์ ด้วยการถ่ายภาพ การจดบันทึกลงในแบบบันทึกหลักฐาน การสำรวจสภาพเอกสารโบราณ โดยอ้างอิงแบบบันทึกจากแบบกรอกข้อความการสำรวจสภาพเบื้องต้นหนังสือ สิ่งพิมพ์และเอกสารโบราณ ของหอสมุดแห่งชาติ [14] และแบบบันทึกการเขียนรายละเอียดก่อนการอนุรักษ์ ของ American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (AIC) [19] ดังภาคผนวก ก

3. การเลือกและเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

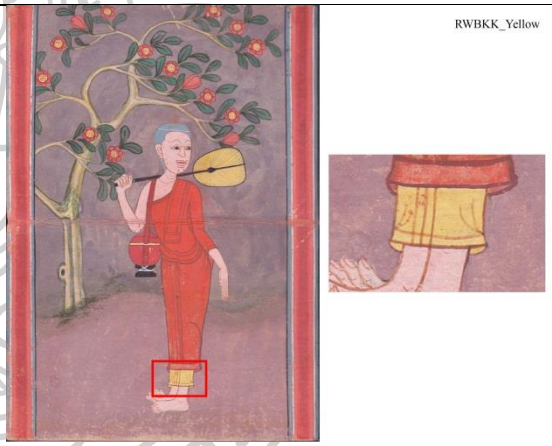
การเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินสภาพและเลือกเก็บตัวอย่างบริเวณที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงาน เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพของเส้นใยและองค์ประกอบสีที่พบในหนังสือสมุดไทย โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างกระดาษจำนวน 3 ตัวอย่าง และตัวอย่างสีจำนวน 12 สี โดยเลือกเก็บตัวอย่างกระดาษที่มีการเสื่อมสภาพ ซึ่งใช้วิธีการดึงให้ได้ขนาด 1X1 เซนติเมตร และเลือกเก็บตัวอย่างสีหลักที่พบในหนังสือสมุดไทย โดยใช้ปลายมีดผ่าตัดช่วยสะกิดสี และใช้สำลีพันก้านป้ายบริเวณสี รูปที่ 3.6

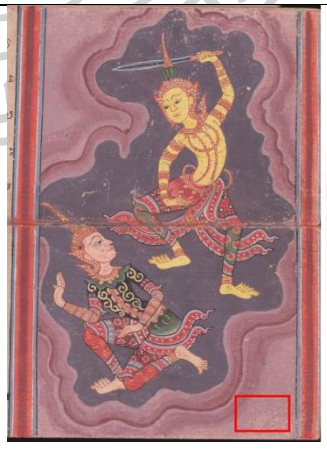
รูปที่ 3.6 การเก็บตัวอย่างสีบนหนังสือสมุดไทย

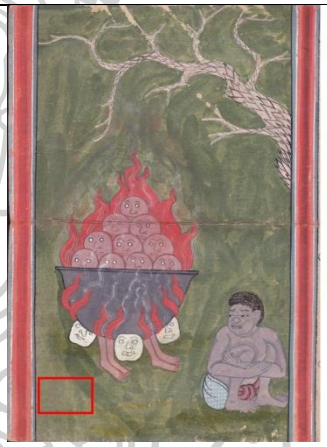
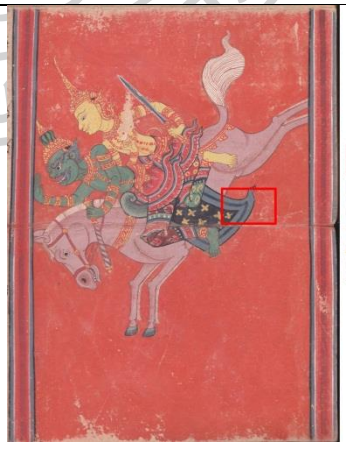
ตารางที่ 3.1 บริเวณที่เลือกเก็บตัวอย่างกระดาษจากหนังสือสมุดไทย

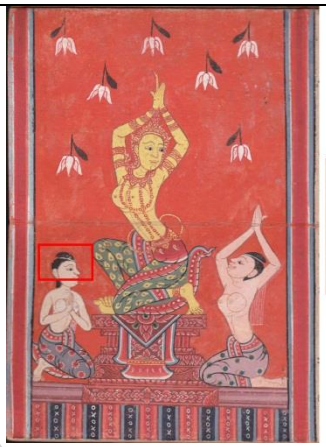
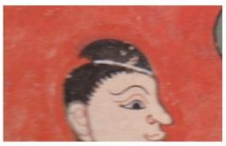
ที่	หมายเลข	รายละเอียด	รูปภาพ
1.	RW3-A	กระดาษบริเวณที่ชำรุด ส่วนปกด้านบน	
2.	RW3-B	กระดาษบริเวณจุดที่พบคราบน้ำและมีร่องรอยการขาด	
3.	RW3-C	กระดาษบริเวณที่ชำรุด ส่วนปกหลัง	

ตารางที่ 3.2 บริเวณที่เลือกเก็บตัวอย่างสี

ลำดับที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
1.	RWBKK_Red	สีแดง	
2.	RWBKK_Yellow	สีเหลือง	
3.	RWBKK_Blue	สีฟ้า	

ลำดับที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
4.	RWBKK_Orange	สีส้ม	RWBKK_Orange
5.	RWBKK_Pink	สีชมพู	RWBKK_Pink
6.	RWBKK_Purple	สีม่วง	 RWBKK_Purple

ลำดับที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
7.	RWBKK_White	สีขาว	RWBKK_White
8.	RWBKK_Green	สีเขียว	 RWBKK_Green
9.	RWBKK_Gray	สีเทา	 RWBKK_Gray

ลำดับที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
10.	RWBKK_Black	สีดำ	 RWBKK_Black 
11.	RWBKK_Beige	สีเนื้อ	RWBKK_Beige
12.	RWBKK_Gold	สีทอง	RWBKK_Gold

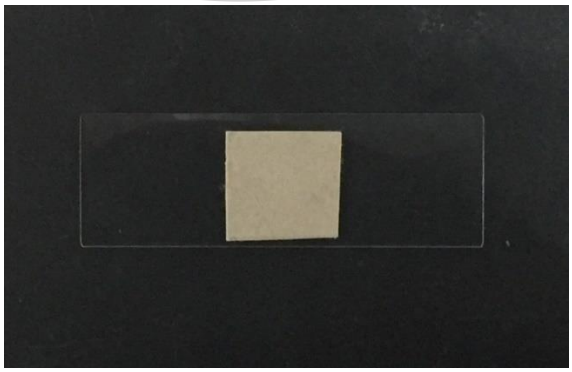
4. การวิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.1 วิเคราะห์ชนิดของธาตุประกอบที่พบบนเส้นใยกระดาษ

4.1.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยนำตัวอย่างกระดาษขนาด 1x1 เซนติเมตร ทั้ง 3 ตัวอย่าง วิเคราะห์เส้นใยในช่วงเลขคลื่น 450-4000 cm^{-1} การแยกชัด 4 cm^{-1}

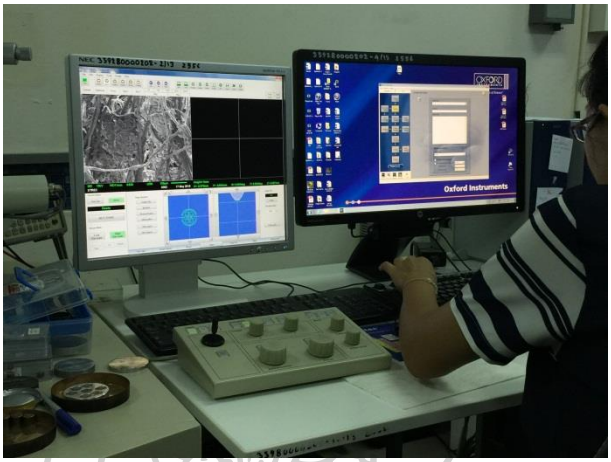
รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR

4.1.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD โดยนำตัวอย่างกระดาษเดิมจาก 4.1.1 มาวางเป็นแผ่นให้ผิวหน้าของตัวอย่างเรียบสม่ำเสมอกัน ดังภาพที่ 3.23 ทำการศึกษามุมตกกระทบของแหล่งกำเนิดกับตัวอย่างที่ 2θ ในช่วง 5-80 องศา ด้วยอัตราเร็ว 4องศา ต่อนาที สเปกตรัมที่ได้เป็นการพล๊อตระหว่างค่า Intensity (Cps.) ในแกน Y และค่ามุม (deg.) ในแกน X



รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ตัวอย่างกระดาษวางเป็นแผ่นให้ผิวหน้าของตัวอย่างเรียบสม่ำเสมอกัน

4.1.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX โดยตัดกระดาษให้ได้ขนาด 0.2x0.2 เซนติเมตร ทั้ง 3 ตัวอย่าง เก็บใส่ภาชนะที่มีซิลิก้าเจลเพื่อดูดความชื้น นำตัวอย่างติดบนแท่น จากนั้นนำไปอบเพื่อให้สารแห้งสนิทและทำการฉาบด้วยทองคำ จึงนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนฯ SEM 5-15 kV กำลังขยาย 200-1,000 เท่า



รูปที่ 3.9 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX

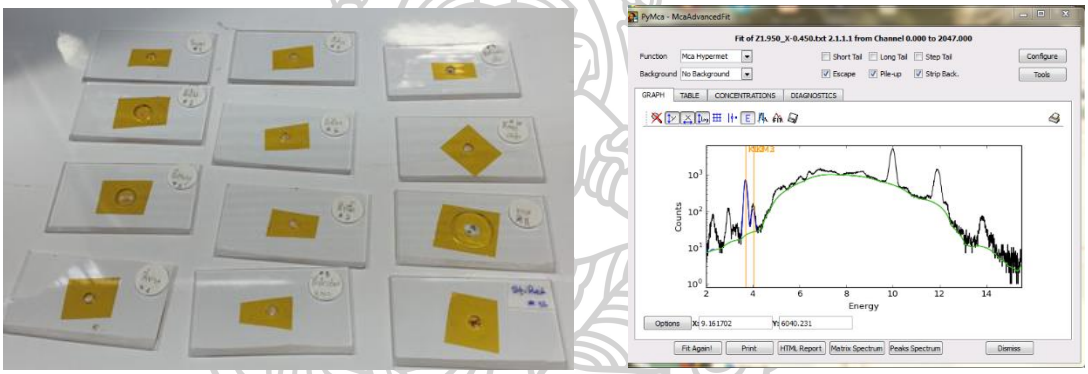
4.1.4 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA โดยใช้ตัวอย่างกระดาษน้ำหนัก 0.003 กรัม ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน เมื่อให้อุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

รูปที่ 3.10 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA

4.2 วิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของสีที่พบบนหนังสือสมุดไทย

4.2.1 เทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF)

ตัดสำลีบริเวณที่ป้ายสี นำไปติดลงบนแผ่นอะคริลิคเจาะรูด้วยแคปตอนเทป (Kapton Tape) โดยพยายามติดให้เป็นแนวระนาบ รูปที่ 3.26 (ก) และนำไปใส่ใน Object Stage เพื่อทำการเลือกจุดวิเคราะห์ที่มีสีจำนวน 3 จุด ผ่านกล้องดิจิทัล ทำการบันทึกภาพและจุดยิง จากนั้นปลดล็อครังสีและเริ่มต้นกระบวนตามลำดับโดยออกคำสั่งผ่านซอฟต์แวร์ BL6b Interlock Control และนำผลที่ได้มาแปลผลข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4 ดังรูปที่ 3.11 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

(ก) ตัวอย่างสำลีบริเวณที่ป้ายสี

(ข) วิเคราะห์สเปกตรัมโดยใช้ซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4

5. การผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ และการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

5.1 ขั้นตอนการทดลอง

5.1.1 การเตรียมเปลือกข่อย

5.1.1.1 ตัดกิ่งออกจากลำต้น เลือกกิ่งที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 - 8 เซนติเมตร

รูปที่ 3.12 ตัดกิ่งข่อยออกจากลำต้น

5.1.1.2 ลอกเปลือกขณะที่กิ่งยังสดเพราะจะสามารถลอกออกได้ง่าย และพยายามลอกส่วนเปลือกนอกออกให้ได้มากที่สุด

รูปที่ 3.13 ลอกเปลือกข่อยขณะที่กิ่งยังสด

5.1.1.3 นำไปตากแดดให้แห้งสนิท

รูปที่ 3.14 เปลือกข่อยที่นำไปตากแดดให้แห้งสนิท

5.1.2 การเตรียมเยื่อข่อยสำหรับทำกระดาษ

<u>ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต</u>

5.1.2.1 นำเปลือกข่อยจาก 5.1.1.3 หนัก 18 กรัม แช่น้ำ 2 วัน เพื่อให้เปลือกเปื่อย ล้างเมือกที่ติดอยู่ออก แล้วฉีกให้เป็นเส้นเล็กๆ

รูปที่ 3.15 เปลือกข่อยหลังแช่น้ำ 2 วัน และฉีกให้เป็นเส้นเล็กๆ

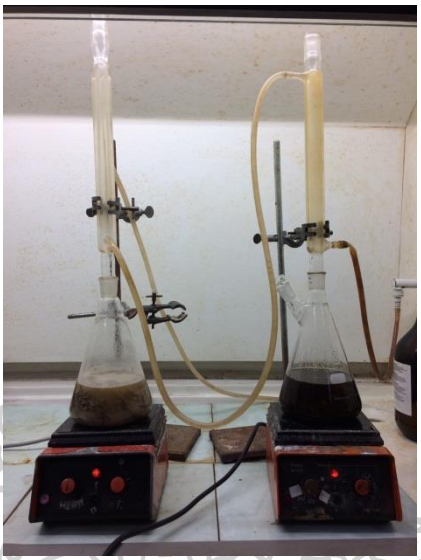
5.1.2.2 ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 50 กรัม (0.5 โมล) ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวย

รูปที่ 3.16 ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำกลั่น

5.1.2.3 นำเปลือกข่อยจากข้อ 5.1.2.1 หนัก 60 กรัม ใส่ลงในขวดรูปกรวย ข้อ 5.1.2.2

รูปที่ 3.17 เปลือกข่อยที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

5.1.2.4 ต้มให้สารละลายเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.18 ต้มเปลือกข่อย

5.1.2.5 จากนั้นนำเปลือกขึ้นจากน้ำต่าง แล้วล้างเปลือกข่อยจนน้ำล้างเป็นกลาง แล้วนำมาตำจนเยื่อละเอียดทั่วกัน จะเห็นว่ามีลิกนินบางส่วนหลุดออกจากเยื่อ ล้างเยื่อด้วยน้ำจนสะอาด จะได้เยื่อที่พร้อมขึ้นรูปเป็นกระดาษ

<u>ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์</u>

ทำการทดลองเลียนแบบ 5.1.2.1-5.1.2.5 แต่เปลี่ยนใช้แคลเซียม-ไฮดรอกไซด์หนัก 37 กรัม ในข้อ 5.1.2.2

<u>ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์</u>

ทำการทดลองเลียนแบบ 5.1.2.1-5.1.2.5 แต่เปลี่ยนใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์หนัก 20 กรัม ในข้อ 5.1.2.2

5.1.3 การทำกระดาษข่อย

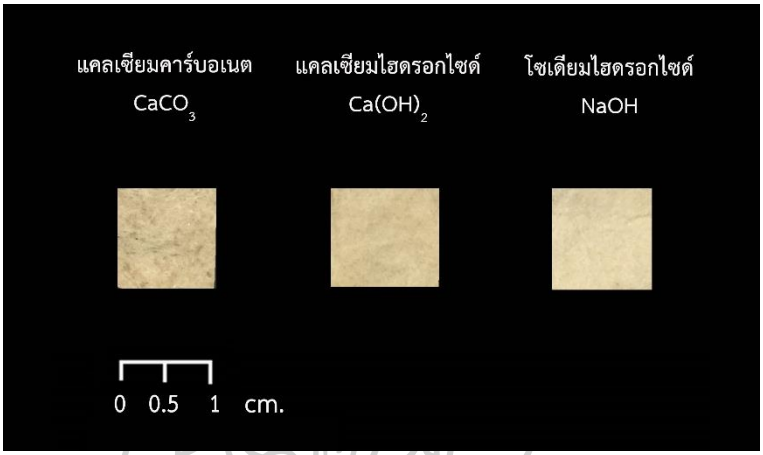
นำเยื่อที่ได้จากข้อ 5.1.2.5 มาผสมกับน้ำ 2.4 ลิตร มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.34 แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.35

รูปที่ 3.19 ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ

รูปที่ 3.20 อบกระดาษข่อย

5.2 วิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

5.2.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR โดยใช้ตัวอย่างกระดาษที่ได้จากการทดลอง ทั้ง 3 ตัวอย่าง และเปลือกข่อยขนาด 1x1 เซนติเมตร วิเคราะห์เส้นใยในช่วงเลขคลื่น 450-4000 cm^{-1} การแยกชัด 4 cm^{-1}



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างกระดาษข่อยใหม่ ขนาด 1x1 เซนติเมตร

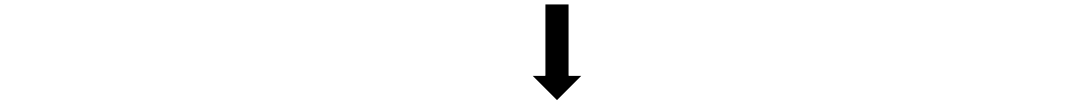
5.2.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD โดยนำตัวอย่างกระดาษเดิมจาก 5.2.1 มาวางเป็นแผ่นให้ผิวหน้าของตัวอย่างเรียบสม่ำเสมอกัน ทำการศึกษามุมตกกระทบของแหล่งกำเนิดกับตัวอย่างที่ 2θ ในช่วง 5-80 องศา ด้วยอัตราเร็ว 4 องศาต่อนาที สเปกตรัมที่ได้เป็นการพล็อตระหว่างค่า Intensity (Cps.) ในแกน Y และค่ามุม (deg.) ในแกน X

5.2.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDS โดยตัดกระดาษให้ได้ขนาด 0.2x0.2 เซนติเมตร ทั้ง 3 ตัวอย่าง เก็บใส่ภาชนะที่มีซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้น นำตัวอย่างติดบนแท่น จากนั้นนำไปอบเพื่อให้สารแห้งสนิทและทำการฉาบด้วยทองคำ จึงนำเข้าเครื่องวิเคราะห์ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนฯ SEM 5-15 kV กำลังขยาย 200-1,000 เท่า

5.2.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA โดยใช้ตัวอย่างกระดาษน้ำหนัก 0.003 กรัม ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน เมื่อให้อุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

6. ขั้นตอนการอนุรักษ์เบื้องต้น

นำสมุดไทยมาคั่นหน้าด้วยกระดาษสาแบบบาง ในหน้าที่มีการเขียนงานจิตรกรรมเพื่อป้องกันไม่ให้สีเลอะเปื้อน



นำไปใส่ในถุงพอลิเอทิลีน (Polyethylene) และวางไว้ที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส

นำไปทำความสะอาดแบบแห้ง (Dry Cleaning) โดยการใช้แปรงขนอ่อนปัดฝุ่น

จัดทำกล่องสำหรับใส่หนังสือสมุดไทย โดยใช้กระดาษไร้กรด ตามภาคผนวก ก

ห่อหนังสือสมุดไทยด้วยกระดาษไร้กรด และจัดเก็บไว้ภายในกล่อง

ทำการซ่อมหนังสือสมุดไทยโดยการเลือกจุดที่ไม่มีสีหรือตัวอักษรบนกระดาษ และเลือกใช้กระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณในการซ่อม ดังภาคผนวก ก

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม การดูแลรักษาสภาพหนังสือสมุดไทย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ และการทดลองผลิตกระดาษเลียนแบบวิธีโบราณ ดังนี้

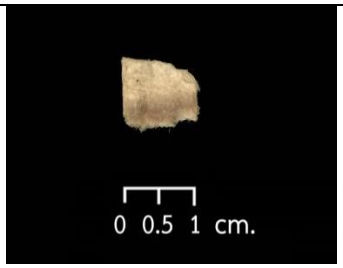
1. ข้อมูลการสำรวจสภาพ และการเก็บข้อมูล

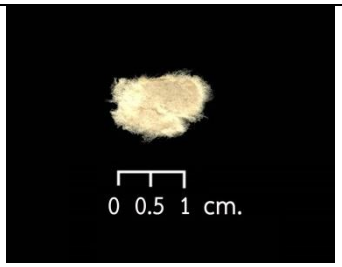
จากการสำรวจสภาพหนังสือสมุดไทย สภาพแวดล้อม และการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นจากพระครูสิริกวีวัฒน์ [21] ทำให้ได้ข้อมูลและภาพถ่ายหนังสือสมุดไทยบริเวณที่ได้รับความเสียหาย และได้บันทึกข้อมูลต่างๆลงใน แบบบันทึกหลักฐาน การสำรวจสภาพเอกสารโบราณ ดังภาคผนวก ก

2. ตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

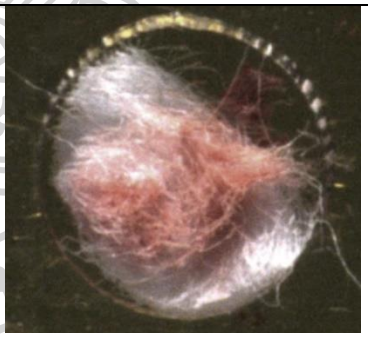
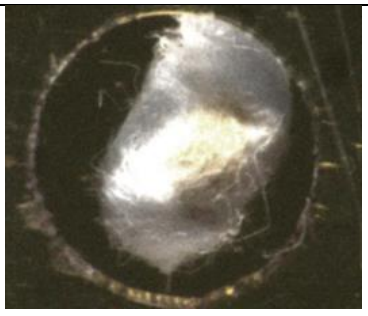
จากการสำรวจและการเลือกบริเวณที่มีความเป็นไปได้ในการเก็บตัวอย่างกระดาษและสีที่พบในหนังสือสมุดไทย จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างกระดาษ จำนวน 3 ชิ้น ดังปรากฏในตารางที่ 4.1 และทำการเก็บตัวอย่างสีเพื่อการวิเคราะห์ จำนวน 12 สี ดังปรากฏในตารางที่ 4.2

