การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวจันทร์จิตรา แวงแสน

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

การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวจันทร์จิตรา แวงแสน

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

THE STUDY ON DETERIORATION AND CONSERVATION OF NIELLO WARE. CASE STUDIES OF WAT RAJATHIWASVIHARA, BANGKOK.

By

MISS Janjittra VANGSAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Arts (CONSERVATION OF FINE ART)

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวจันทร์จิตรา แวงแสน
สาขาวิชา	อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

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

พิจารณาเห็นชอบโดย

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

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

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(พิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ)

626020002 : อนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : เครื่องถม, ความเสื่อมสภาพของโลหะ, สนิมโลหะ

นางสาว จันทร์จิตรา แวงแสน: การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม

เครื่องถมโบราณเป็นงานศิลปกรรมที่มีความสำคัญของไทย ใช้เทคนิคเชิงช่างที่หลากหลาย การอนุรักษ์วัตถุโบราณเหล่านี้จะเป็นการสืบสานเทคนิคเชิงช่างชั้นสูงนี้ให้คงอยู่ ขั้นตอนที่สำคัญของการอนุรักษ์คือการศึกษาความเสื่อมสภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสื่อมสภาพ สนิมที่เกิดขึ้นบนเครื่องถมและหาแนวทางการอนุรักษ์เครื่องถมของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร โดยการสำรวจเครื่องถม 1 ชุดมี 4 ชิ้น พบว่ามีรอยขีดข่วน คราบสกปรก การเปลี่ยนเฉดสีของโลหะ สนิมโลหะ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทั้งในและนอกวัตถุ รายละเอียดของเครื่องถมถูกเก็บในบันทึกรายงานความเสื่อมสภาพ โดยรายงานจะประกอบไปด้วยข้อมูลเบื้องต้น สภาพของวัตถุ ภาพถ่ายถูกบันทึกด้วยกล้องดิจิตอล และกล้อง Portable Digital Microscope เพื่อนำมาวิเคราะห์รายละเอียดความเสื่อมสภาพ พบว่าพื้นผิวบริเวณในส่วนของเนื้อเงินมีคราบสกปรกหนา พบร่องรอยชำรุด รอยขูดขีดเป็นแนวยาว พบคราบสนิมสีเขียว น้ำตาล และพื้นผิวบริเวณยาถม จะพบร่องรอยการกะเทาะ รอยเดือดของยาถม มีคราบสนิมสีเขียว,ขาว,น้ำตาล ในการสำรวจเครื่องถมได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีคราบบนเครื่องถมเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวและชนิดของสนิมบนพื้นผิวของเครื่องถม พบสนิมของ Cu และ Ag รวมทั้งพบธาตุ S ซึ่งเป็นองค์ประกอบของยาถม

นอกจากนี้ยังได้ผลิตเครื่องถมตัวอย่างเพื่อศึกษาวัสดุและกระบวนการในการทำเครื่องถมเงินและถมทอง จากนั้นได้นำตัวอย่างเครื่องถมมาจำลองการเกิดสนิมในโถความชื้น (100% RH) เป็นเวลา 105 วัน พบการเกิดสนิทกระจายทั่วบริเวณชิ้นงาน การทำความสะอาดเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครมีการทำความสะอาดเบื้องต้นโดยใช้ไฮโดรเจล ตรวจสอบพื้นผิวของเครื่องถม (ก่อนและหลังทำความสะอาดด้วยไฮโดรเจล) ด้วยกล้อง Portable Digital Microscope พบว่าเครื่องถมที่จำลองความชื้นนั้นเกิดสนิมสีเขียว (สนิมทองแดง) ขาว (สนิมตะกั่ว) และสีน้ำตาล (สนิมเงิน) กระจายทั่วทั้งบริเวณ ตรวจสอบไฮโดรเจลหลังดูดสนิมจากเครื่องถมด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray (EDX) พบว่าคราบสนิมที่เกิดขึ้นบนเครื่องถมนั้นเป็นธาตุเดียวกันกับวัสดุที่นำมาผลิต อีกทั้งยังพบว่าเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครนั้นเป็นเครื่องถมทอง แนวทางการอนุรักษ์เชิงป้องกันเครื่องถมคือการเก็บในสถานที่ที่มีการควบคุมความชื้น (ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 60 %) และปลอดฝุ่น

626020002 : Major (CONSERVATION OF FINE ART)
Keyword : Niello wares, Metal deterioration, Metal rust

MISS Janjittra VANGSAN : The study on deterioration and conservation of Niello ware. case studies of Wat Rajathiwasvihara, Bangkok. Thesis advisor : Associate Professor Radchada Buntem, Ph.D.