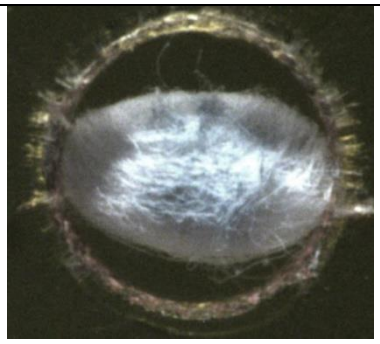
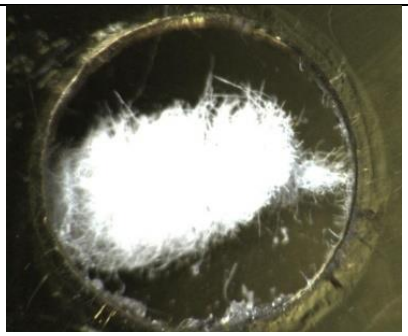
ตารางที่ 4.1 กระดาษที่ใช้ในการศึกษา

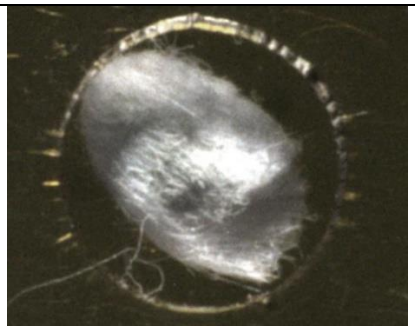
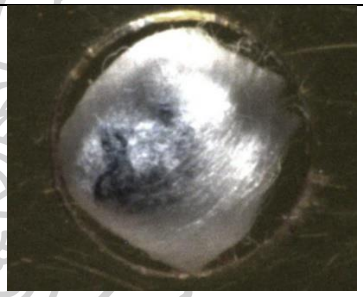
ลำดับที่	หมายเลข	รายละเอียด	ขนาด)เซนติเมตร(	รูปภาพ
1.	RW3-A	กระดาษบริเวณที่ชำรุดส่วนปกด้านบน	1x1	

ลำดับที่	หมายเลข	รายละเอียด	ขนาด)เซนติเมตร(	รูปภาพ
2.	RW3-B	กระดาษบริเวณจุดที่พบคราบน้ำและมีร่องรอยการขาด	1x1	
3.	RW3-C	กระดาษบริเวณที่ชำรุดส่วนปกหลัง	1x1	

ตารางที่ 4.2 สีบนสำลีที่ใช้ในการศึกษา รูปจากกล้องดิจิทัลกำลังขยายสูง 10 เท่า

ที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
1.	RWBKK_Red	สีแดง	
2.	RWBKK_Yellow	สีเหลือง	

ที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
3.	RWBKK_Blue	สีฟ้า	
4.	RWBKK_Orange	สีส้ม	
5.	RWBKK_Pink	สีชมพู	
6.	RWBKK_Purple	สีม่วง	
7.	RWBKK_White	สีขาว	

ที่	หมายเลข	สี	รูปภาพ
8.	RWBKK_Green	สีเขียว	
9.	RWBKK_Gray	สีเทา	
10.	RWBKK_Black	สีดำ	
11.	RWBKK_Beige	สีเนื้อ	
12.	RWBKK_Gold	สีทอง	

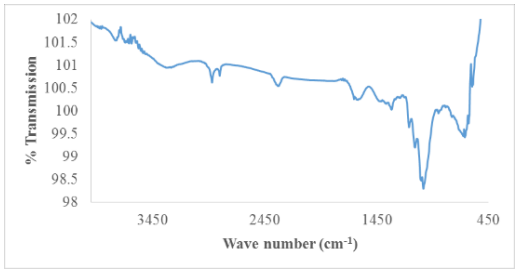
3. ผลการวิเคราะห์หนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ชนิดและหมู่ฟังก์ชั่น การวิเคราะห์ความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของเส้นใย ลักษณะพื้นผิวของเส้นใย และน้ำหนักที่หายไปของสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคทางสเปคโตรสโคปีต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของกระดาษ ดังนี้

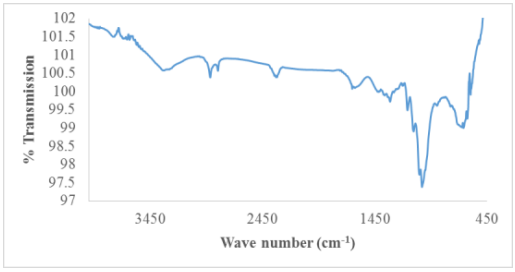
3.1. ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของกระดาษ

3.1.1 เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

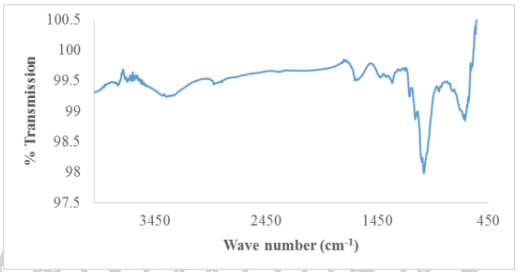
เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในเส้นใยกระดาษ โดยสเปกตรัมของตัวอย่างRW3-A, RW3-B และ RW3-C แสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าตัวอย่างทั้งสามปรากฏพีคที่ตำแหน่งคล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งของพีคจะสัมพันธ์กับหมู่ฟังก์ชันและรูปแบบการสั่นดังข้อมูลในตารางที่ 4.3 [25] จากข้อมูลในตารางพบพีคที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส สำหรับหมู่ CO_3^{2-} (มาจาก $CaCO_3$ ที่เป็นสารรองพื้นกระดาษข่อย) ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง ~1400 cm^{-1} ซึ่งจะอยู่ในช่วงเดียวกับการงอของพันธะ C-H ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุพีคของ CO_3^{2-} ได้อย่างแน่นอน ต้องใช้เทคนิคอื่นในการวิเคราะห์ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป ทำการขยายสเปกตรัมในช่วง 1900-1200 cm^{-1} ดังรูปที่ 4.2 แล้วพิจารณาพีคที่เกี่ยวข้องกับการงอของพันธะ C-H (1420–1424 และ 1372 cm^{-1}) [25, 54] พบว่าตัวอย่าง RW3-A, RW3-B และ RW3-C จะมีความเข้มของพีคนี้ต่ำกว่าตัวอย่างข่อยใหม่ ซึ่งเป็นหลักฐานหนึ่งที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของเส้นใยในกระดาษโบราณ [55, 56]



(ก)



(ข)



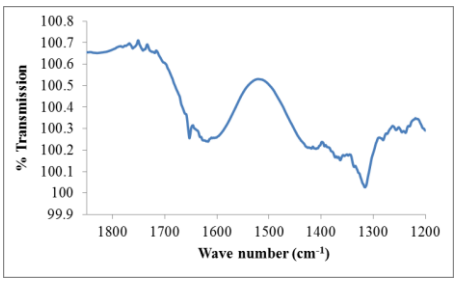
(ค)

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมอินฟราเรดของ

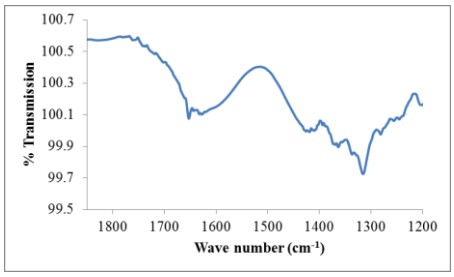
(ก) RW3-A (ข) RW3-B (ค) RW3-C

ตารางที่ 4.3 ความถี่และชนิดของการสั่นของพันธะในหมู่ฟังก์ชันต่างๆในตัวอย่างกระดาษโบราณ

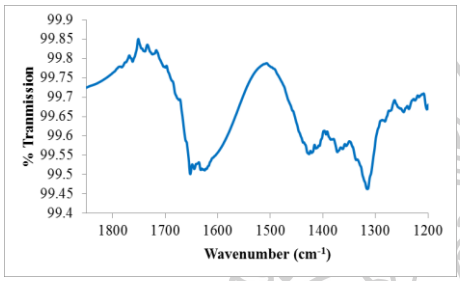
ความถี่ของการสั่น (cm^{-1})	**ชนิดของการสั่นของพันธะ**
3650-3100	การยืด-หดของพันธะ O-H (ν_{OH})
3000-2850	การยืด-หดของพันธะ C-H (ν_{CH})
~1640	การงอของพันธะ O-H (δ_{OH})
1420-1300	การงอของพันธะ C-H (δ_{CH})
~1100	การยืด-หดของพันธะ C-O-C ของ β-glucosidic ($\nu_{C\text{-}O\text{-}C}$)
~910	การงอของพันธะ C-O และ C-C ($\delta_{CO,\ CC}$)



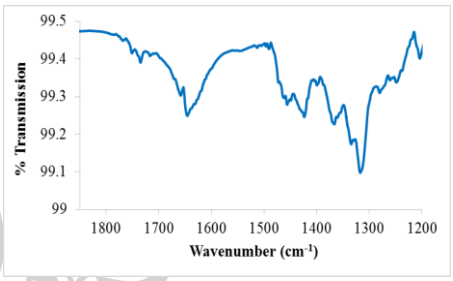
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.2 สเปกตรัมอินฟาเรด (ขยายช่วง 1200-1850 cm^{-1}) ของ

(ก) RW3-A (ข) RW3-B

(ค) RW3-C (ง) กระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.2 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

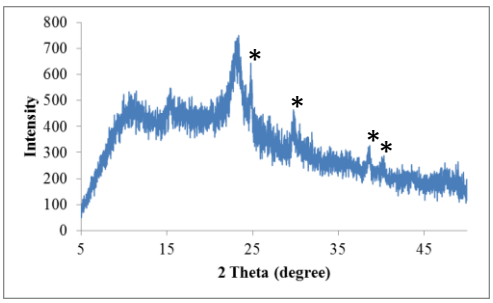
เทคนิคนี้ใช้ในการวัดความเป็นผลึกหรือความเป็นระเบียบของเส้นใยของเซลลูโลสดัง diffractogram ในรูปที่ 4.3 โดยแสดงพีคที่เป็นลักษณะจำเพาะของเซลลูโลสที่ระนาบ $1\bar{1}0$ ที่ 2θ ช่วง 9.9–10.6 องศา [57] สำหรับพีคของเซลลูโลสส่วนที่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (amorphous region) จะปรากฏที่ 2θ ช่วง 15-16 องศา [58] และพีคของเซลลูโลสส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (crystalline region) จะปรากฏที่ 2θ ช่วง 22-23 องศา [59] ค่าความเป็นผลึก (CrI) ของแต่ละตัวอย่างคำนวณได้จากสูตร :

$$\mathrm{CrI} = \frac{I_{220} - I_{110}}{I_{220}} \mathrm{x}100$$

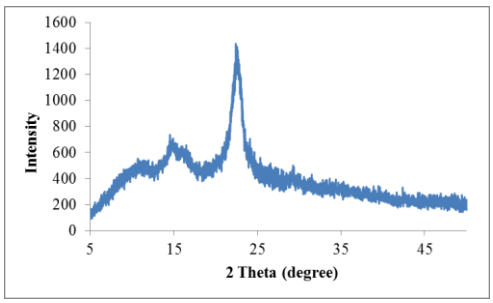
ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นผลึกของ RW3-A RW3-B และ RW3-C คือ 25.0, 52.4 และ 29.0 ตามลำดับดังข้อมูลในตารางที่ 4.4 ตัวอย่าง RW3-A รูป 4.32 (ก) และ RW3-C รูป 4.3 (ค) นอกจากปรากฏพีคของเซลลูโลสแล้วยังพบพีคของ $CaCO_3$ (เครื่องหมาย *) ซึ่งในสมัยโบราณ $CaCO_3$ ถูกใช้เป็นสารรองพื้นกระดาษข่อยก่อนจะลงสีเพื่อเขียนภาพ ตัวอย่าง RW3-B เป็นกระดาษบริเวณจุดที่พบคราบน้ำ น้ำช่วยกำจัด $CaCO_3$ จากพื้นผิวกระดาษซึ่งอาจส่งผลให้พีคที่ตำแหน่ง 2θ ช่วง 22-23 องศา มีความเข้มมากขึ้น ทำให้ค่าความเป็นผลึกของ RW3-B สูงกว่าของตัวอย่าง RW3-A และ RW3-C แต่พบว่าค่าความเป็นผลึกของ RW3-B มีค่าน้อยกว่ากระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งคำนวณค่าความเป็นผลึกได้ 55.53 (ดูตารางที่ 4.11 ในหัวข้อผลการวิเคราะห์กระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์) ซึ่งเป็นหลักฐานช่วยยืนยันการเสื่อมสภาพของเส้นใยเซลลูโลสในหนังสือสมุดไทย

ตารางที่ 4.4 ความเป็นผลึกของตัวอย่างกระดาษ

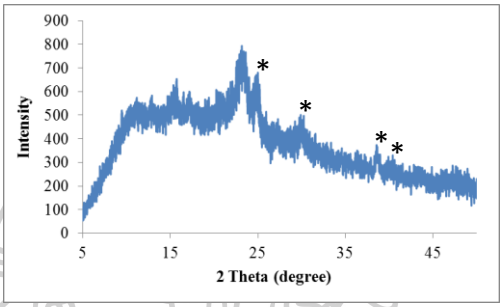
กระดาษที่ผ่านการสกัดด้วย	**ความเป็นผลึก (%)**
RW3-A	25.0
RW3-B	52.4
RW3-C	29.0



(ก)



(ข)



(ค)

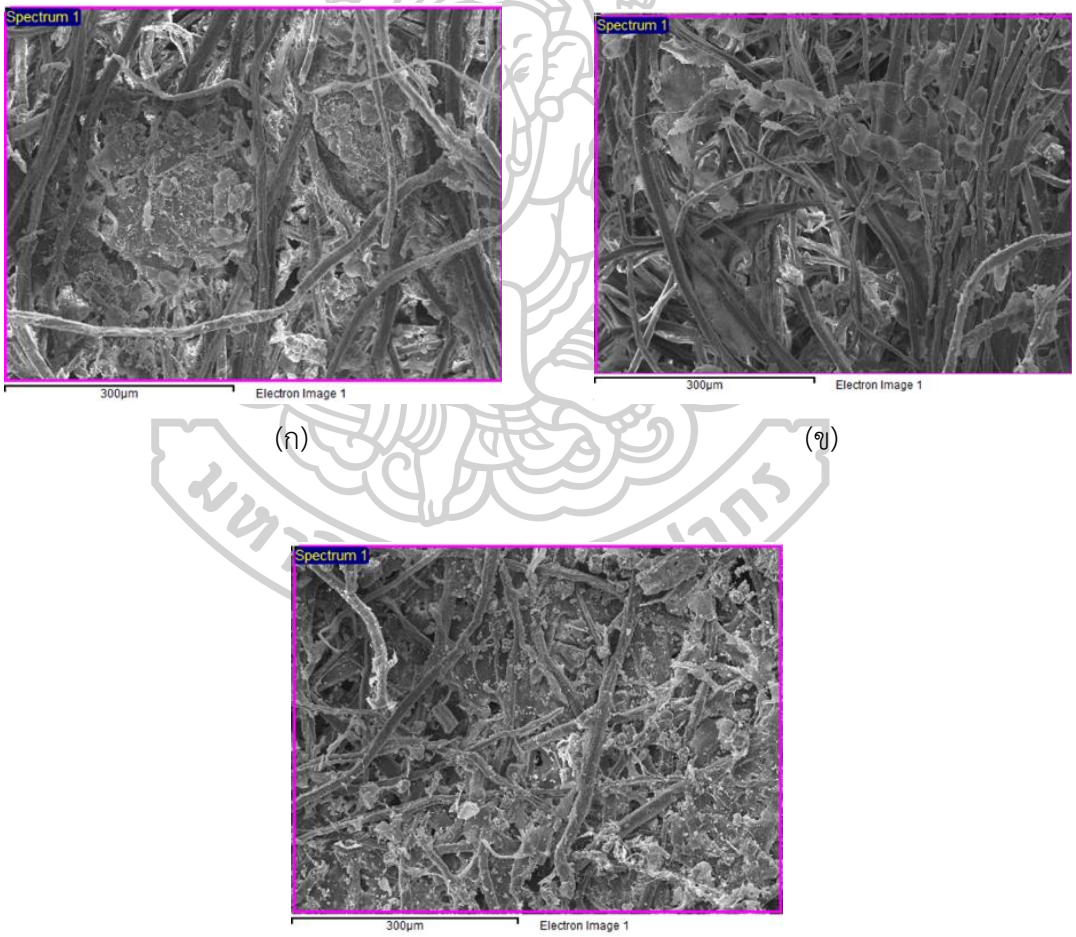
รูปที่ 4.3 สเปกตรัม XRD ของ

(ก) RW3-A (ข) RW3-B (ค) RW3-C

(เครื่องหมาย * แสดงตำแหน่งพีคของ $CaCO_3$) [60]

3.1.3 เทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)

ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างเส้นใยกระดาษหนังสือสมุดไทย RW3-A, RW3-B และ RW3-C ในรูปที่ 4.4 แสดงการแตกหักและการเสื่อมสภาพของเส้นใยทั้ง 3 ตัวอย่าง และพบว่าบนเส้นใยของตัวอย่าง RW3-A และ RW3-C มีอนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณ ขณะที่ตัวอย่าง RW3-B มีปริมาณอนุภาคน้อยกว่า ซึ่งอาจเกิดจากน้ำช่วยละลายอนุภาคที่ปนเปื้อนในเส้นใยของ RW3-B และเมื่อตรวจสอบด้วยด้วยเทคนิค EDS พบว่าปริมาณธาตุซิลิกอน (Si) คลอรีน (Cl) และ แคลเซียม (Ca) ใน RW3-B จะน้อยกว่าใน RW3-A และ RW3-C ดังข้อมูลในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยกระดาษหนังสือสมุดไทย

(ก) RW3-A (ข) RW3-B (ค) RW3-C

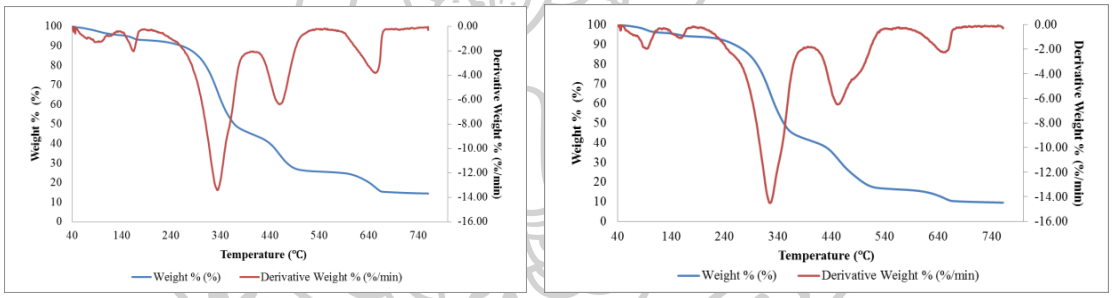
ตารางที่ 4.5 ข้อมูล EDS แสดงชนิดและปริมาณของธาตุในเส้นใยกระดาษหนังสือสมุดไทย

ธาตุ	**% โดยน้ำหนัก**		
	RW3_A	**RW3_B**	**RW3_C**
C (K_α)	42.61	48.23	44.20
O (K_α)	47.59	48.86	46.09
Na (K_α)	0.47	-	0.37
Mg (K_α)	0.31	-	-
Si (K_α)	**1.11**	**1.08**	**1.66**
S (K_α)	0.67	-	-
Cl (K_α)	**0.66**	**0.44**	**1.07**
K (K_α)	0.72	-	0.36
Ca (K_α)	**5.87**	**1.38**	**5.30**
Al (K_α)	-	-	0.32
Fe (K_α)	-	-	0.64
รวม	100	100	100

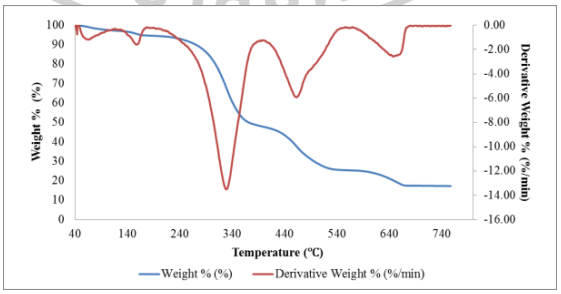
มหาวิทยาลัยศิลปากร

3.1.4 เทคนิค Thermo gravimetric Analysis (TGA)

เทคนิคนี้เป็นการให้ความร้อนกับตัวอย่างแล้ววัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงโดย Thermogram ตัวอย่างกระดาษหนังสือสมุดไทยทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงรูปที่ 4.5 และผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.6 โดยที่ขั้นตอนที่ 1และ 2 ของทุกตัวอย่างเป็นการระเหยของน้ำและของเหลวอื่นๆ ในเส้นใย สำหรับขั้นตอนที่ 3 และ 4 ซึ่งมีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด เป็นขั้นตอนที่เกิดการสลายตัวของเซลลูโลส โดยพบว่า Tp ในขั้นตอนนี้ของตัวอย่าง RW3-B มีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง RW3-A และ RW3-C ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าเส้นใยเซลลูโลสของตัวอย่าง RW3-B มีความอ่อนแอมากกว่า ความอ่อนแอนี้น่าจะมาจากปริมาณที่ลดลงของอนุภาคอนินทรีย์ในเส้นใย ขั้นตอนที่ 5 เป็นการสลายตัวของอนุภาคอนินทรีย์ ซึ่งพบว่าน้ำหนักที่หายไปในขั้นตอนนี้ของ RW3-B มีค่าน้อยที่สุด (6.17 %) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักที่หายไปทั้งหมดของตัวอย่าง RW3-B มีค่ามากที่สุด (89.80 %) ซึ่งเป็นการช่วยยืนยันปริมาณของอนุภาคอนินทรีย์ที่ลดลง



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 4.5 สเปกตรัม TGA ของ

(ก) RW3_A (ข) RW3_B (ค) RW3_C

ตารางที่ 4.6 ผล TGA ของตัวอย่างกระดาษของหนังสือสมุดไทย 3 ตัวอย่าง

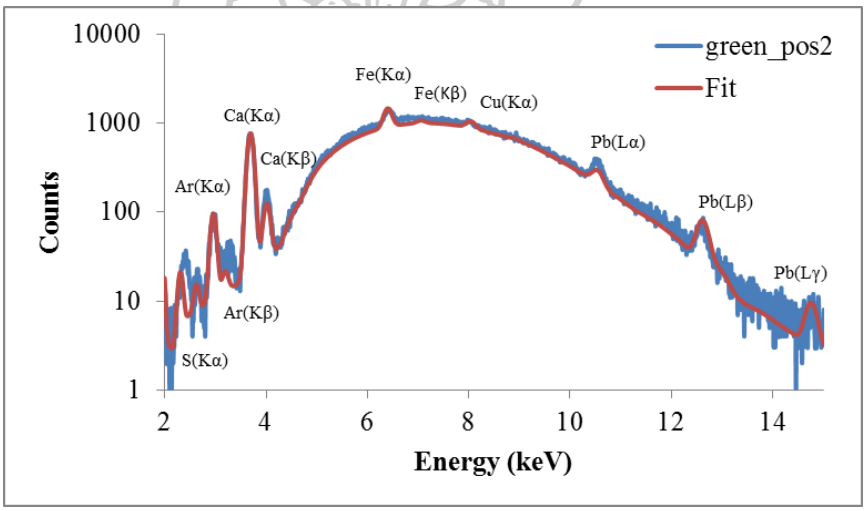
ตัวอย่าง	ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)			% น้ำหนักที่หายไป	
		เริ่ม	สุดท้าย	Tp*	แต่ละขั้น	รวม
RW3_A	1st	40.07	130.66	87.25	4.25	84.72
	2nd	130.66	186.93	164.56	2.69	
	3rd	186.93	401.95	335.78	47.91	
	4th	401.95	539.96	459.13	19.42	
	5th	539.96	674.94	654.55	10.44	
RW3_B	1st	42.5	121.06	93.91	4.05	89.80
	2nd	121.06	173.75	158.25	1.86	
	3rd	173.75	390.85	324.89	52.06	
	4th	390.85	556.41	451.2	25.66	
	5th	556.41	674.43	652.19	6.17	
RW3_C	1st	34.64	131.15	90.11	2.97	82.51
	2nd	131.15	203.79	187.77	2.60	
	3rd	203.79	403.66	328.41	46.85	
	4th	403.66	482.23	461.23	14.84	
	5th	482.23	675.57	642.27	15.25	

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

3.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสีในหนังสือสมุดไทย

3.2.1 เทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray Fluorescence (SRMXRF)

การศึกษาองค์ประกอบธาตุในตัวอย่างสีในหนังสือสมุดไทยด้วยเทคนิคไมโครเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) สถานีวิจัยแสง 6b (SRXRF) ยิงด้วยรังสีเอ็กซ์ในย่านพลังงานที่ 0-15 keV (White beam) ขนาดรังสี 30 x 30 ไมโครเมตร ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 จุด จุดละ 30 วินาที โดยมี Si Drift เป็นตัวตรวจวัด (Detector) ระยะห่างจากอุปกรณ์ตรวจวัดถึงตัวอย่างคือ 11.5 เซนติเมตร รวมเวลาศึกษาตัวอย่างละ 90 วินาที (ไม่รวม Dead time %) พบว่ามีข้อจำกัดในการแปลผลด้านสภาพแวดล้อม เนื่องจากพื้นที่ในการศึกษาไม่ใช่พื้นที่สุญญากาศ ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับอาจตรวจพบธาตุเบาที่มาจากอากาศ เช่น อาร์กอน (Ar) และเกิดเป็น peak ในสเปกตรัมที่ทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green _pos2)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ศึกษาตัวอย่างสีด้วยเทคนิคไมโครเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ ผ่านซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4 พบว่าตัวอย่างสีทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ประกอบด้วยธาตุที่เหมือนกัน 5 ชนิด ได้แก่ กำมะถัน (S), คลอรีน (Cl), แคลเซียม (Ca), เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) และธาตุที่แตกต่างกัน 12 ชนิด ได้แก่ ไทเทเนียม (Ti) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) ไอโอดีน (I)

ทอง (Au) และปรอท (Hg) ดังข้อมูลในตารางที่ 4.7 โดยข้อมูลที่ได้จาก SRMXRF ให้ชนิดของธาตุที่หลากหลายกว่า เนื่องจากแสงซินโครตรอนมีความเข้มสูงจะสามารถตรวจสอบธาตุที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างได้ และจากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสีที่ใช้ในสมัยโบราณเทียบกับข้อมูลของธาตุองค์ประกอบที่ได้จากเทคนิค SRMXRF ได้ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในหนังสือสมุดไทยดังในตารางที่ 4.9 นอกจากนี้ในสมัยโบราณการเตรียมสีสำหรับเขียนจะมีการผสมดินสอพองสำหรับเพิ่มเนื้อสี และยังใช้ดินสอพองผสมน้ำเป็นสารรองพื้นก่อนการเขียนสีบนกระดาษ ในดินสอพองมีองค์ประกอบหลักเป็น Ca จะเห็นว่าในสีทุกตัวอย่างจะพบ Ca เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Ca นี้น่าจะมาจากดินสอพองที่ใช้ผสมสีหรือเป็นสารรองพื้นกระดาษ

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลที่ศึกษาตัวอย่างสีด้วยเทคนิคไมโครเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ ผ่านซอฟต์แวร์ PyMCA Version 5.1.4

ลำดับที่	ตัวอย่าง	จุดที่	ปริมาณของธาตุ (count)																
			S	Cl	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	I	Au	Hg	Pb
1.	RWBKK_Red	1	1020	17	11779	222	3592	965	3226	5746	13271	6413	4881	8589	632	-	-	115480	1686
		2	972	2	12071	132	3307	1254	4128	9491	11095	5830	4219	7931	387	-	-	111869	777
		3	615	22	5642	177	1744	1308	1442	4088	8958	4539	2387	5193	503	-	-	73302	603
2.	RWBKK_Orange	1	931	354	9011	-	435	1441	10282	13888	14203	-	9330	-	23879	-	-	1288	24809
		2	543	247	4086	-	289	935	6528	7628	8411	-	4007	-	9692	-	-	369	8219
		3	470	239	6139	-	306	812	6574	8714	7569	-	4468	-	9599	-	-	37	8209
3.	RWBKK_Pink	1	835	258	1964	-	-	1618	-	78800	-	4065	3926	-	16122	-	-	-	16122
		2	1501	447	1479	-	-	2571	-	114432	-	7022	4318	-	20581	-	-	-	20581
		3	1218	377	2014	-	-	2351	-	94364	-	5199	3943	-	14388	-	-	-	14388
4.	RWBKK_Purple	1	484	177	5189	455	-	-	-	206459	-	-	-	-	6411	-	-	13	6577
		2	375	150	3790	326	-	-	-	154797	-	-	-	-	-	-	-	1032	6679
		3	413	166	3417	176	-	-	-	167546	-	-	-	-	5280	-	-	140	4920
5.	RWBKK_White	1	87	51	5006	806	-	-	-	19046	-	-	3501	-	1270	-	-	-	1083
		2	47	79	5210	1328	-	-	-	23012	-	-	3216	-	1307	-	-	-	1026
		3	98	42	7211	2182	-	-	-	39215	-	-	5910	-	1637	-	-	-	1051
6.	RWBKK_Green	1	156	145	11058	-	-	-	-	14513	-	-	3687	-	-	-	-	-	3127
		2	216	117	12734	-	-	-	-	12308	-	-	4016	-	-	-	-	-	4047

ลำดับที่	ตัวอย่าง	จุดที่	ปริมาณของธาตุ (count)															
			S	Cl	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	I	Au	Hg	Pb
		3	146	99	9221	-	-	-	-	11493	-	-	2947	-	-	-	-	-	2563
7.	RWBKK_Gray	1	134	99	7660	-	-	-	-	25618	-	-	25618	-	-	-	-	-	3478
		2	282	196	16348	-	-	-	-	37652	-	-	37652	-	-	-	-	-	4444
		3	339	161	21848	-	-	-	-	54953	-	-		-	-	-	-	-	5029
8.	RWBKK_Black	1	24	-	56742	-	-	-	6375	69172	-	-	-	-	-	-	-	-	1068
		2	74	-	46432	-	-	-	5598	98106	-	-	-	-	-	-	-	-	1502
		3	60	-	35543	-	-	-	6053	43268	-	-	-	-	-	-	-	-	606
9.	RWBKK_Beige*	1	147	124	4065	-	-	-	-	7380	-	-	-	-	-	-	-	-	2156
		2	280	119	3985	-	-	-	-	9430	-	-	-	-	-	-	-	-	3957
10.	RWBKK_Gold	1	129	88	346649	-	-	11985	3471	122831	5381	4675	6807	4475	-	2956	14338	-	887
		2	61	69	141235	605	-	7106	3629	21593	8986	5498	7011	4211	-	-	18857	622	1060
		3	42	88	233761	1336	-	7561	6208	38256	5434	9030	7410	4843	-	-	16165	762	998

*RWBKK_Yellow, RWBKK_Blue และ RWBKK_Beige จุดที่ 3 ไม่ปรากฏสเปกตรัม

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลการศึกษา XRF ของสีในหนังสือสมุดไทย [22]

ลำดับที่	**ตัวอย่าง**	ธาตุที่พบในสีที่ใช้ในหนังสือสมุดไทย
1.	RWBKK_Red	S, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Hg, Pb
2.	RWBKK_Yellow	-
3.	RWBKK_Blue	-
4.	RWBKK_Orange	S, Cl, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Hg, Pb
5.	RWBKK_Pink	S, Cl, Ca, Cr, Fe, Ni, Cu, As, Hg, Pb
6.	RWBKK_Purple	S, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, I, Au, Hg, Pb
7.	RWBKK_White	S, Cl, Ca, Ti, Fe, Cu, As, Hg, Pb
8.	RWBKK_Green	S, Cl, Ca, Fe, Cu, Pb
9.	RWBKK_Gray	S, Cl, Ca, Fe, Cu, Pb
10.	RWBKK_Black	S, Ca, Mn, Fe, Pb
11.	RWBKK_Beige	S, Cl, Ca, Fe, Pb
12.	RWBKK_Gold	S, Cl, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, I, Au, Hg, Pb

ตารางที่ 4.9 ชนิดของสารประกอบที่ทำให้เกิดสีที่ใช้ในหนังสือสมุดไทย

ลำดับที่	ตัวอย่าง	สารประกอบที่ทำให้เกิดสี [57]
1.	RWBKK_Red	Vermilion (HgS)
4.	RWBKK_Orange	Red lead (Pb_3O_4) + Orpiment (As_2S_3)
5.	RWBKK_Pink	Vermilion (HgS) + Lead white ($2(PbCO_3).Pb(OH)_2$)
6.	RWBKK_Purple	-
7.	RWBKK_White	Lead white ($2(PbCO_3).Pb(OH)_2$)
8.	RWBKK_Green	Verdigris ($Cu(OH)_2.(CH_3COO)_2.\ 5H_2O$)
9.	RWBKK_Gray	เขม่า (C) + Lead white ($2(PbCO_3).Pb(OH)_2$)
10.	RWBKK_Black	Carbon (C)
11.	RWBKK_Beige	Hematite (Fe_2O_3) + Lead white ($2(PbCO_3).Pb(OH)_2$)
12.	RWBKK_Gold	Gold (Au)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

4. ผลการผลิตกระดาษข่อยเลียนแบบวิธีโบราณ และผลการวิเคราะห์กระดาษข่อยด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.1 ผลการผลิตกระดาษข่อยและการขึ้นรูปกระดาษ

เปลือกข่อยที่ผ่านการลอกเปลือกนอกออกมีลักษณะดังรูปที่ 4.7 (ก) หลังจากนำเปลือกข่อยไปตากแห้งจะได้เส้นใยสีน้ำตาลอ่อนดังรูปที่ 4.7 (ข) หลังจากนำเปลือกข่อยไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน เปลือกจะนุ่มขึ้นดังรูปที่ 4.7 (ค) นำเปลือกที่นุ่มขึ้นนี้ไปสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถสกัดเอาลิกนินออกได้ดีที่สุดโดยดูจากสีของน้ำสกัดที่มีสีน้ำตาลเข้มรูปที่ 4.8

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.7 เปลือกข่อย

(ก) ตอนเก็บ (ข) ตอนแห้ง (ค) แช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.8 ลักษณะของน้ำหลังจากการสกัดด้วย

(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

นำเยื่อข่อยหลังจากผ่านการสกัดด้วยเบส รูปที่ 4.9 มาตำให้เยื่อละเอียด รูปที่ 4.10 จากนั้นนำเยื่อผสมกับน้ำแล้วขึ้นรูปกระดาษบนตะแกรง แล้วอบแผ่นกระดาษที่อุณหภูมิ 60 ºC เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้แผ่นกระดาษที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.11 พบว่าแผ่นกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านการสกัดด้วย NaOH มีสีอ่อนที่สุด และเยื่อจะดูละเอียดที่สุด

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.9 ลักษณะของเยื่อข่อยหลังจากการสกัดด้วย

(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.10 ลักษณะของเยื่อข่อยหลังจากการสกัดและตำ

(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) (ข) (ค)

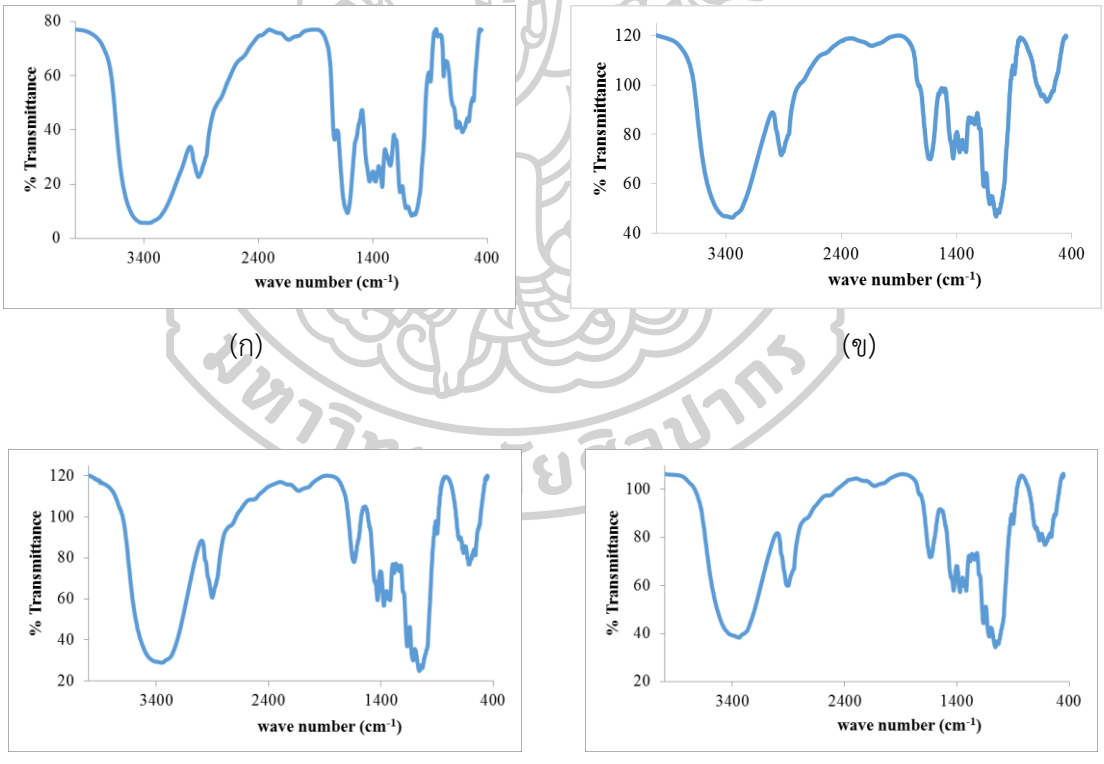
รูปที่ 4.11 กระดาษข่อยที่ได้จากการผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ

(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.2 ผลการวิเคราะห์กระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.2.1 เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)

เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสชนิดต่างๆ สเปกตรัมอินฟาเรดของเส้นใยข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสแสดงในรูปที่ 4.12 และผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเป็นดังตารางที่ 4.10 [61] จะเห็นว่าเส้นใยก่อนการสกัดด้วยเบสปรากฏพีค C=O ของลิกนินที่และเฮมิเซลลูโลส 1733 และ 1522 cm^{-1} รูปที่ 4.13 (ก) ส่วนเส้นใยหลังการสกัดด้วย $CaCO_3$ ยังปรากฏสัญญาณที่ 1743 และ 1522 cm^{-1} รูปที่ 4.13 (ข) ซึ่งเป็นพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ในขณะที่เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วย $Ca(OH)_2$ และ NaOH ไม่ปรากฏสัญญาณของของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส



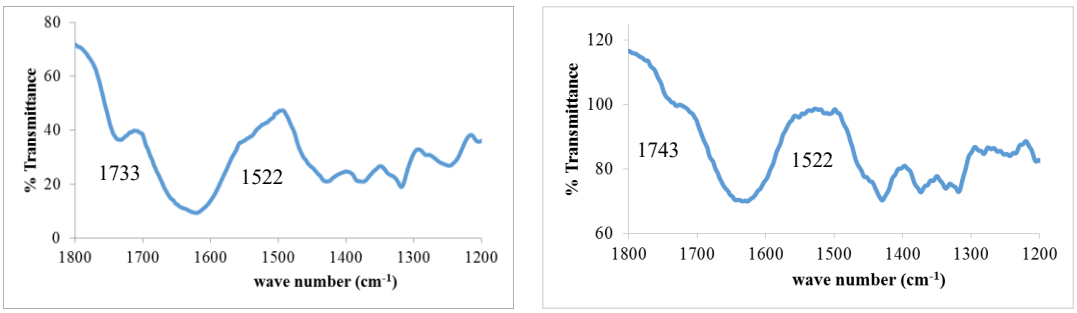
(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมอินฟราเรดของเยื่อข่อยก่อนการสกัดและหลังการสกัด

(ก) เยื่อข่อย (ข) แคลเซียมคาร์บอเนต

(ค) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ง) โซเดียมไฮดรอกไซด์



(ก) (ข)

รูปที่ 4.13 สเปกตรัมอินฟาเรด (ขยายช่วง 1200-1800 cm^{-1}) ของเยื่อข่อย

(ก) ก่อนการสกัดด้วยเบส (ข) หลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

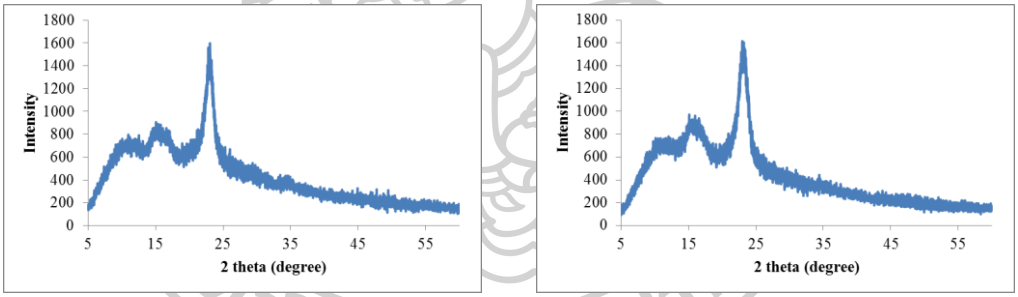
เยื่อข่อย	vibrational frequency, cm^{-1} (mode of vibration)
ก่อนการสกัดด้วยเบส	3366 (ν(O-H)), 2923 (ν(C-H)), 1733 (ν(C=O) (lignin or hemicellulose), 1622 (δ(O-H)),1429, 1374, 1318, 1247 (δ(C-H)), 1161, 1060 (ν(C-O)), 897 ((δ(O-H) carboxylic), 664 (C-H rocking))
หลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต	3348 (ν(O-H)), 2919 (ν(C-H)), 1743 (ν(C=O) (lignin or hemicellulose), 1627 (δ(O-H)), 1461 (δ(C-H)), 1430,1373, 1318 (δ(C-H)), 1161 (ν(C-O)), 1113 (C-H wagging), 1058 (ν(C-O), 620 (C-H rocking)
หลังสกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์	3349 (ν(O-H)), 2902 (ν(C-H)), 1638 (δ(O-H)), 1464 (δ(C-H)), 1430,1373, 1319 (δ(C-H)), 1166 (ν(C-O)), 1114 (C-H wagging), 1058 (ν(C-O), 619 (C-H rocking)
หลังสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	3348 (ν(O-H)), 2936 (ν(C-H)), 1662 (δ(O-H)), 1465 (δ(C-H)), 1432, 1385 (δ(C-H)), 1171 (ν(C-O)), 1168 (C-H wagging), 1062 (ν(C-O), 623 (C-H rocking)

4.2.2 เทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

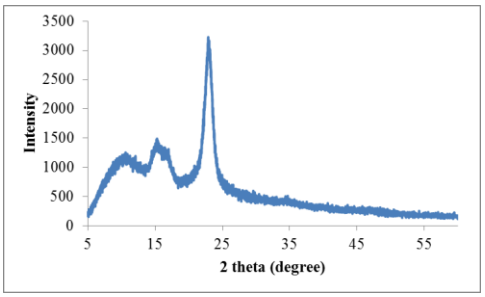
เทคนิคนี้ใช้ในการวัดความเป็นผลึกหรือความเป็นระเบียบของเส้นใย โดย XRD ของเยื่อข่อยแสดงในรูปที่ 4.14 เส้นใยเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าจะมีความเป็นผลึกสูงกว่า โดยคำนวณจากสูตร:

$$\mathrm{CrI} = \frac{I_{220} - I_{110}}{I_{220}} \mathrm{x100}$$

ความเป็นผลึกของเยื่อข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยเบสชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.11 เยื่อข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นผลึกสูงที่สุด ลิกนินส่วนใหญ่ในเส้นใยนี้ถูกสกัดออกไปด้วยเบสชนิดนี้ ทำให้สายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเกิดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นระเบียบของสายเซลลูโลสมีมากขึ้น



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 4.14 สเปกตรัม XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัด

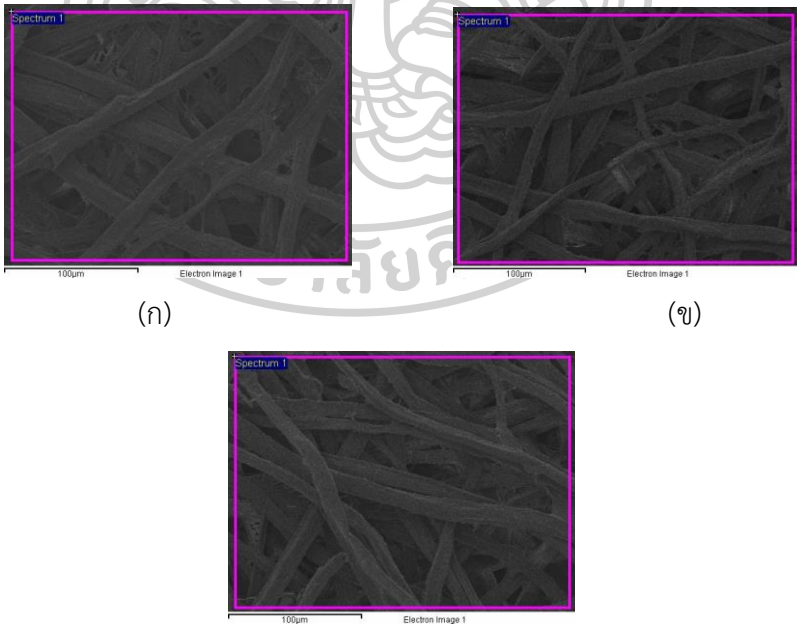
(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.11 ความเป็นผลึกของตัวอย่างกระดาษที่ผ่านการสกัด