The niello wares are the important Thai artworks using various techniques. The conservation of these objects helps keep and maintain these prestigious artistic techniques. In this research, study on the causes of deteriorations and rust formation on the neillo wares of Wat Rajathiwasvihara, Bangkok, including the plausible way of conservation is performed. After thorough investigation on one set of niello objects (4 pieces), the deteriorations like scratch, stain, discoloring of the metal and metal rust were found all over the surface. These chemical changes occurred both inside and outside. The details were recorded in the condition report composed of general information and object conditions. The images were recorded by digital camera and portable digital microscope in order to analyze the detailed deterioration. On the silver metallic area, the black rust, defective traces, long scratches including green, brown rusts. While in the niello area, the detachment and bubbles including green, white and brown rusts were found all over the surface. The sampling on the surface of the niello wares was performed for SEM-EDX to study on the morphology and elemental composition of rust. Cu, Ag and S were found on the surface of niello wares. The new silver and gold niello models were prepared in order to study on the materials and detailed techniques. The model samples were kept in 100% RH container for 105 days. Rusts in green (copper(II) oxide), white (lead(II) oxide) and brown (Silver(I) oxide) colors were observed all over the model samples as evidenced from a portable digital microscope. Hydrogel was applied to clean rust on the niello surface. The EDX analysis on the hydrogel after cleaning show the existence of elements used in making niello model. The plausible preventive conservation for the niello wares is to keep them in a controllable relative humidity (< 60%) and dustless place.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม : กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างมากจากรองศาสตราจารย์ ดร. รัชฎา บุญเต็ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำสิ่งต่างๆด้วยความละเอียดและเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกร่องต่างๆในงานวิจัยและมีเมตตาต่อการศึกษาเรียนรู้สิ่งต่างๆ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ ชาตินิยม ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และ นางสาวพิมพ์พรรณ ไพบูลย์หวังเจริญ นักอักษรศาสตร์ทรงคุณวุฒิ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ขอขอบพระคุณท่านพระครูสิริกวีวัฒน์ ที่มีเมตตาอย่างมากช่วยติดต่อเป็นธุระในการประกอบกิจกรรมต่างๆร่วมไปถึงการอุปโภคเครื่องใช้ต่างๆ ภายในวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร และยังได้ให้การสนับสนุนอนุญาติให้นำเครื่องถมมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีอุปการคุณกับผู้วิจัยตลอดมา นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณการให้ความสนับสนุนและความช่วยเหลือจากสถาบันและบุคคล ดังนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สำเนียง หนูคง อาจารย์เครื่องประดับวิทยาลัยเพาะช่างเป็นครูช่างของข้าพเจ้า ได้ให้ความรู้ความเมตตา ถามอะไรไปไม่เคยที่จะไม่ตอบ และสนับสนุนอุปกรณ์วัสดุต่างๆที่ข้าพเจ้าขาดเหลือตลอดมา ขอขอบคุณอาจารย์ทศพล ถังมณี นายช่างศิลปกรรมชำนาญงาน สำนักช่างสิบหมู่ ที่ได้ให้ความรู้เรื่องเครื่องถมตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ในการทำเครื่องถม ขอบคุณนายเอกชัย เนวชื่น และนายทินวิชช์ ศรีรักษา นายช่างศิลปกรรมปฏิบัติงาน สำนักช่างสิบหมู่ ที่ให้ความรู้แล้วความเข้าใจในการทำเครื่องถมมากขึ้น ขอบใจน้องไนท์ นางสาววันทนีย์ แซ่ท่อ ที่ช่วยในการทำตัวอย่างเครื่องถม อีกทั้งกิจกรรมต่างๆในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณอาจารย์สมชายและอาจารย์ธเนตรที่ช่วยสอนเครื่องถมเพิ่มเติม ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพบูลย์ พยัพเมฆครูช่างผู้สนับสนุนข้าพเจ้าทุกทางไม่ว่าจะเรื่องอะไรครูข้าพเจ้าไม่เคยปฏิเสธ ขอขอบพระคุณสถาบันที่ได้ให้การอนุเคราะห์สิ่งต่างๆ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามถึงเป็นอย่างสูง ที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณ

นางสาว จันทร์จิตรา แวงแสน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย 1

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 1

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย 1

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 4

2.1 ประวัติวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร 4

2.2 ถมจุฑาธุช 4

2.3 พระประวัติสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัย .. 5

2.4 ประวัติเครื่องถมในประเทศไทย 6

2.5 เทคนิคการทำเครื่องถม 7

2.6 ความเสื่อมสภาพ 10

2.7 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความเสื่อมสภาพของโลหะ 12

2.8 การอนุรักษ์ 13
2.9 ซิลิกาเจล 15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 16
3.1 อุปกรณ์ 16
3.2 สารเคมี 17
3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ 17
3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ 17
3.5 วิธีการทำเครื่องถมเงินเลียนแบบเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร 20
3.6 วิธีการทำเครื่องถมทอง 26
3.7 การทำให้ชิ้นงานเครื่องถมที่ผลิตขึ้นใหม่เกิดความเสื่อมสภาพ 29
3.8 การทำความสะอาดชิ้นงานเครื่องถม 29
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 32
4.1 ผลการประเมินสภาพชิ้นงาน 32
4.2 การทำความสะอาดเครื่องถมด้วยไฮโดรเจล (Hydrogel) 38
4.3 ลักษณะชิ้นงานเครื่องถมเงินและถมทองที่ผลิตขึ้นใหม่ 41
4.4 แบบจำลองเร่งความเสื่อมสภาพของชิ้นงานเครื่องถมที่ทำขึ้นใหม่ 42
4.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างเจลและสำลีด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 46
4.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างสนิมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 48
4.7 ร่องรอยการการทำความสะอาดเครื่องถม จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ 55
4.8 การดูแลรักษาและการจัดเก็บ 56
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 58
รายการอ้างอิง 60

ภาพผนวก 63

ประวัติผู้เขียน 96

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1ระยะการดำเนินงาน 3

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกการเสื่อมสภาพ 32

ตารางที่ 3 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมวัดราชาธิวาส ก่อนและหลังการกำจัดสนิม 39

ตารางที่ 4 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมเงิน (ที่ผลิตใหม่) ก่อนและหลังการกำจัดสนิม 44

ตารางที่ 6 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมทอง (ที่ผลิตใหม่) ก่อนและหลังการกำจัดสนิม 45