กระดาษที่ผ่านการสกัดด้วย	ความเป็นผลึก (%)
แคลเซียมคาร์บอเนต	43.22
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	46.22
โซเดียมไฮดรอกไซด์	55.53

4.2.3 เทคนิค Scanning Electron Microscopyand Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)

ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างเส้นใยกระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณที่ผ่านการสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในรูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของเส้นใยทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าไม่มีอนุภาคใดๆ บนเส้นใย และเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS พบปริมาณธาตุแคลเซียม (Ca) ในกระดาษที่ผ่านการสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอก 0.85 และ 0.60 ตามลำดับ ดังข้อมูลในตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณธาตุ Ca ค่อนข้างน้อย



(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายกำลังขยายของเส้นใยของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัด

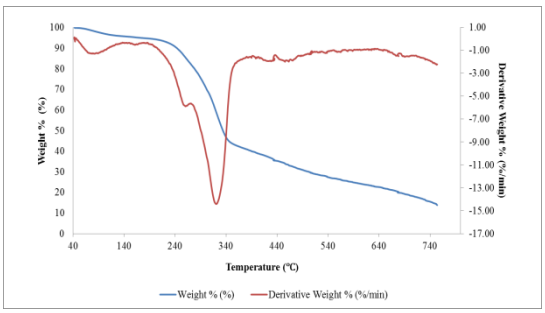
(ก) แคลเซียมคาร์บอเนต (ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ค) โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.12 ข้อมูล EDS แสดงธาตุและปริมาณในเส้นใยกระดาษข่อยที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ

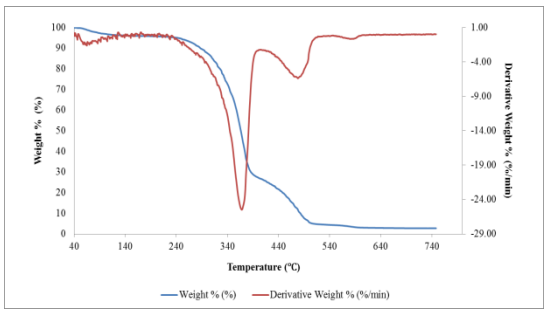
ธาตุ	% โดยน้ำหนัก		
	$CaCO_3$	$Ca)OH(_2$	NaOH
C (K_α)	42.41	43.21	41.90
O (K_α)	56.74	56.19	58.10
Ca (K_α)	0.85	0.60	-

4.2.4 เทคนิค Thermo gravimetric Analysis (TGA)

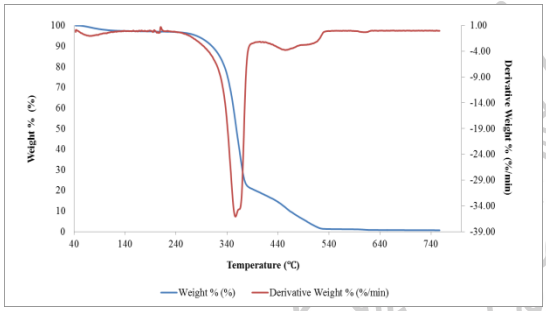
Thermogram แสดงการลดลงของน้ำหนักเยื่อเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของตัวอย่างเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสแสดงในรูปที่ 4.16 และผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.13 โดยที่ขั้นตอนที่ 1 ของทุกตัวอย่างเป็นการระเหยของน้ำ ส่วนตัวอย่างเยื่อข่อยก่อนการสกัดจะเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด ส่วนเยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยเบสเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนที่ 2 และ 3 โดยขั้นตอนที่ 2 มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด พบว่า Tp ในขั้นตอนการสลายตัวของเซลลูโลสในเยื่อข่อยก่อนการสกัดมีค่าน้อยกว่าเยื่อข่อยหลังการสกัด การสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสทำให้สายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้น พันธะไฮโดรเจนแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เซลลูโลสเกิดการสลายตัวยากขึ้น ค่า Tp จะสูงขึ้น และพบว่า Tp ของเยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงสุด แสดงว่าทั้งลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกสกัดออกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีที่สุด เยื่อข่อยก่อนการสกัดมีเถ้าเหลือมากที่สุด (% น้ำหนักที่หายไปน้อยที่สุด) ซึ่งเถ้าที่เหลือเป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในขณะที่เยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยเบสมีปริมาณเถ้าเหลือน้อยกว่าเนื่องจากเบสจะช่วยกำจัดสารอนินทรีย์ และพบพีคการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตที่หลงเหลือในเยื่อที่สกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (ขั้นตอนที่ 4)



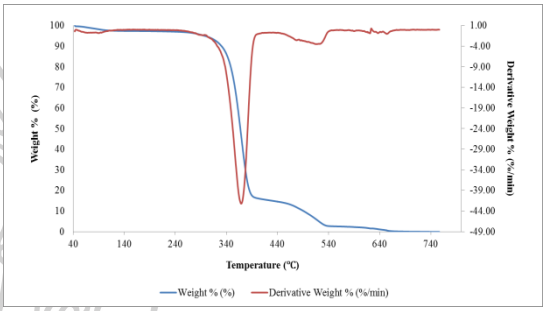
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 สเปคตรัม TGA ของเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัด

(ก) เยื่อข่อยก่อนการสกัด (ข) แคลเซียมคาร์บอเนต

(ค) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ง) โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.13 ผล TGA ของเยื่อข่อย

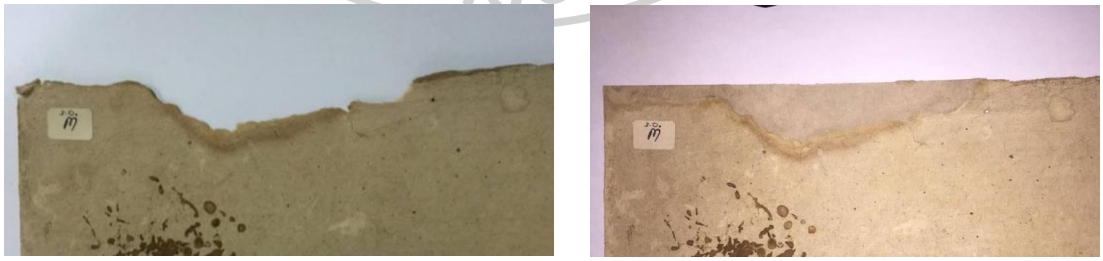
ตัวอย่าง	ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)			% น้ำหนักที่หายไป	
		เริ่ม	สุดท้าย	Tp*	แต่ละขั้น	รวม
เยื่อข่อยก่อนการสกัดด้วยเบส	1st	42.65	179.25	79.03	5.08	73.46
	2nd	179.25	269.92	260.52	12.27	
	3rd	269.92	560.33	**321.01**	56.11	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต	1st	38.02	180.28	57.84	4.15	96.94
	2nd	180.28	404.44	367.89	69.01	
	3rd	404.44	527.66	**478.01**	22.26	
	4th	527.66	608.2	580.29	1.52	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์	1st	43.24	143.89	73.65	2.7	98.81
	2nd	143.89	404.51	356.63	78.32	
	3rd	404.51	567.29	**453.91**	17.79	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	1st	43.16	196.65	68.22	2.76	97.47
	2nd	196.65	425.32	368.78	82.07	
	3rd	425.32	561.91	**515.79**	12.64	

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

5. ผลการการอนุรักษ์เบื้องต้น

หลังจากการดำเนินการกำจัดแมลงเบื้องต้นโดยการนำไปแช่ที่อุณหภูมิติดลบ แล้วได้มีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ และทำความสะอาดเบื้องต้นแล้ว จึงจัดทำกล่องไร้กรดเพื่อจัดเก็บหนังสือสมุดไทย ดังรูปที่ 4.17 จากนั้นจึงนำระดาษข่อยที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณมาซ่อม 1 บริเวณ โดยเลือกกระดาษที่ผลิตจากแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากมีสีและองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับหนังสือสมุดไทย ดังรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.17 กล่องไร้กรดสำหรับจัดเก็บหนังสือสมุดไทย



รูปที่ 4.18 หนังสือสมุดไทยก่อนและหลังการอนุรักษ์ด้วยกระดาษข่อย

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของเส้นใยด้วยเทคนิคทางสเปคโตรสโคปีต่างๆ ทำให้ทราบถึงผลการวิเคราะห์ในแต่ละเทคนิคนั้นว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งแต่ละเทคนิคนั้นให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน ได้แก่

1. Attenuated Total Reflectance Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (ATR - FTIR) ได้ข้อมูลหมู่ฟังก์ชันในกระดาษ โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ในเส้นใย

2. X-ray Diffraction (XRD) ได้ข้อมูลถึงความเป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของเส้นใย โดยเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพมากจะมีความเป็นระเบียบของการเรียงตัวของเส้นใยน้อย

3. Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) ได้ข้อมูลลักษณะพื้นผิวเส้นใย โดยพบว่าเส้นใยที่มีการเสื่อมสภาพจะตรวจพบการแตกหักของเส้นใยได้อย่างชัดเจนจากภาพ SEM และได้ข้อมูลชนิดของธาตุองค์ประกอบบนเส้นใย และมีประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์อนุภาคอินทรีย์บนเส้นใยกระดาษ

4. Thermogravimetric Analysis (TGA) ได้ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักที่หายไปของสารตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรเชิงความร้อนของตัวอย่าง

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวพบว่าหนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี เลขทะเบียน ร.ว.3 ของวัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร ประสบปัญหาการเสื่อมสภาพของกระดาษค่อนข้างมาก เมื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับกระดาษข่อยที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสีที่พบในหนังสือสมุดไทย ด้วยเทคนิค Synchrotron Radiation Micro-X-ray fluorescence (SRMXRF) ได้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบในสีที่ใช้เขียนภาพ ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้บอกชนิดของสีต่างๆ ที่ใช้เขียนในหนังสือสมุดไทย นอกจากนี้ยังสามารถนำกระดาษข่อยที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณมาใช้ในงานอนุรักษ์ได้

ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การนำตัวอย่างกระดาษและสีออกจากหนังสือสมุดไทยจะต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากอาจส่งผลกระทบหรือสร้างความเสียหายให้หนังสือสมุดไทยเพิ่มมากขึ้น

2. สีของเยื่อข่อยที่ได้ในแต่ละครั้งให้สีที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับพื้นที่การเจริญเติบโตของต้นข่อยและวิธีการเก็บเปลือกข่อย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลกระทบในแง่มุมต่างๆ ของกาวที่เลือกใช้ในงานอนุรักษ์กระดาษโบราณ และการใช้กาวกับกระดาษข่อยที่ผลิตสำหรับใช้ในการอนุรักษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

1] ก่องแก้ว วีระประจักษ์. (2553). **การทำสมุดไทยและการเตรียมใบลาน.** พิมพ์ครั้งที่ 3**.** กรุงเทพฯ: หอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร.

[2] เดอ ลาลูแบร์. (2552). **จดหมายเหตุลาลูแบร์ ราชอาณาจักรสยาม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี: ศรีปัญญา.

[3] สมชาติ มณีโชติ. (2529). **จิตรกรรมไทย.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

[4] นิรมล เรืองสม. (2547). **คุณลักษณะในจิตรกรรมไทย.** กรุงเทพฯ: สำนักสถาปัตยกรรมและหัตถศิลป์ กรมศิลปากร.

[5] สมหวัง ขันตยานุวงศ์. (2559). **ข่อยเส้นใยเยื่อคุณภาพสูงที่ถูกลืม 8 ทศวรรษ วนศาสตร์ศาสตร์แห่งชีวิต.**

[6] Glasby, John S. (1991). **Dictionary of Plants Containing Secondary Metabolites.** London: Taylor & Francis.

[7] May, Eric and Mark Jones. (2006) **Conservation Science Heritage Materials.** UK: The Royal Society of Chemistry.

[8] Jiebing Li, Gunnar Henriksson, and Göran Gellerstedt. (2007). "**Lignin depolymerization/repoly- merization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion." Bioresource Technology** 98: 3061–3068.

[9] Bukovsky, Vladimir, and Maria Trnkova. (2003). "The influence of secondary chromophores on the light induced oxidation of paper. Part II: The influence of light on groundwood paper." **Restaurator** 24: 118-132.

[10] Bukovsky, Vladimir. (2000). "*The influence of light on ageing of newsprint paper."* **Restaurator** 21: 55-76.

[11] C. Conti et al. (2014). "Raman Spectroscopy." **Sciencedirect** 45: 1186–1196.

[12] Keune, Katrien et al. (2015). "Tracking the transformation and transport of arsenic sulfide pigments in paints: synchrotronbased X-ray micro-analyses." **J. Anal. At. Spectrom 30**: 813–827.

[13] Goltz, Douglas et al. (2003). "Spectroscopic Studies on the Darkening of Lead White." **APPLIED SPECTROSCOPY** 57, 11: 1393-1398.

[14] หอสมุดแห่งชาติ. (2554). **ความรู้ด้านการซ่อมอนุรักษ์หนังสือสมุดไทย**. กรุงเทพ: หอสมุดแห่งชาติ.

[15] T.M. **The musuem Handbook.** Accessed March 4. Available from https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/MHI.pdf.

[16] สมถวิล นิลวิไล และศิริชัย หวังเจริญตระกูล. (2552). **รักษ์โบราณวัตถุ.** กรุงเทพฯ: พลัสเพรส.

[17] **AIC CODE OF ETHICS AND GUIDELINES FOR PRACTICE.** Accessed March 5. Available from https://www.nps.gov/training/tel/guides/hps1022_ aic_code_of_ethics.pdf.

[18] กรมศิลปากร. (2531). **นิทรรศการเทิดพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราช กุมารีเรื่องวิทยาศาสตร์กับการอนุรักษ์มรดกไทย ณ พระที่นั่ง-อิศราวินิจฉัย พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พระนคร**. กรุงเทพฯ.

[19] **The AIC Book and Paper Group. Paper Conservation Catalog.** Accessed March 16. Available from http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/05_written-documenation.pdf.

[20] Princi, E. (2011). **Handbook of Polymers in Paper Conservation.** United Kingdom: Smithers Rapra Technology.

[21] พระราชกวี และคณะ. (2543). **ประวัติวัดราชาธิวาสวิหาร**. กรุงเทพฯ: วัดราชาธิวาสวิหาร.

[22] Huang, J. A. (2006). **Technical Examination of 7 Thai Manuscripts in the 18th, 19th, and 20th Centuries.** Accessed February 5. Available from http://cool.conservation-us.org/anagpic/2006pdf/2006ANAGPIC_ Huang.pdf.

[23] Hajji, L. et al. (2015). "Conservation of Moroccan manuscript papers aged 150, 200 and 800 years. Analysis by infrared spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry (SEM-EDS)." **Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc** 136: 1038-1046.

[24] Eremin, K. et al. (2008). "Examination of pigments on Thai manuscripts: the first identification of copper citrate." **Journal of Raman Spectroscopy** 39 8: 1057-1065.

[25] Gorassini, Adam et al. (2008). "Micro-XRF and FT-IR/ATR analyses of an optically degraded ancient document of the Trieste (Italy) cadastral system (1893): A novel and surprising iron gall ink protective action." **Microchemical Journal 2015**. **124**: 96–103.

[26] Ferrer, Nuria and M. Carme Sistach. (2007). "FTIR Technique Used to Study Acidic Paper Manuscripts Dating from the Thirteenth to the Sixteenth Century from the Archive of the Crown of Aragón." **The Book and Paper Group 26**: 21-25.

[27] Ion, R.M. et al. (2008). "Spectral analysis of original and restaurated ancient paper from romanian gospel." **Rom. Journ. Phys. 53** (5-6): 781-791.

[28] Manso, Pessanha S., and Carvalho M. L. (2006). "Artificial aging processes in modern papers: X-ray spectrometry studies." **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy** 61, 8: 922-928.

[29] Sunkyu, Park et al. (2008). "Cellulose crystallinity index_measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance." **Biotechnology for Biofuels** 3: 1-10.

[30] Qinglian Li, Sancai Xi, and Xiwen Zhang. (2014). "Conservation of paper relics by electrospun PVDF fiber membranes." **Journal of Cultural Heritage** 15, 4: 359-364.

[31] Stevulova, Hospodarova V. and Estokova A. (2016). "Study of Thermal Analysis of Selected Cellulose Fibres." **GeoScience Engineering**. 62, 3: 18-21.

[32] รุ่งสุริยา บัวสาลี. (2559). นักวิจัยโครงการวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาว. สัมภาษณ์, 23 พฤศจิกายน.

[33] Jayaweera., D.M.A. (1982). **Medicinal Plants.** Sri Lanka: National Science Council.

[34] Berg, C. C., N. Pattharahirantricin and B. Chantarasuwan. (2011). Moraceae. In T. Santisuk, and K. Larsen (eds.). **Flora of Thailand**, Vol. 10(4): 475-675.

[35] Mabberley, D.J. (2008). **Mabberley's Plant-book: A Portable Dictionary of the Vascular Plants,Their Classification and Uses.** Third Edition. United

Kingdom: Cambridge University Press.

[36] Zhou Zhekun, and Michael G. Gilbert. (2003). "Moraceae." **In Flora of China** 5: 21-73.

[37] Yarris, Lynn. (2010). **The Evolutionary Road to Biofuels**. Accessed March 17. Available from http://www2.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/.

[38] Eriksson K.E.L. (1990). "Biotechnology in the pulp and paper industry." **Wood Science and Technology** 24: 79-101.

[39] ปิยะนุช เปียคง. (2557). **การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มเปล่า**. วิทยานิพนธ์ปริญญา-มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[40] มโน พิสุทธิรัตนานนท์. (2547). **สุนทรียวิจักษณ์ในจิตรกรรมไทย.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

[41] วิทย์ พิณค้าเงิน. (2547). **งานช่างเขียนของไทย**. กรุงเทพฯ : เมธีทิปส์.

[42] น.ณ ปากน้ำ [นามแฝง]. (2543). **จิตรกรรมสมัยอยุธยา.** กรุงเทพฯ: ด่านสุทธาการพิมพ์.

[43] เฉลิมพล โตสารเดช, อนิรุทธิ์ คงถาวร และวีรศิลป์ เอี่ยมสำอางค์. (2550). **จิตรกรรมไทยครูสมปอง อัครวงษ์ โรงเรียนเพาะช่าง.** กรุงเทพฯ : คณะศิษย์เก่าแผนกวิชาจิตรกรรมไทย คณะศิลปประจำชาติ โรงเรียนเพาะช่าง

[44] ศิริน โรจนสโรช. กรดในกระดาษ. **จุลสารหอจดหมายเหตุธรรมศาสตร์**. 27-29.

[45] National Archives of Australia**. Paper research.** Accessed February 9. Available from: http://paper.naa.gov.au/assets/data/Final-Report.pdf.

[46] K. Keune et al. (2015). "J. Anal. At. Spectrom." **Sciencedirect** 2015, 30: 813–827.

[47] D. Goltz et al. (2003). "Appl. Spectrosc." **Science direct** 2003, 57: 1393-1398.

[48] กุลพันธาดา จันทร์โพธิ์ศรี และวีระ พิมพา. (2542). **การอนุรักษ์เอกสารจดหมายเหตุและหนังสือ**.กรุงเทพฯ : หอจดหมายเหตุแห่งชาติ.

[49] คนธรส โชติช่วงสถาพร (2548). "การอนุรักษ์เอกสารแบบ leaf-casting." **โดมทัศน์** ปีที่ 26, 2: 25-29.

[50] The Interdepartmental Equipment Facility. **The FTIR Spectrometer**. Accessed April 9. Available from http://departments.agri.huji.ac.il/zabam /FTIR.html. .

[51] Database of ATR-FT-IR spectra of various materials. **ATR-FT-IR spectra of conservation-related materials in the MID-IR and FAR-IR region.** Accessed April 9. Available from http://lisa.chem.ut.ee/IR_spectra

/textile-fibres/cellulose-acetate

[52] Koz Kiskan B. and Yagci Y. **Synthesis and characterization of polyacetylene with side-chain thiophene functionality.** Accessed April 9. Available from https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img= PMC2635672_IJMS-9-3-383-f5&req=4.

[53] L. Laguardia et al. (2005). "Applied Surface Science." **Science direct 252**: 1159-1166.

[54] Ciolacu, Kovac J. and Kokol, V. (2010). "The effect of the cellulose-binding domain from Clostridium cellulovorans on the supramolecular structure of cellulose fibers." **Carbohydrate research** 345, 5: 621-630.

[55] Calvini, Gorassini A. et al. (2006) . "FTIR and WAXS analysis of periodate oxycellulose: evidence for a cluster mechanism of oxidation." **Vib. Spectrosc.** 40, 177–183.

[56] Castro, Princi K., Proietti E. et al.. (2011). "Assessment of the weathering effects on cellulose based materials through a multianalytical approach." **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms.** 269, 12, 1401-1410.

[57] ไพโรจน์ พิทยเมธี. (2558). **"สีไทยโทน เสน่ห์ไทยเพิ่มมูลค่าธุรกิจ." เนื่องในพิธีเปิดนิทรรศการ "สีไทยโทน : เสน่ห์ไทยเพิ่มมูลค่าธุรกิจ"** ณ HOF ART Spaceใน โครงการ W District กรุงเทพฯ, วันที่ 15 ตุลาคม 2558. กรุงเทพฯ: กระทรวงวัฒนธรรม.

[58] Xie, J. et al. (2016). "Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment and ultrasonication.". **Carbohydrate Polymers** 151: 725–734.

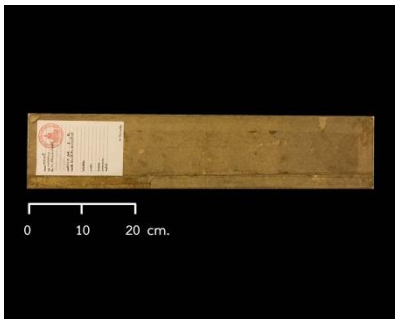
[59] Xu, C.L., and Wangb B. (2015). "Facile cellulose dissolution without heating in $[C_4mim][CH_3COO]$/DMF solvent." **Carbohydrate Polymers** 125 (July): 249–254.

[60] **Joint Commission on Powder Diffraction Standards (**2003) – International Centre for Diffraction Data. Accessed April 15. Available from http://www.icdd.com

[61] Xiao, S. Fabrication and characterization of nanofibrillated cellulose and its aerogels from natural pine needles." **Carbohydrate Polymers** 119: 202-209.

ภาคผนวก ก

แบบบันทึกหลักฐาน การสำรวจสภาพเอกสารโบราณ

1. หน่วยงาน	พิพิธภัณฑ์มหาราชานุสรณ์ รัชกาลที่4 วัดราชาธิวาสวรวิหาร กรุงเทพมหานคร	 ร.ว.3 **รูปถ่าย**
2. ชื่อ	พระอภิธรรม คัมภีร์ 7	
3. เลขทะเบียน	ร3.ว.	
4. หมวดของวัตถุ	ธรรมคดี	
5. สมัยแบบศิลปะ/	รัตนโกสินทร์ตอนต้น	
6. วันที่ขึ้นทะเบียน	2550 มีนาคม 14	
7. สถานที่จัดเก็บวัตถุ	ชั้น ห้องคัมภีร์ใบลาน 2	
8. ผู้ดูแล	พระครูสิริกวีวัฒน์	
9. ประวัติวัตถุ	ของสะสมเดิมของวัดราชาธิวาส เดิมจัดเก็บไว้ภายในกุฏิสงฆ์ ภายในวัดราชาธิวาส เมื่อพุทธศักราช 2549 พิพิธภัณฑ์แล้วเสร็จจึงได้รวบรวมมาจัดแสดงภายในห้องคัมภีร์ใบลาน	
10. ขนาด	**กว้าง** 13.5 ซ.ม.	**ยาว** 64.5 ซ.ม. **สูง** 5.5 ซ.ม.

11. ประเภทเอกสาร

☐ หนังสือตัวพิมพ์และสิ่งพิมพ์.....

☑ หนังสือต้นฉบับตัวเขียน.....

☐ อื่นๆ .....

12. สภาพของเอกสาร

12.1 ลักษณะสภาพ	☐ สมบูรณ์ ☑ ชำรุด

กระดาษมีร่องรอยความเสียหายหลายบริเวณ ได้แก่ คราบสกปรก คราบน้ำ เส้นใยเปื่อยยุ่ย - กระดาษฉีกขาด และหายไปบางส่วน มีสติ๊กเกอร์ขนาดเล็กระบุทะเบียนแปะบนปกหน้าและปกหลัง ภาพจิตรกรรมเทคนิคสีฝุ่นบนกระดาษ พบคราบเปื้อน พบเกิดการเสื่อมสภาพของชั้นรองพื้นทำให้ - สีหลุดร่อน บางบริเวณสีหลุดกลับเป็นผง กระดาษเปื่อยและขาด จิตรกรรมหายไปบางส่วน ชั้นรองพื้นบริเวณที่ทาด้วยสีแดงบริเวณตัวอักษรพบรอยแตกร้าว -

12.2 เส้นอักษร	สีเหลือง และสีดำ
12.3 รูปแบบ	☐ เล่ม ☑ พับ ☐ แผ่น ☐ อื่นๆ.....
12.4 การเย็บเล่ม	☐ เย็บลวด ☐ เย็บด้าย ☐ ไสกาว ☐ อื่นๆ.....

13. สภาพแวดล้อม

หนังสือสมุดไทยจัดแสดงอยู่ภายในตู้จัดแสดงที่ทำจากไม้อัดและกระจก2 ชั้น ภายในตู้จัดแสดงเดียวกันพบหนังสือสมุดไทยเล่มอื่นๆ ที่มีตัวอ่อนและร่องรอยการกัดกินของแมลงจำนวนมาก และยังพบว่าตู้จัดแสดงนั้นก็มีการเจาะกินของแมลงเช่นเดียวกัน ปัจจุบันแมลงลามกัดกินเอกสารภายในห้องทุกตู้ และพบว่าบริเวณที่ตั้งตู้เป็นจุดที่ลมจากเครื่องปรับอากาศตกลงพอดี หากมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแล้วอุณหภูมิภายในห้องต่ำกระจกของตู้นั้นก็จะขึ้นฝ้า และเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศแต่ละครั้งไม่ได้มีการระบายอากาศ

จากการสำรวจยังพบว่าตัวอาคาร มีการฝังท่อน้ำไว้ภายในผนัง ผนังบางจุดพบคราบน้ำ ส่วนห้องจัดแสดงอื่นๆ ที่ต่อเนื่องกันเป็นทางยาวไม่ได้ทำเป็นห้องปิด พบว่าพื้นและผนังมีการกัดกินของปลวกทำให้ชำรุดเสียหายหลายแห่ง และหน้าต่างห้องจัดแสดงบางห้องไม่สามารถปิดได้อย่างสนิท

ด้านหลังอาคารมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปลูกตามแนวอาคาร เมื่อกิ่งต้นไม้พาดถึงตัวอาคารจะพบว่าเป็นทางเดินของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สามารถเดินเข้ามาภายในห้องจัดแสดงได้ เช่น มด เป็นต้น และตัวอาคารยังได้มีการสร้างขนาบคลองสายเดิม ด้านหน้ามีการจัดสวนมีต้นไม้ขนาดเล็กใหญ่สลับกัน

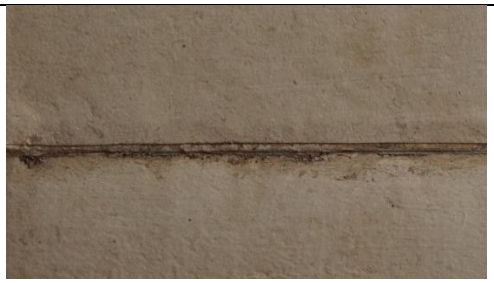
14. ค่าอุณหภูมิ	28.1 ºC		
15. ค่าความชื้นสัมพัทธ์	48.3%		
16. ค่าความเข้มแสง	395 Lux.		
17. ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต	35 μW/cm^2		
18. การบันทึกภาพ	☑ ภาพสี ☐ อื่นๆ.....	**จำนวน**	14 รูป

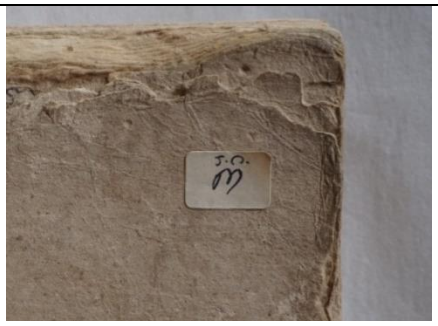
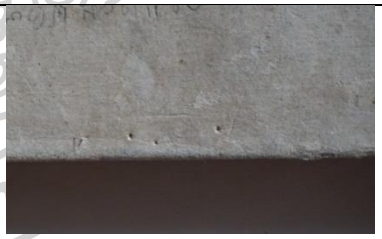
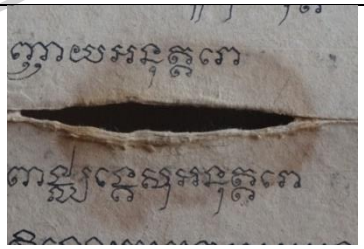
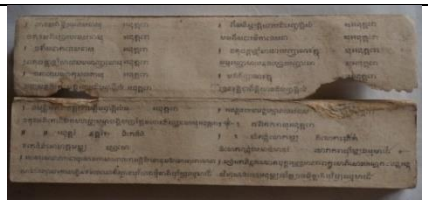
19. หมายเหตุ

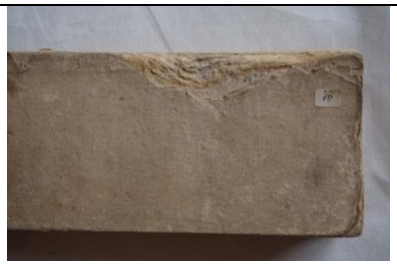
- แนบตารางตัวอย่างรายละเอียดจุดที่ได้รับการเสื่อมสภาพ จำนวน 3 หน้า

20. ผู้บันทึก	นางสาวจุฑามาส เรืองยศจันทนา		
ตำแหน่ง	นักศึกษาสาขาอนุรักษ์ศิลปกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร		
21. วันปีบันทึก/เดือน/	17 สิงหาคม 2559	**เวลาบันทึก**	10.45 น.

รายละเอียดบริเวณที่ได้รับการเสื่อมสภาพ

รูปที่	รายละเอียดภาพ	รูปภาพ
1.	สิ่งสกปรกบริเวณรอยพับ	
2.	สีหลุดร่อน	
3.	สีหลุดร่อนเป็นผง	
4.	กระดาษบริเวณที่เขียนจิตรกรรมขาดเป็นรู	
5.	พื้นสีแดงใต้อักษรสีเหลืองมีรอยแตกร้าว	

รูปที่	รายละเอียดภาพ	รูปภาพ
6.	สติ๊กเกอร์ติดเลขทะเบียนวัตถุลงบนปก	
7.	คราบเปื้อนเป็นก้อนสีน้ำตาลบนกระดาษส่วนปก	
8.	คราบเปื้อนติดลงในเนื้อกระดาษ	
9.	ร่องรอยการกดด้วยของแหลมเป็นจุด	
10.	รอยคราบน้ำบริเวณที่กระดาษเปื่อยขาดเป็นรู	
11.	กระดาษขาดหาย	

รูปที่	รายละเอียดภาพ	รูปภาพ
12.	กระดาษเปื่อยยุ่ย	
13.	กระดาษมีรอยฉีกขาด	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

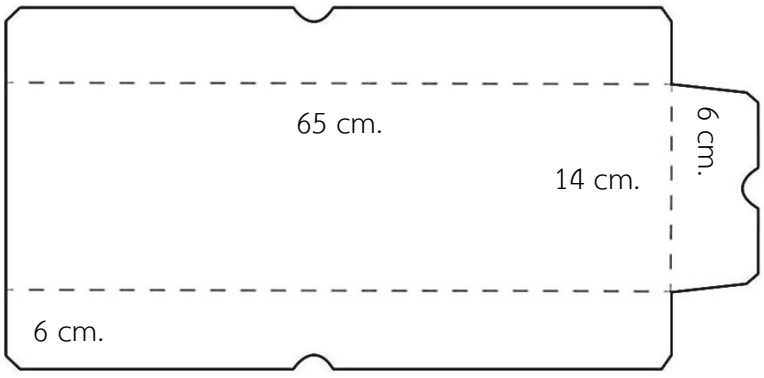
การทำกล่องสำหรับใส่หนังสือสมุดไทย

อุปกรณ์

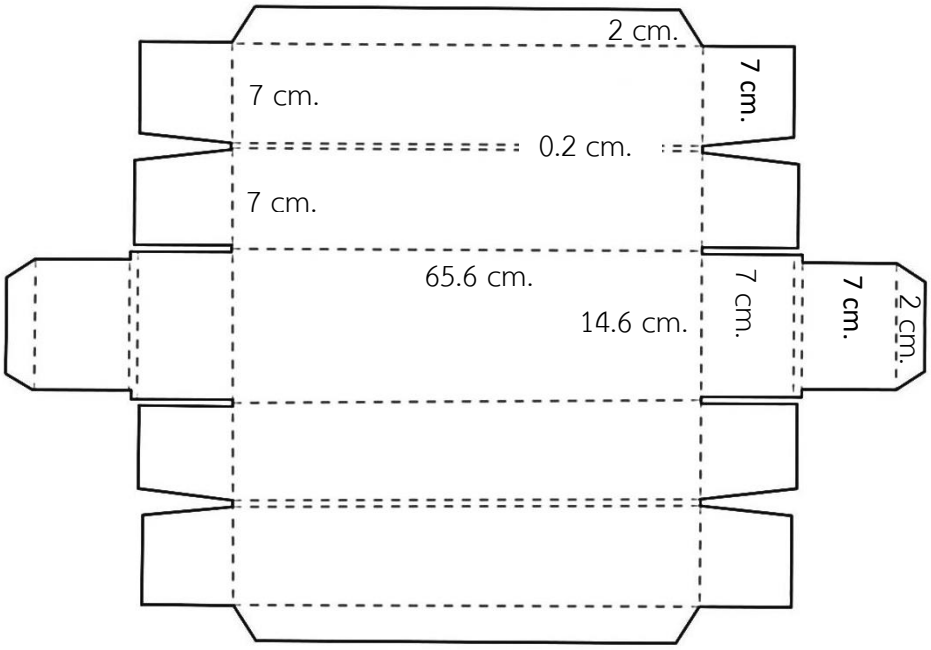
1. กระดาษไร้กรด
2. ไม้บรรทัด
3. มีดคัตเตอร์
4. แผ่นรองตัด

วิธีทำ

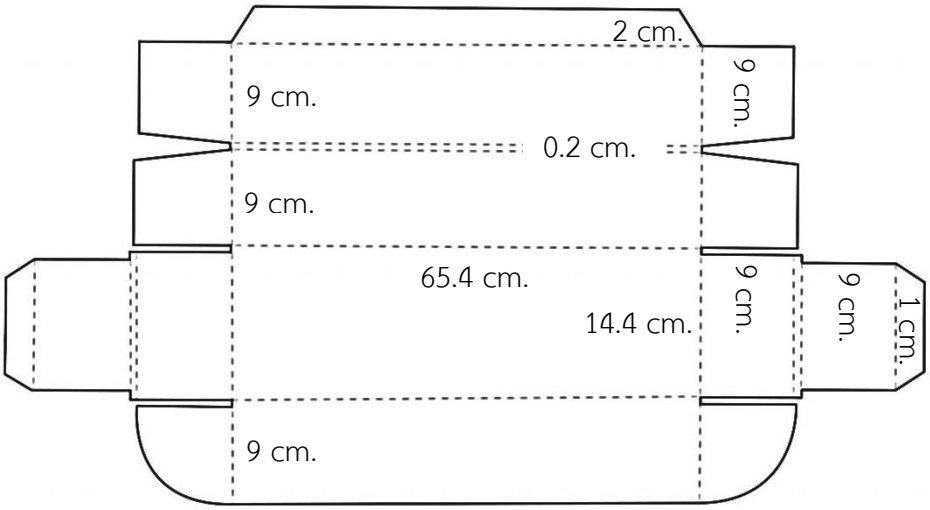
1. วัดขนาดตามแบบ และตัดส่วนที่ไม่ใช้งานออก
2. พับตามเส้นรอยปะของกระดาษ
3. นำกระดาษที่ได้มาประกอบเข้ากัน



รูปที่ ก.1 ภาพลายเส้นส่วนชิ้นรองรับวัตถุของกล่อง



รูปที่ ก.2 ภาพลายเส้นฝากล่อง



รูปที่ ก.3 ภาพลายเส้นตัวกล่อง

การซ่อมหนังสือสมุดไทยด้วยกระดาษที่ผลิตเลียนแบบวิธีโบราณ

อุปกรณ์

1. แปรงขนอ่อน
2. พู่กัน
3. ปากคีบ (Forceps)
4. สปาตูล่า (Spatula)
5. มีดผ่าตัด
6. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
7. เครื่องกวนสารที่มีแม่เหล็ก (Hotplate Stirrer)
8. แผ่นอะคริลิคใส
9. บีกเกอร์ (Beaker)
10. ลำสี
11. ผ้าขาวบาง
12. กระดาษซับ (กระดาษ 100 ปอนด์)
13. กระดาษข่อยที่สกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

สารเคมี

1. Methyl Cellulose (MC)
2. น้ำกลั่น
3. เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 99.8%

ขั้นตอนการซ่อมหนังสือสมุดไทย [14]

1. เตรียม Methyl Cellulose (MC) ความเข้มข้น 2 % โดยละลาย MC 0.8 กรัม ในน้ำ 40 มิลลิลิตร

2. เตรียมเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) เข้มข้น 70 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยผสมเอทิลแอลกอฮอล์ 99.8% ปริมาตร 140.28 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 59.72 มิลลิลิตร

3. ใช้แปรงขนอ่อนปัดทำความสะอาดฝุ่นทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน

4. นำกระดาษซับสอดไว้ใต้ชิ้นงาน และใช้สำลีจุ่มเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% ให้สำลีพอหมาด และค่อยๆ กดซับลงบนชิ้นงานเพื่อให้สิ่งสกปรกซับผ่านไปยังกระดาษ-ซับ จากนั้นนำกระดาษซับออก แล้วนำผ้าขาวบางคลุม ทิ้งไว้จนกระดาษแห้งสนิท ทำวิธีนี้ทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน

5. เมื่อกระดาษแห้งสนิทดีแล้ว นำชิ้นงานวางลงบนแผ่นอะคริลิคใส และนำกระดาษข่อยที่สกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) มาร่างแบบตามรอยแผลชำรุด โดยใช้พู่กันจุ่มน้ำ

6. ฉีกเยื่อกระดาษตามรอยที่ร่างและนำมาวางประกบตามรอยแผลที่ชำรุด

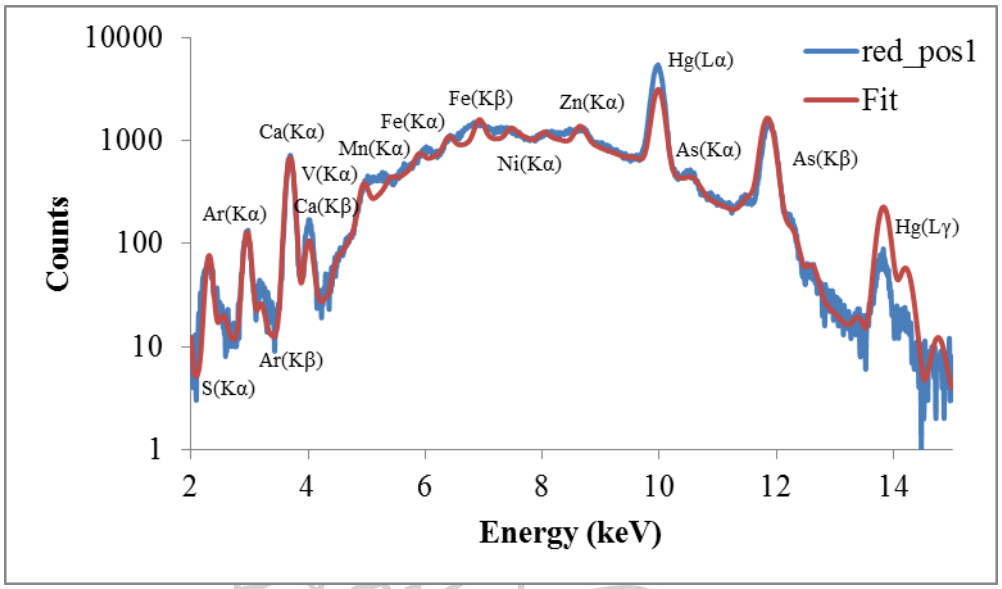
7. ทากาว MC ความเข้มข้น 2% โดยปัดบริเวณเส้นใยที่ดึงไว้ให้ยึดเกาะตัวชิ้นงานแล้วนำผ้าขาวบางคลุม ทิ้งไว้จนกระดาษแห้งสนิท จึงทำการตกแต่งกระดาษและเส้นใยบริเวณที่ซ่อมรอยแผล

มหาวิทยาลัยศิลปากร

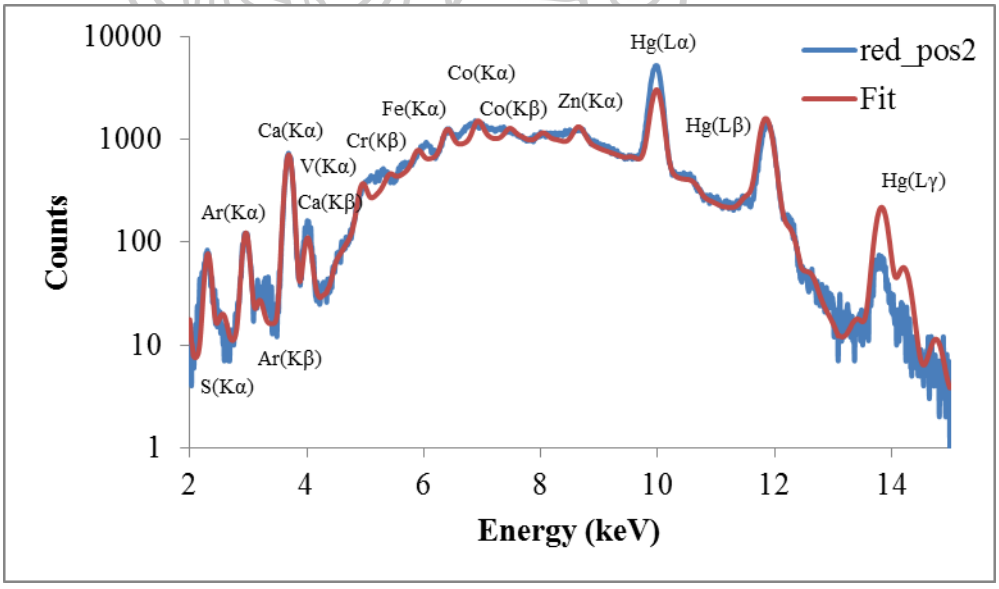
ภาคผนวก ข

สเปกตรัม XRF ของสีโบราณ

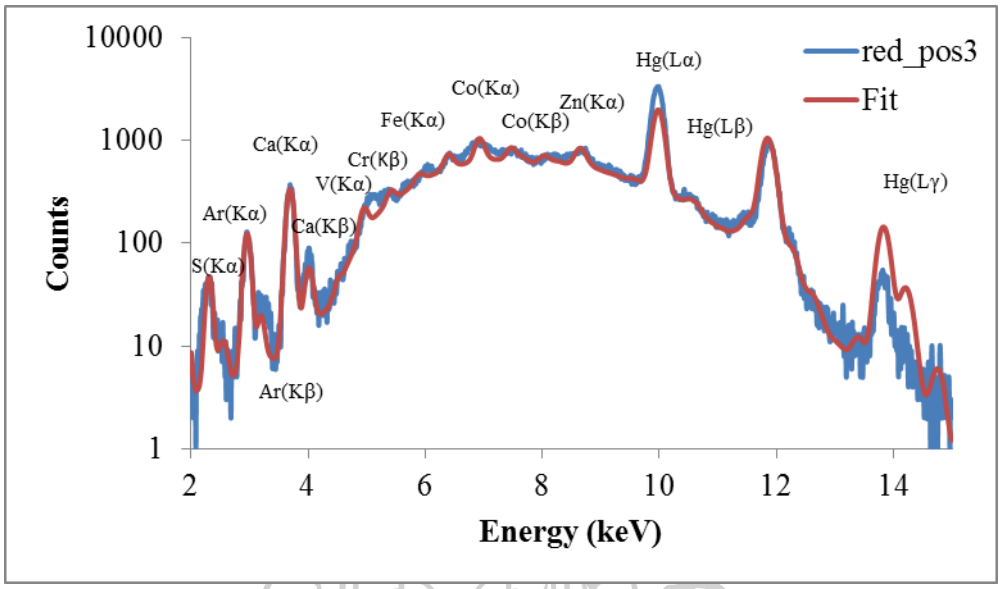
*RWBKK_Yellow, RWBKK_Blue และ RWBKK_Beige จุดที่ 3 ไม่ปรากฏสเปกตรัม



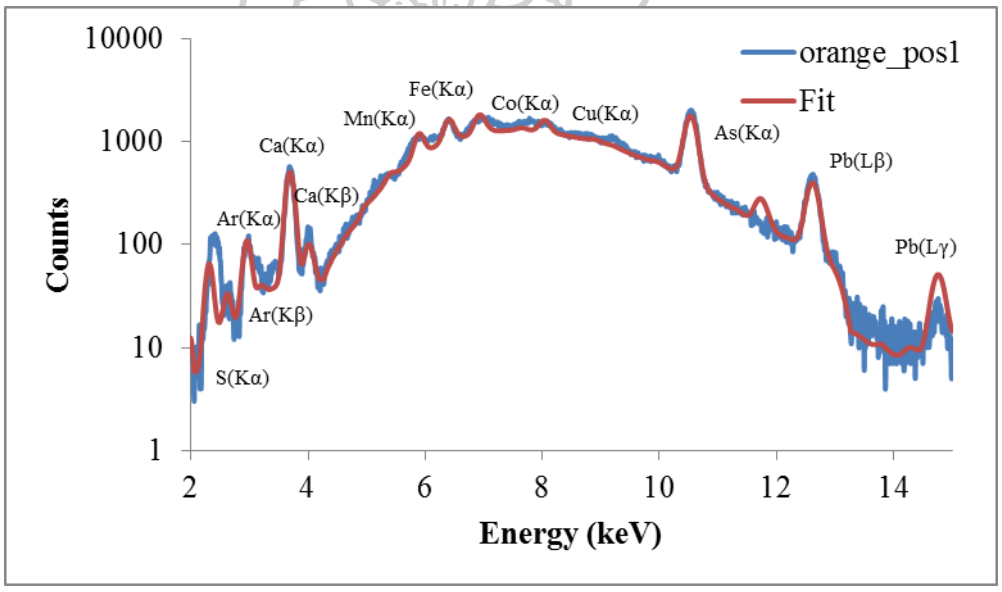
รูปที่ ข.1 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red_pos1)



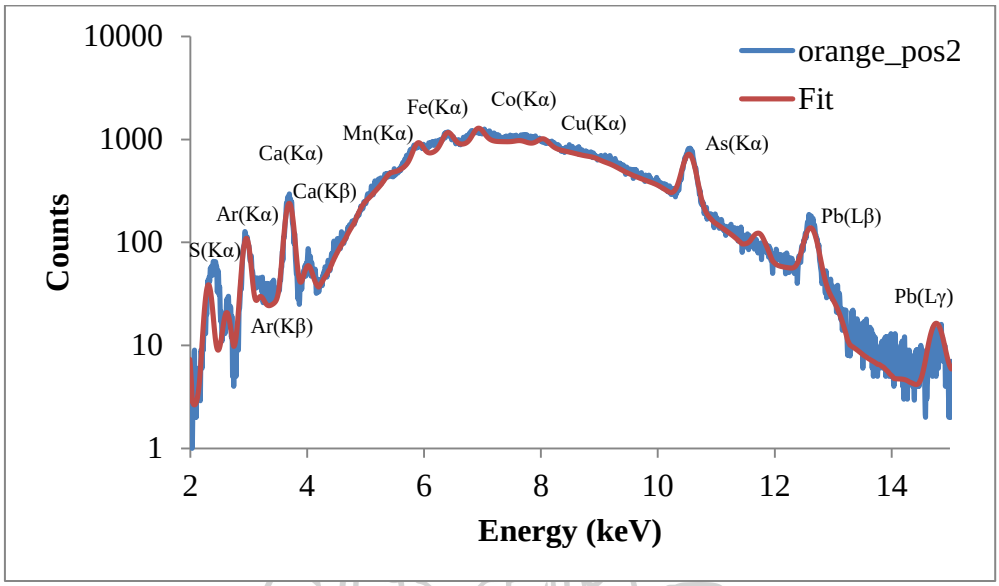
รูปที่ ข.2 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red_pos2)



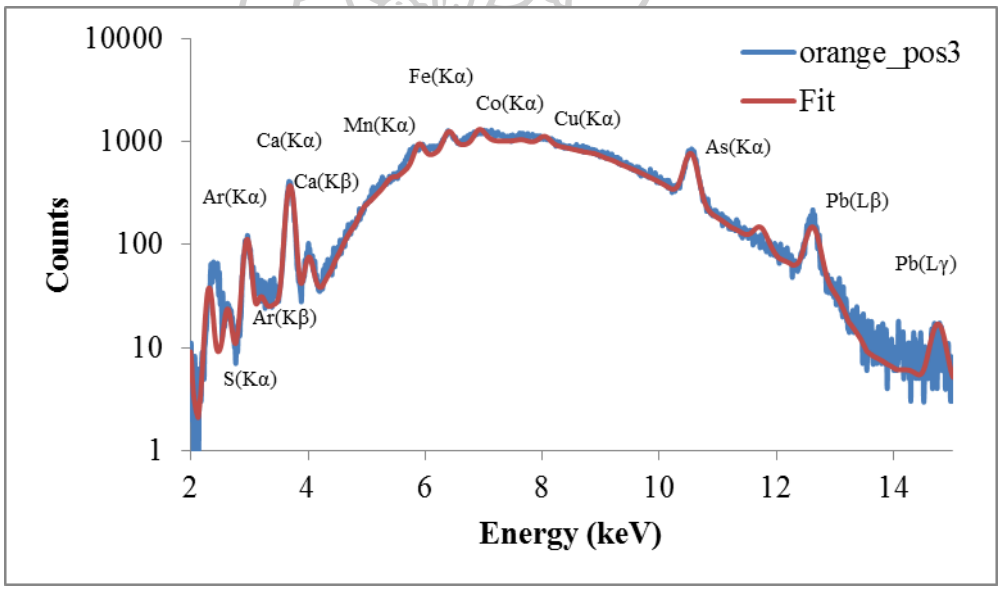
รูปที่ ข.3 สเปกตรัม XRF ของสีแดง (RWBKK_red_pos3)



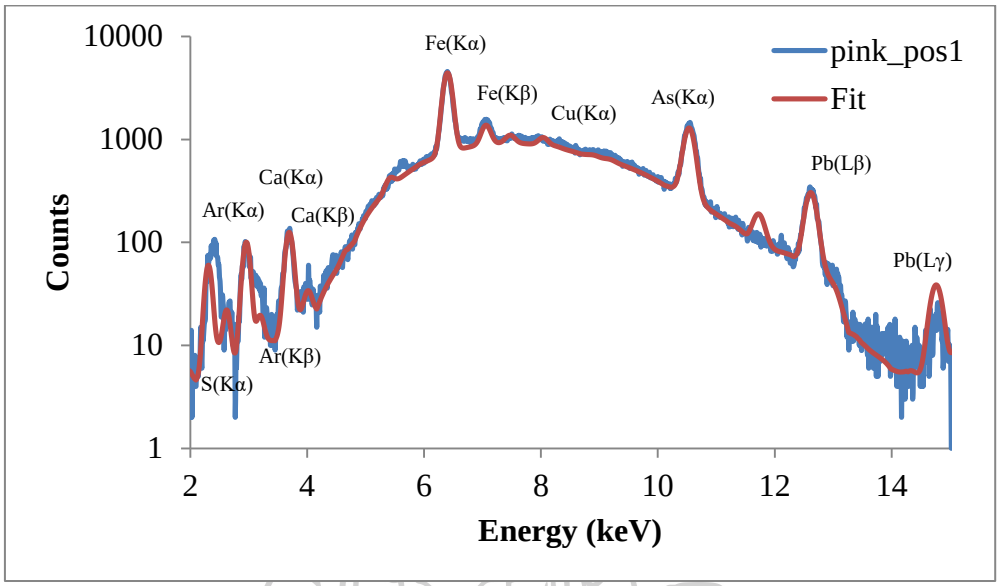
รูปที่ ข.4 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos1)



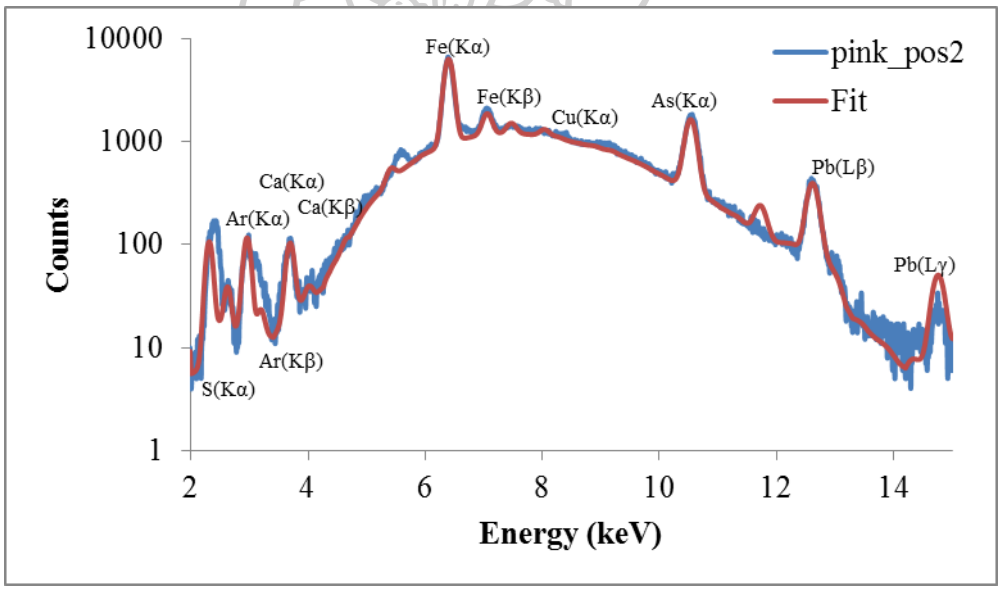
รูปที่ ข.5 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos2)



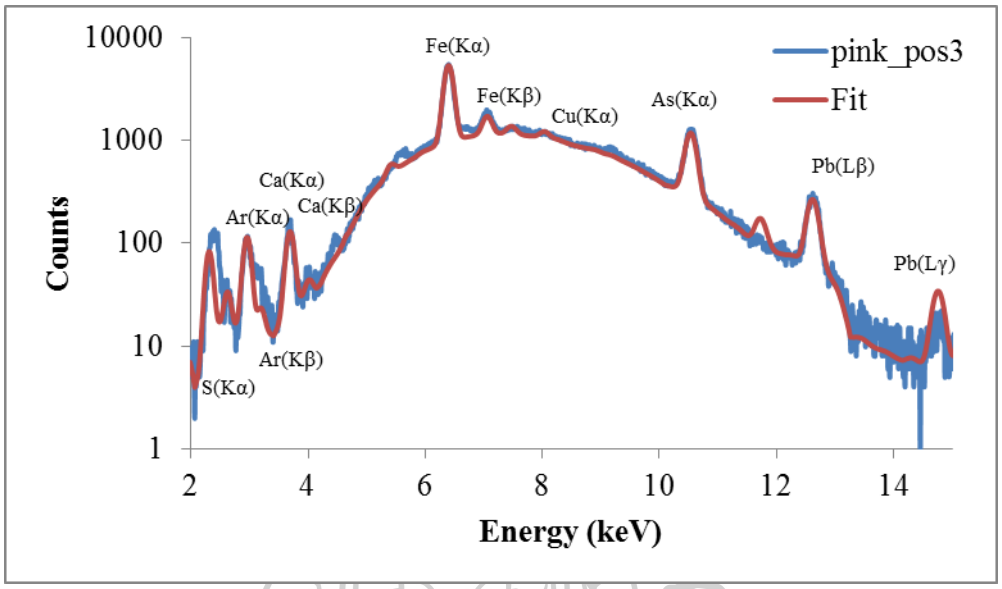
รูปที่ ข.6 สเปกตรัม XRF ของสีส้ม (RWBKK_orange_pos3)



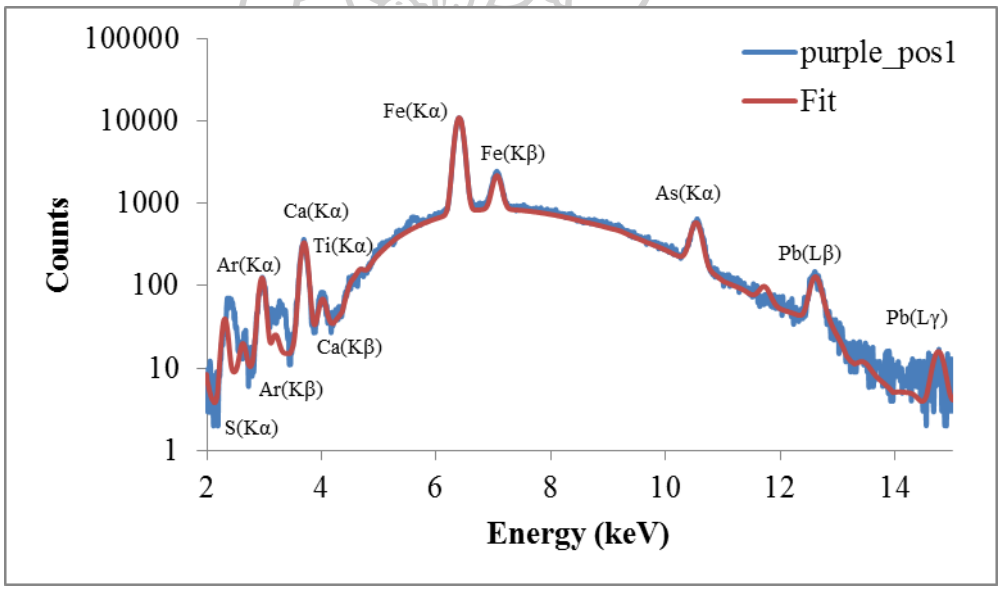
รูปที่ ข.7 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos1)



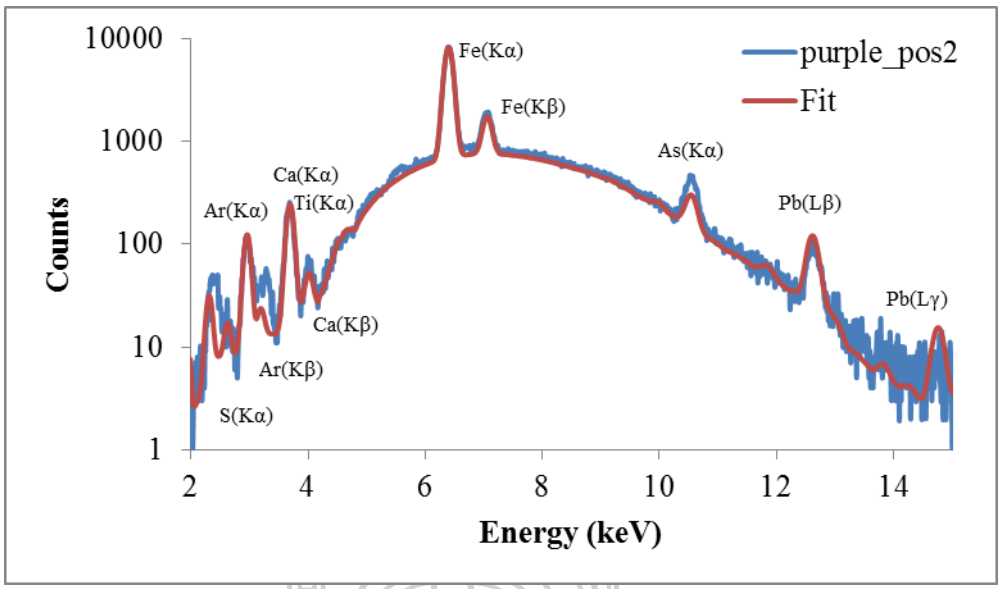
รูปที่ ข.8 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos2)



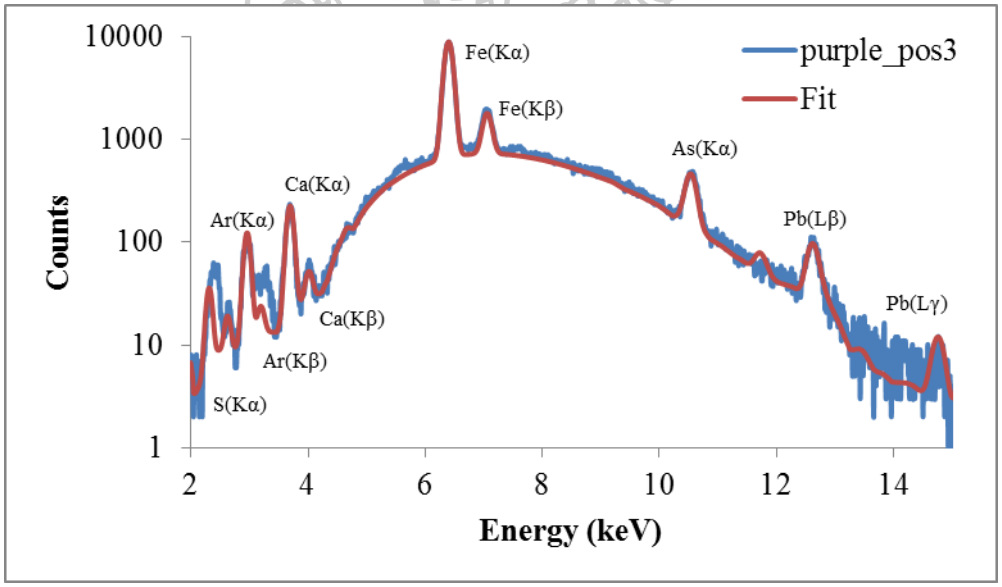
รูปที่ ข.9 สเปกตรัม XRF ของสีชมพู (RWBKK_pink_pos3)



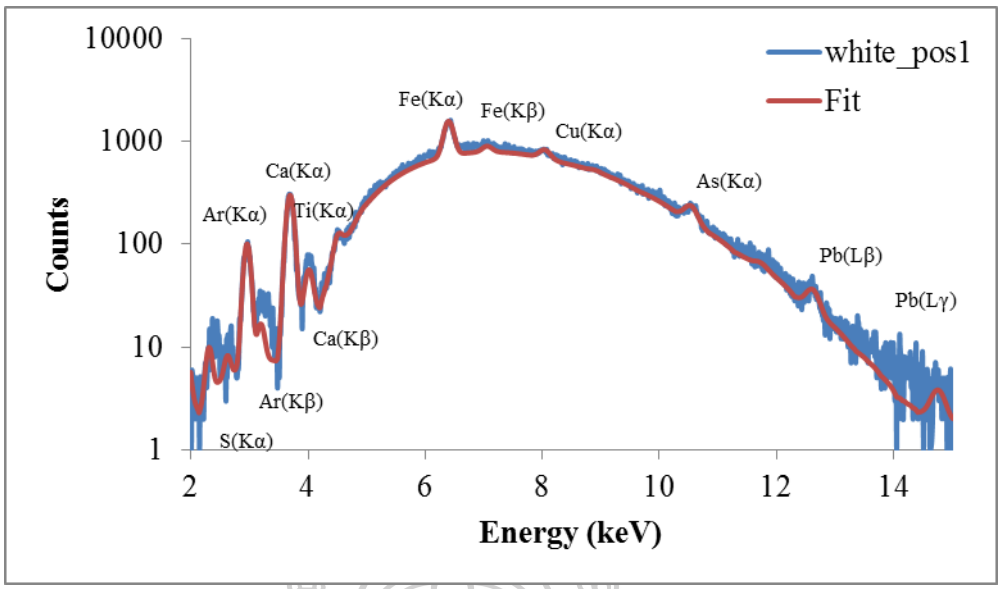
รูปที่ ข.10 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos1)



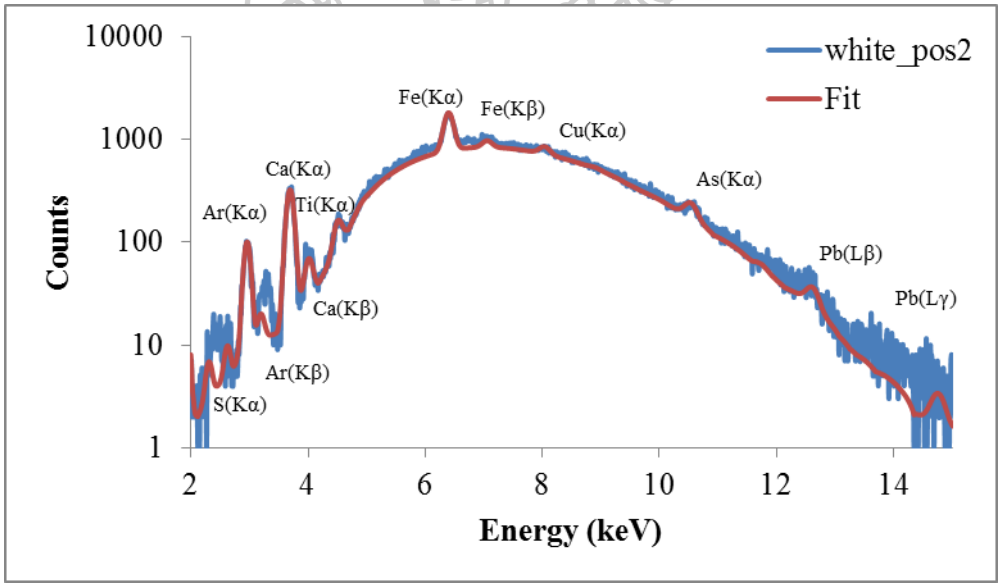
รูปที่ ข.11 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos2)



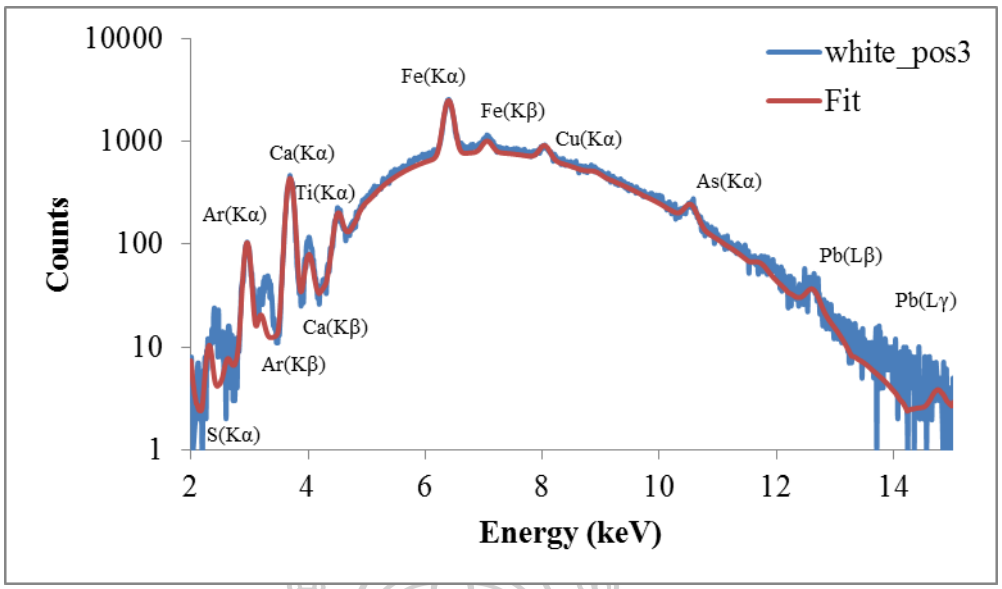
รูปที่ ข.12 สเปกตรัม XRF ของสีม่วง (RWBKK_purple_pos3)



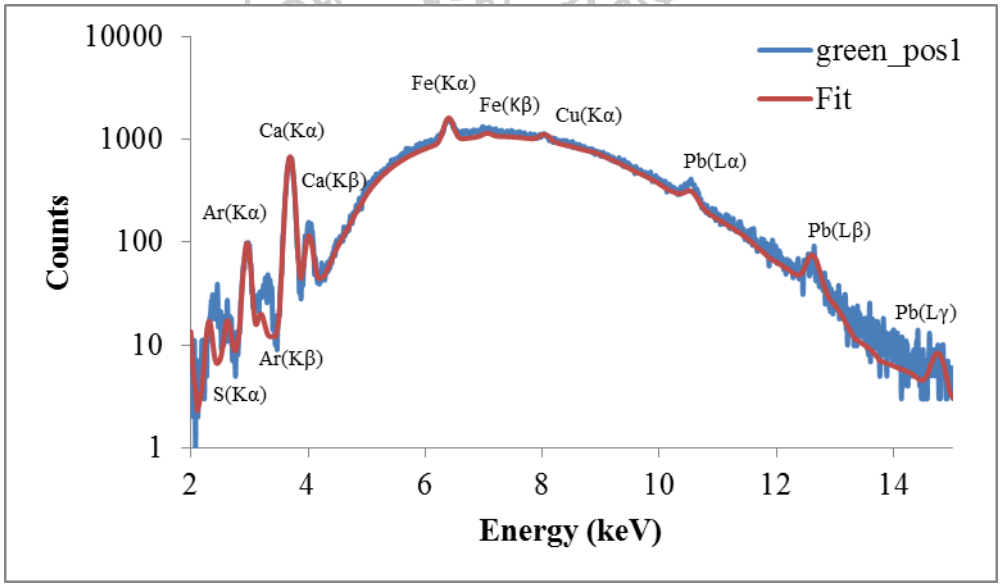
รูปที่ ข.13 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos1)



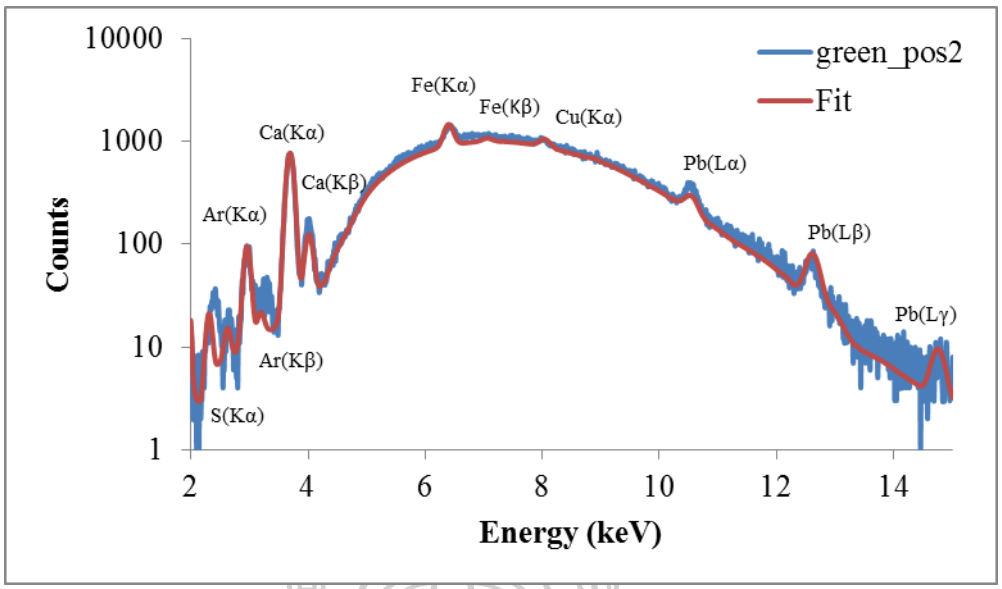
รูปที่ ข.14 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos2)



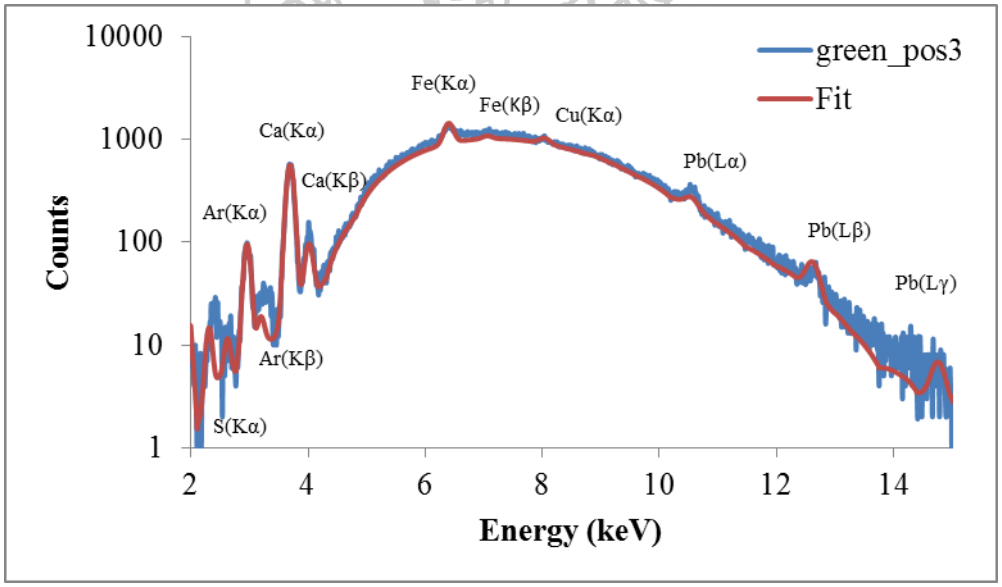
รูปที่ ข.15 สเปกตรัม XRF ของสีขาว (RWBKK_white_pos3)



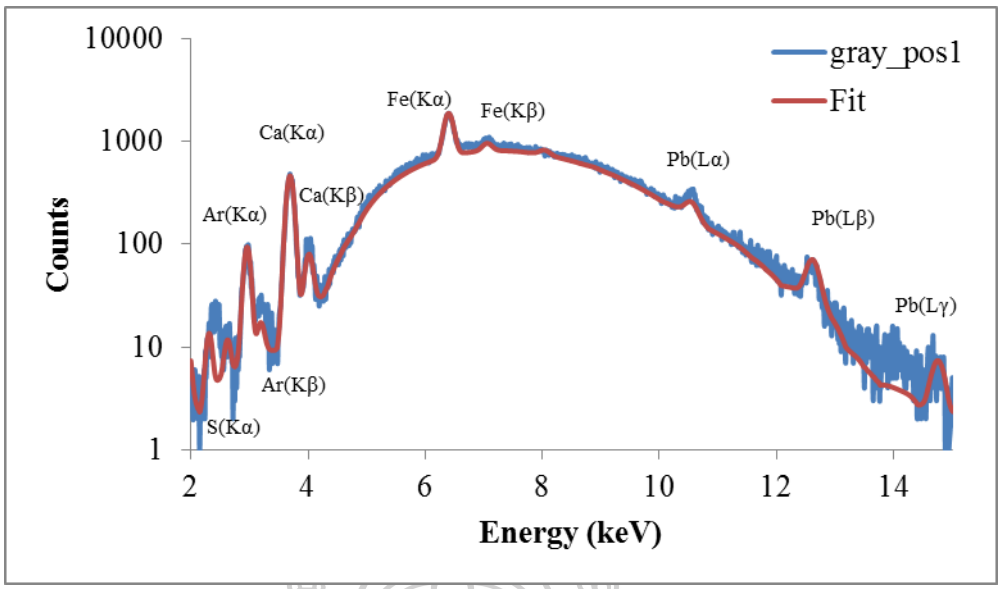
รูปที่ ข.16 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos1)



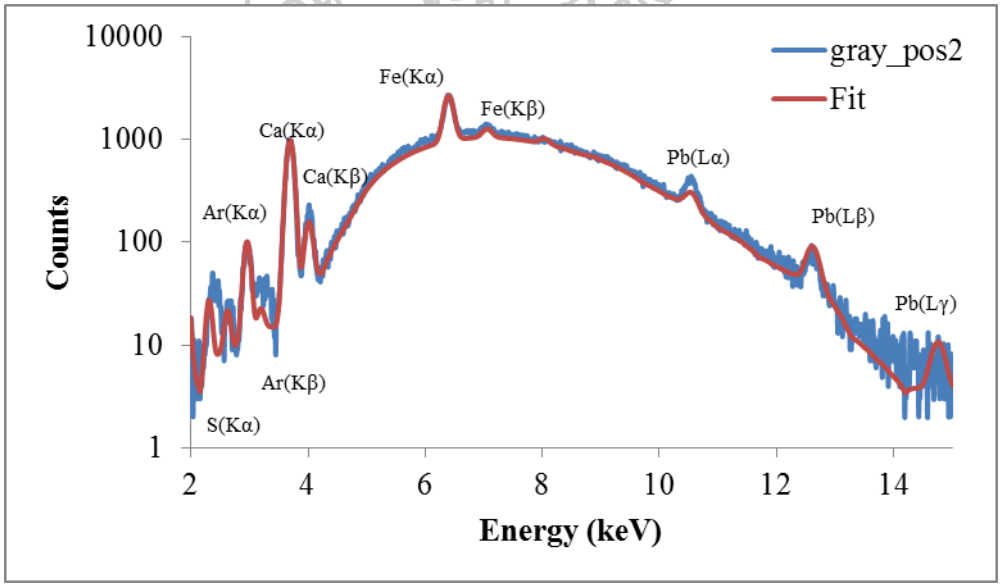
รูปที่ ข.17 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos2)



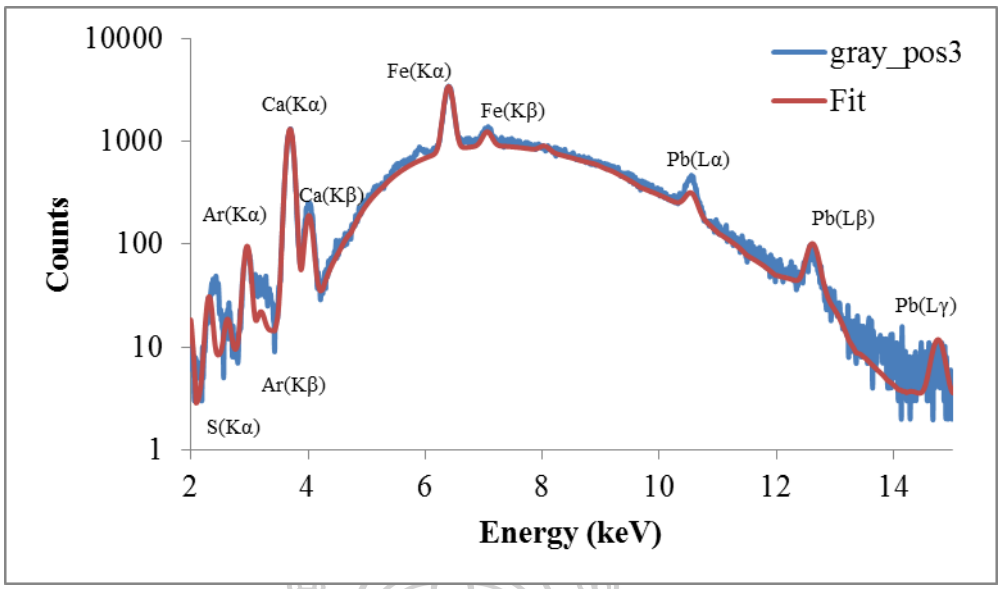
รูปที่ ข.18 สเปกตรัม XRF ของสีเขียว (RWBKK_green_pos3)



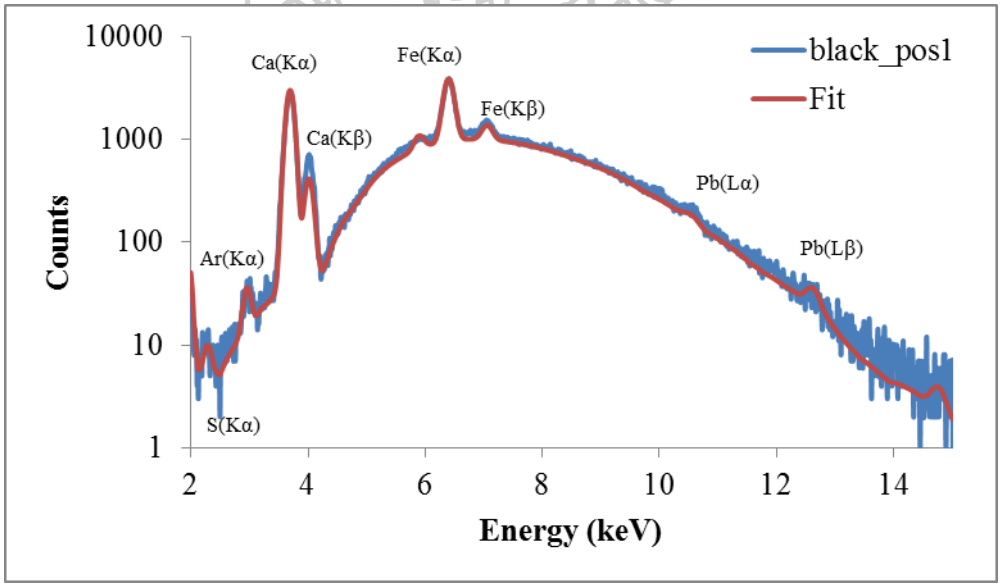
รูปที่ ข.19 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos1)



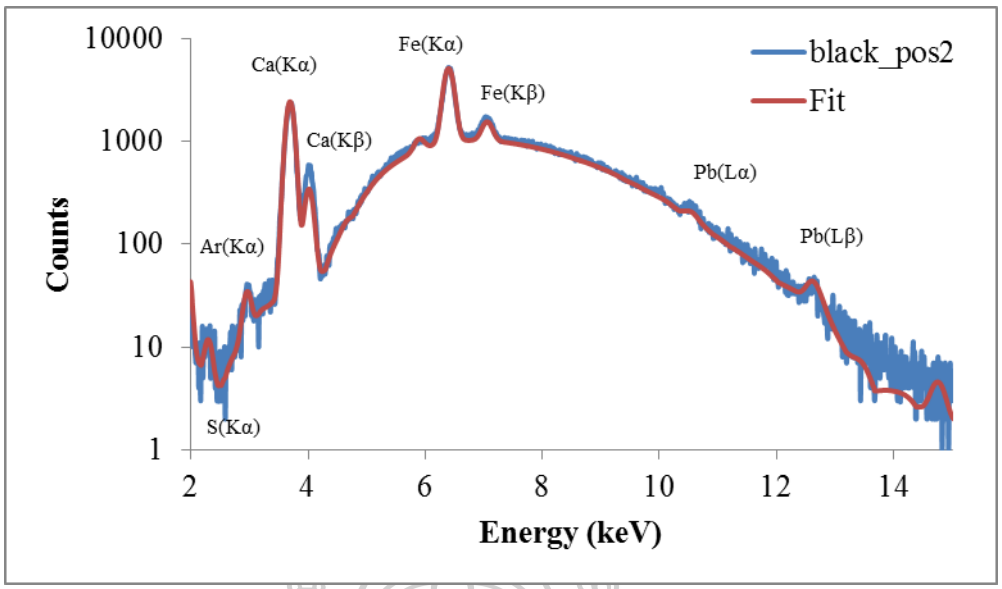
รูปที่ ข.20 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos2)



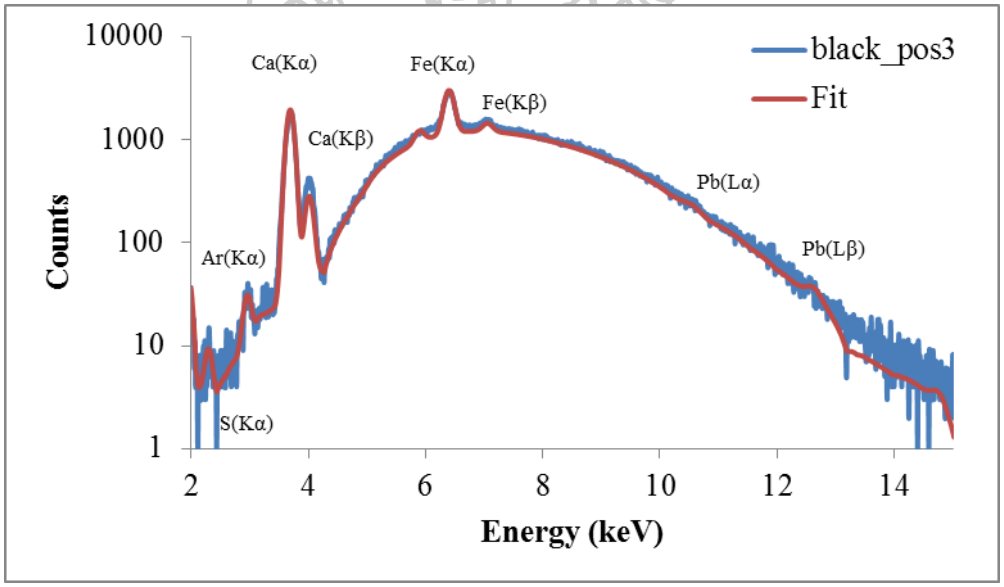
รูปที่ ข.21 สเปกตรัม XRF ของสีเทา (RWBKK_gray_pos3)



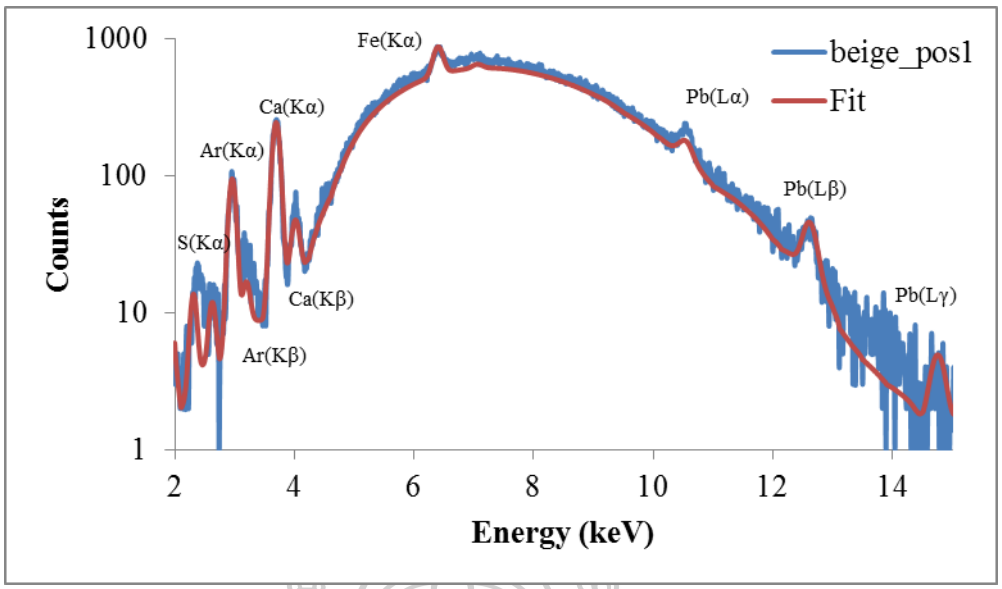
รูปที่ ข.22 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos1)



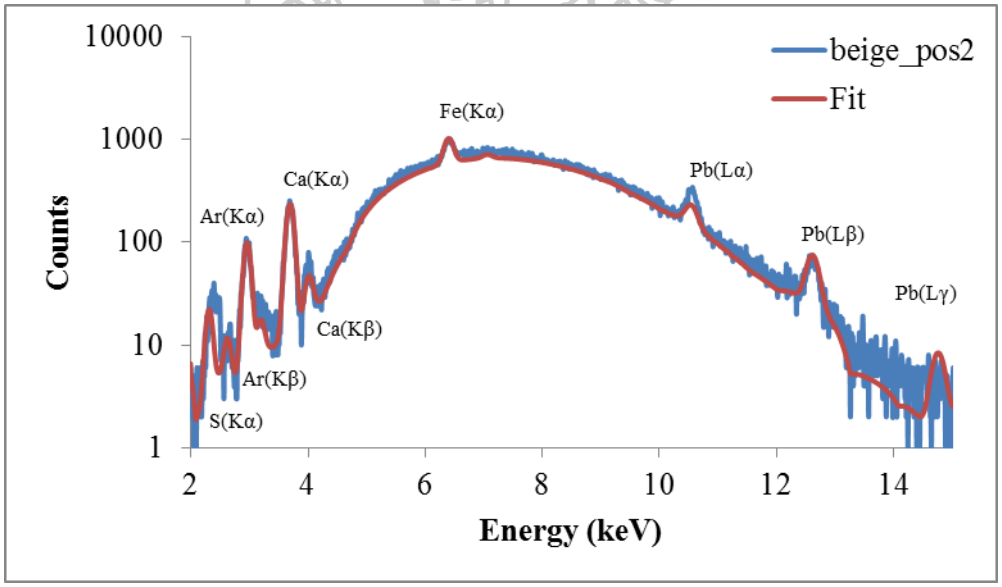
รูปที่ ข.23 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos2)



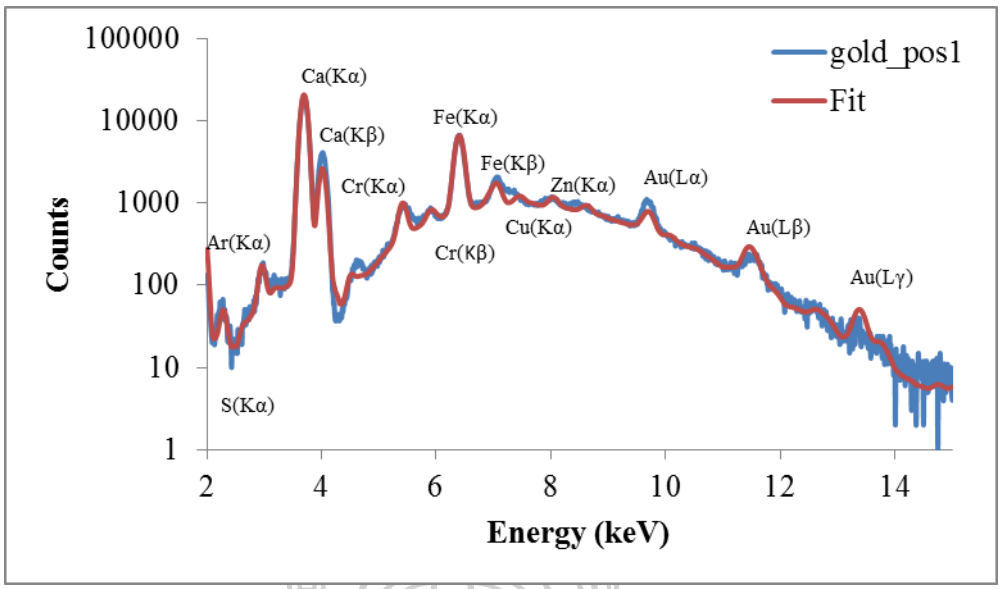
รูปที่ ข.24 สเปกตรัม XRF ของสีดำ (RWBKK_black_pos3)



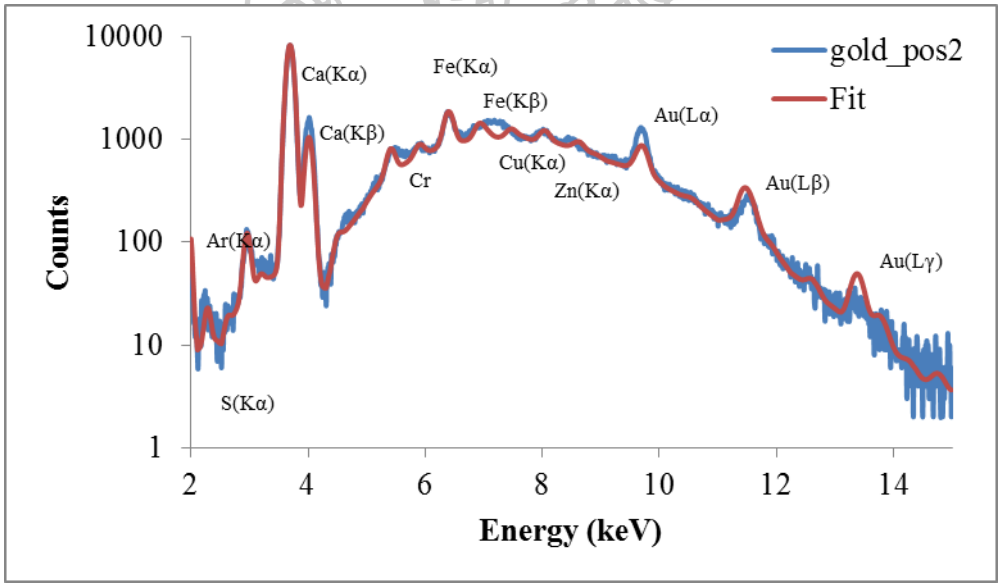
รูปที่ ข.25 สเปกตรัม XRF ของสีเนื้อ (RWBKK_beige_pos1)



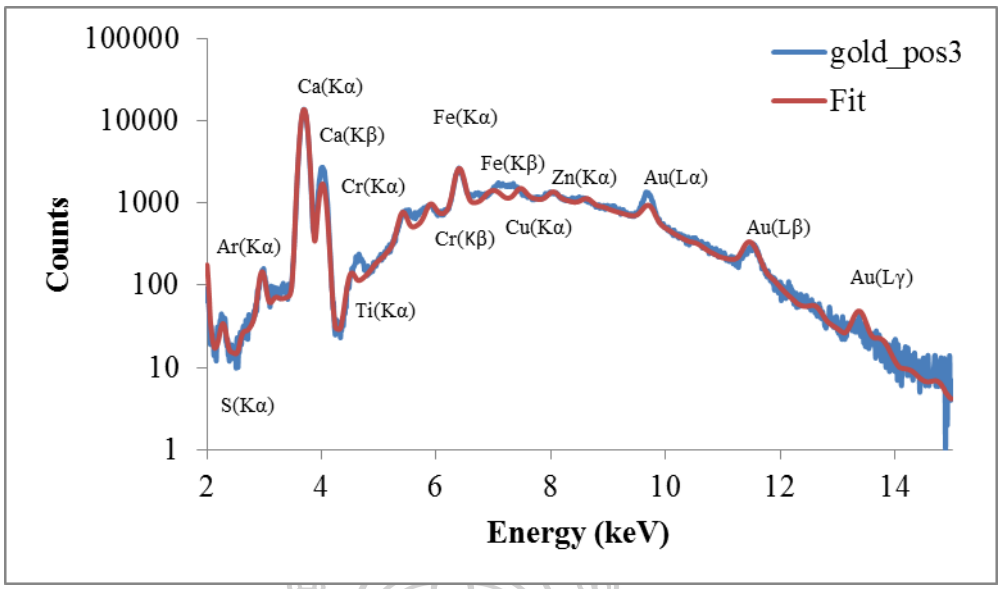
รูปที่ ข.26 สเปกตรัม XRF ของสีเนื้อ (RWBKK_beige_pos2)



รูปที่ ข.27 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos1)



รูปที่ ข.28 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos2)



รูปที่ ข.29 สเปกตรัม XRF ของสีทอง (RWBKK_gold_pos3)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ค

ภาพงานจิตรกรรมบนสมุดไทย ร.ว.3

รูปที่ ค.1 ภาพพระสงฆ์พนมมือ

(ก) (ข)

รูปที่ ค.2 เตมีย์ชาดก

(ก) พระเตมีย์ลองกำลังยกราชรถ

(ข) สุนันท์สารถีกำลังขุดหลุมฝังพระเตมีย์

(ก) (ข)

รูปที่ ค.3 มหาชนกชาดก ตอนพระมหาชนกออกผนวช

(ก) พระมหาชนก

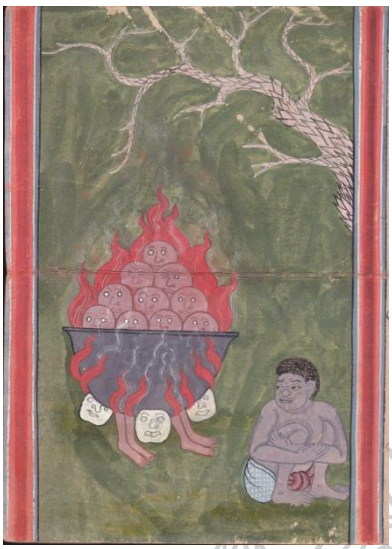
(ข) นางสีวลีเทวีกับราชสตรีเสด็จตาม

(ก) (ข)

รูปที่ ค.4 สุวรรณสามชาดก ตอนพระสุวรรณสามต้องศรพระเจ้าปิลยักขราช

(ก) โดนศรคือสุวรรณสาม

(ข) แผลงศรคือปิลยักขราช



(ก)

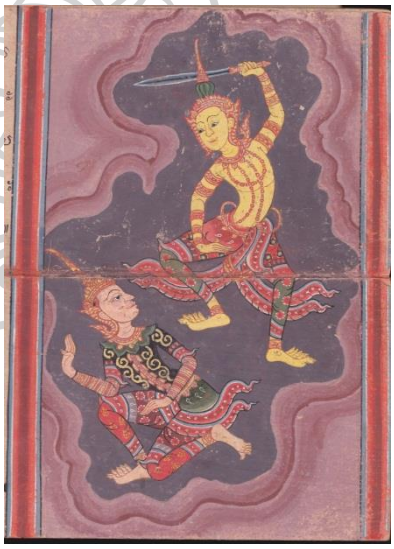
(ข)

รูปที่ ค.5 เนมีราชชาดก ตอนพระเนมีราชทอดพระเนตรนรก

(ก) กระทะทองแดง

(ข) พระเนมีราชประทับราชรถของมาตุลีเทพบุตร

(ก)



(ข)

รูปที่ ค.6 มโหสถชาดก ตอนพระมโหสถเจื้อดาบขู่พระเจ้าจุลนีในถ้ำ

(ก) กษัตริย์ 101 เมืองที่ถูกขัง

(ข) พระมโหสถยกดาบขู่พระเจ้าจุลนีพรหมทัต

(ก)

(ข)

รูปที่ ค.7 จันทกุมารชาดก ตอนบูชายัญพระจันทกุมาร

(ก) พราหมณ์เตรียมพิธี

(ข) พระจันทกุมารในปะรำพิธี

(ก)

(ข)

รูปที่ ค.8 พรหมนารทชาดก ตอนพระพรหมนารทโปรดนางรุจา

(ก) นางรุจาและสาวชาววัง

(ข) พระพรหมนารทเหาะลงมาพร้อมสาแหรกทองคำ

(ก) (ข)

รูปที่ ค.9 วิธุรชาดก ตอนนางอิรันทตีฟ้อนรำกับตอนปุณณกยักษ์ขี่ม้าพาวิธุรบัณฑิตออกจากเมือง

(ก) นางอิรันทตีฟ้อนรำหาคนมาช่วย

(ข) ปุณณยักษ์ขี่ม้าพาวิธุรบัณฑิตไปฆ่า

(ก) (ข)

รูปที่ ค.10 วิธุรชาดก ตอนวิธุรบัณฑิตเทศนาปุณณกยักษ์และปุณณกยักษ์พยายามฆ่าวิธุรบัณฑิต

(ก) วิธุรบัณฑิตนั่งเทศนาปุณณกยักษ์

(ข) ปุณณกยักษ์จะฟาดวิธุรบัณฑิตกับภูเขา

(ก) (ข)

รูปที่ ค.11 วิธุรชาดก ตอนปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตกลับเมือง/วิธุรบัณฑิตเข้าเฝ้าพญานาคราชกับปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตไปยังนาคพิภพ

(ก) ปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตกลับเมืองหรือวิธุรบัณฑิตเข้าเฝ้าพญานาคราช

(ข) ปุณณกยักษ์พาวิธุรบัณฑิตไปยังพิภพนาค

(ก) (ข)

รูปที่ ค.12 เวสสันดรชาดก ตอนพระเวสสันดรเสด็จด้วยพระบาทสู่เขาวงกต

(ก) พระเวสสันดรและนางมัทรีเลี้ยงพระกัณหาและพระชาลี

(ข) พระเวสสันดรและนางมัทรีอุ้มพระโอรสธิดา

(ก) (ข)

รูปที่ ค.12 เวสสันดรชาดก ตอนกษัตริย์เจตราษฎร์เชิญพระเวสสันดรครองเมือง

(ก) พระเวสสันดรและนางมัทรีอุ้มพระโอรสธิดา

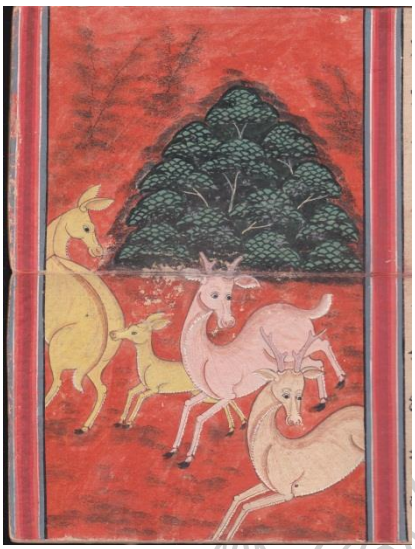
(ข) กลุ่มกษัตริย์เจตราษฎร์มาเข้าเฝ้า

(ก) (ข)

รูปที่ ค.13 เวสสันดรชาดก ตอนทั้ง 4 อาศัยในเขาวงกต

(ก) นางมัทรีออกไปหาผลไม้

(ข) พระเวสสันดรสั่งสอนลูก



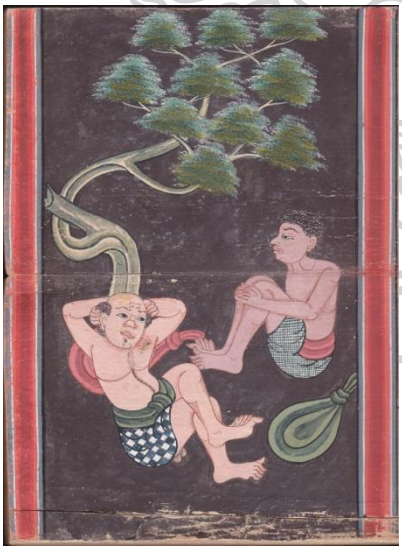
(ก)

(ข)

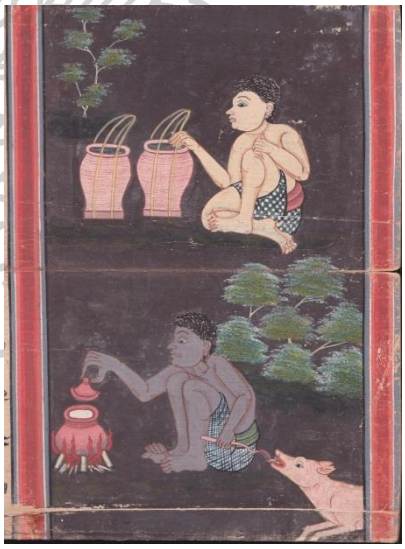
รูปที่ ค.15 พรานป่าล่ากวาง

(ก) หมู่กวาง

(ข) นายพรานถือปืน



(ก)



(ข)

รูปที่ ค.16 วิธีชีวิต

(ก) คนนั่งพัก

(ข) ขวามีคนเตรียมอาหาร

ภาคผนวก ง
หนังสือรับรอง

รูปที่ ง.1 เกียรติบัตรการฝึกปฏิบัติงานด้านการสงวนรักษาหนังสือ

รูปที่ ง.2 เกียรติบัตรการฝึกปฏิบัติงานด้าน XRF

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
Synchrotron Light Research Institute (Public Organization)

Ref.No. 6100/ ว14

17 October 2016

Re: Workshop on X-ray Fluorescence Spectroscopy and Imaging (XRF2016)

Dear Miss Jutamas Rueangyodjantana,

The Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), SLRI, will be organizing the Workshop on X-ray Fluorescence Spectroscopy and Imaging (XRF2016) on 26-28 October 2016 at SLRI, Nakhon Ratchasima, Thailand.

We are please to invite you to attend this event at SLRI, during the above mentioned period of time. We are looking forward to seeing you soon at SLRI.

Yours sincerely,

Dr.Somchai Tancharakorn
Director for Research Facility Division
Synchrotron Light Research Institute (Public Organization)

(User Service Section)
Tel: +66-4421-7040 # 1603 (Miss Sidaphat Rodthai)
Fax: +66-4421-7047
E-mail: useroffice@slri.or.th

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โทรศัพท์ : (044) 217-040 โทรสาร (044) 217-047
111 University Ave., Muang District , Nakhon Ratchasima Thailand Tel : (66 44) 217-040 Fax : (66 44) 217-047
ที่อยู่ไปรษณีย์ ตู้ ปณ.93 ปณจ. นครราชสีมา 30000 : PO BOX 93 Nakhon Ratchasima 30000 THAILAND
สำนักงาน สซ. กรุงเทพมหานคร: 75/47 กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถ.พระราม 6 ทุ่งพญาไทราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 โทรศัพท์ +66-2354-3954 โทรสาร +66-2354-3955
Bangkok Office : 75/47 Ministry of Science and Technology, Rama VI Road, Tungpayathai Sub-district, Ratchathewi, Bangkok Tel : +66-2354-3954 Fax : +66-2354-3955

รูปที่ ง.3 หนังสือรับรองการฝึกปฏิบัติงานด้าน XRF

รูปที่ ง.4 เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบโปสเตอร์งาน PACCON 2017

GREEN CONVERGENCE ON CHEMICAL FRONTIERS

February 2-3, 2017

Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana, Bangkok, Thailand

www.paccon2017.com

Date: November 23, 2016

Subject: Acceptance of Abstract for PACCON 2017

Dear Ms. Jutamas Rueangyodjantana,

I am pleased to inform you that your abstract entitled "Studies on the deterioration of ancient Thai manuscripts" has been accepted for poster presentation.

THE ACCEPTED ABSTRACTS WILL BE PUBLISHED IN THE ON-LINE ABSTRACT BOOK IF THE EARLY BIRD REGISTRATION AND FULL PAYMENT ARE MADE BEFORE **DECEMBER 2, 2016**.

Having your abstract accepted, you may optionally submit the proceedings paper for further review. The deadline for proceedings submission is **January 19, 2017**. The instruction for proceedings preparation is available on our website (http://www.paccon2017.com). Please note that acceptance of the abstract does not guarantee acceptance of the proceedings.

If you have any further inquiries, please do not hesitate to contact us via e-mail at paccon2017@gmail.com.

Yours sincerely,
Associate Professor Dr. Yingpit Pornputtkul
Chairperson of PACCON 2017

Secretariat Office: Wild Blue Organizer, 19/2 Ekkamai 10, Sukhumvit 64, Klong Ton, Wattana Bangkok 10110, THAILAND
T. +66(0) 2 714 2590, F. +662 7142656, paccon2017@gmail.com www.paccon2017.com

รูปที่ ง.5 หนังสือรับรองการนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบโปสเตอร์งาน PACCON 2017

ที่ ศธ 6806 (นฐ.) / 4374

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

13 มิถุนายน 2560

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความเพื่อจัดพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ Veridian E - Journal Science and Technology Silpakorn University ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2560

เรียน นางสาวจุฑามาส เรืองยศจันทนา

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง **"การสกัดเซลลูโลสและการทำกระดาษจากเปลือกข่อย"** เพื่อพิจารณาจัดพิมพ์เผยแพร่ ในวารสารวิชาการ Veridian E - Journal Science and Technology Silpakorn University ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2560 นั้น

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ขอเรียนให้ทราบว่าผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณาบทความของท่านแล้ว **เห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่บทความ**ดังกล่าวในวารสารวิชาการ Veridian E - Journal Science and Technology Silpakorn University ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2560 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

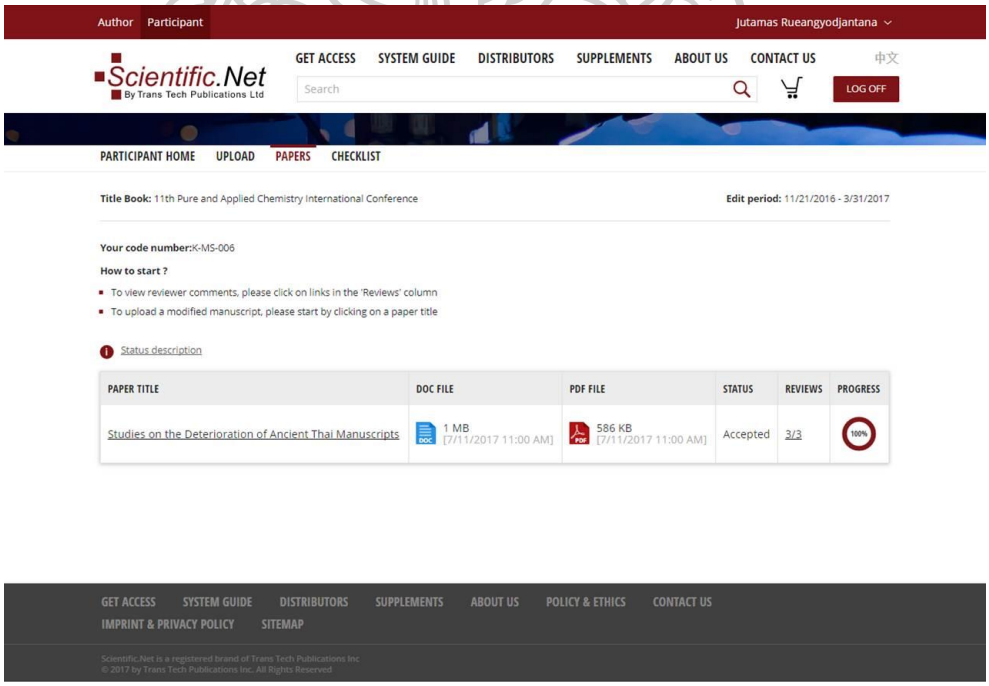
ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม)
รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยฝ่ายวิชาการและวิจัย
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการ
โทรศัพท์ 034 - 218791 โทรสาร 034 - 243435
เว็บไซต์เผยแพร่ http://tci-thaijo.org/index.php/VESTSU/issue/archive

รูปที่ ง.5 หนังสือรับรองการตีพิมพ์วารสารวิชาการ Veridian E-Journal

รูปที่ ง.5 เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ด้วยโปสเตอร์การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 7



รูปที่ ง.5 การตอบรับการตีพิมพ์ Key Engineering Materials (KEM)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุฑามาส เรืองยศจันทนา
วัน เดือน ปี เกิด	26 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	พิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	2552 - 2555 ศิลปศาสตรบัณฑิต (ประวัติศาสตร์ศิลปะ) วิชาโท พิพิธภัณฑสถานศึกษา คณะโบราณคดีมหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร 2558 – ปัจจุบัน ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (อนุรักษ์ศิลปกรรม) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	จังหวัดสุโขทัย
ผลงานตีพิมพ์	เรื่อง การสกัดเซลลูโลสและการกระดาษจากเปลือกข่อย ในวารสารวิชาการ Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2560

มหาวิทยาลัยศิลปากร