ตารางที่ 5 การทดสอบไฮโดรเจลชนิดต่างๆ 46

ตารางที่ 7 แสดงธาตุของเครื่องถมวัดราชาธิราชวิหาร กรุงเทพมหานคร 55

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 เครื่องถมตะทอง 6

ภาพที่ 2 แท่งยาถม 8

ภาพที่ 3 ตัวอย่างเครื่องถมที่เสียหาย 10

ภาพที่ 4 สนิมที่เกิดในตลับยาถม จากวัดราชาธิวาสวิหาร 11

ภาพที่ 5 สนิมในตลับเงินที่มีส่วนผสมของทองแดง จากวัดราชาธิวาสวิหาร 12

ภาพที่ 6 ผงสนิมสีขาวบนเนื้อตะกั่ว จากวัดราชาธิวาสวิหาร 12

ภาพที่ 7 รูปก่อนและหลังการอนุรักษ์ถ้วยโลหะแบบแท่น 14

ภาพที่ 8 บูรณะถ้วยโลหะด้วยเรซิน 14

ภาพที่ 9 ภาพภาชนะเงินก่อนและหลังการอนุรักษ์ 15

ภาพที่ 10 ซิลิกาเจล 15

ภาพที่ 11 กล่องถมเงิน 17

ภาพที่ 12 กล่องถมเงิน A-1 18

ภาพที่ 13 กล่องถมเงิน A-2 18

ภาพที่ 14 กล่องถมเงิน A-3 19

ภาพที่ 15 กล่องถมเงิน A-4 19

ภาพที่ 16 เม็ดโลหะเงินและทองแดง 21

ภาพที่ 17 การหลอมรีดโลหะ 21

ภาพที่ 18 แผ่นโลหะเงิน 22

ภาพที่ 19 ลวดลายบนแผ่นเงิน 22

ภาพที่ 20 แผ่นเงินที่ถูกสลัก 22

ภาพที่ 21 การโอชิ้นงานให้มีความเว้าความนูนตามต้องการ 23

ภาพที่ 22 การสลักย้ำตัวลาย 23
ภาพที่ 23 แผ่นเงินที่ตอกลวดลายเสร็จ 24
ภาพที่ 24 การใช้ไฟเพื่อละลายยาถมบนชิ้นงานเงิน 24
ภาพที่ 25 การขัดยาถมด้วยตะไบ 25
ภาพที่ 26 การขัดยาถมด้วยกระดาษทราย 25
ภาพที่ 27 ยาถมที่ถูกขัดออกตามลำดับ 26
ภาพที่ 28 เครื่องถมหลังทำความสะอาด 26
ภาพที่ 29 ทองคำ 99.99 เปอร์เซ็นต์ 27
ภาพที่ 30 ทองคำที่ผสมกับปรอท 27
ภาพที่ 31 ทองที่อยู่ในปรอท 28
ภาพที่ 32 การทาทองให้ทั่วชิ้นงานโดยใช้แท่งเหล็ก 28
ภาพที่ 33 การเป่าไฟไล่ปรอทจากชิ้นงาน 28
ภาพที่ 34 การทำความสะอาดถมทอง 29
ภาพที่ 35 กล่องเครื่องถมจากตู้จัดเก็บ 29
ภาพที่ 36 การกำหนดจุดบนแผ่นพลาสติกใสเพื่อทดสอบเจลทำความสะอาด 30
ภาพที่ 37 การวางไฮโดรเจล 30
ภาพที่ 38 การทำงานของไฮโดรเจล 30
ภาพที่ 39 การวางไฮโดรเจลบริเวณกว้าง 31
ภาพที่ 40 การเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอร์ 31
ภาพที่ 41 เครื่องถมเงินจำลองที่เกิดสนิม 31
ภาพที่ 42 การทำความสะอาดเครื่องถมด้วยแผ่นเจล 38
ภาพที่ 43 การเสื่อมสภาพของพื้นผิวส่วนเงิน 38
ภาพที่ 44 พื้นผิวส่วนยาถม 39
ภาพที่ 45 ชิ้นงานเครื่องถม 41

ภาพที่ 46 โถควบคุมความชื้น 42
ภาพที่ 47 ถมเงิน (B1) และถมทอง (B2) ใน petri dish 42
ภาพที่ 48 การนำ petri dish วางในโถแก้ว 43
ภาพที่ 49 ชิ้นงานทดลองก่อนและหลังทำความสะอาด 43
ภาพที่ 50 ภาพตัวอย่างเครื่องถมที่ทำขึ้นใหม่ 43
ภาพที่ 51 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1 47
ภาพที่ 52 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1 47
ภาพที่ 53 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1 47
ภาพที่ 54 ข้อมูล SEM-EDX ของสำลีหลังทำความสะอาดกล่อง A-1 48
ภาพที่ 55 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 49
ภาพที่ 56 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2 49
ภาพที่ 57 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-3 50
ภาพที่ 58 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-4 50
ภาพที่ 59 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 (ด้านใน) 51
ภาพที่ 60 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 Spot1 51
ภาพที่ 61 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 Spot1 52
ภาพที่ 62 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2 Spot1 53
ภาพที่ 63 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2 Spot5 54
ภาพที่ 64 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-3 Spot1 54
ภาพที่ 65 ร่องรอยการขัดจนถึงเนื้อเงินด้านใน 55
ภาพที่ 66 ร่องรอยการถูกขัดเป็นแนวเส้นชัดเจน 55
ภาพที่ 67 ตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้อง portable digital microscope ที่พบร่องรอยการขัด 56
ภาพที่ 68 การบรรจุซิลิกาเจล 56
ภาพที่ 69 สีจากการดูดความชื้นของซิลิกาเจล 57

ภาพที่ 70 กราฟแแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิภายในและนอกตู้จัดแสดง..... 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เครื่องถมนับว่าเป็นศิลปะที่สำคัญของไทยมีคุณภาพเชิงศิลปะสูง เครื่องถมส่วนใหญ่เป็นภาชนะเครื่องใช้ที่ผลิตให้พระบรมวงศานุวงศ์และขุนนางชั้นสูงตั้งแต่อดีต (ไม่พบหลักฐานว่าเริ่มมีมาตั้งแต่สมัยใด) จนถึงปลายศตวรรษที่ 19 (Bromberg, 2019) นอกจากจะเป็นภาชนะเครื่องใช้แล้วยังเป็นเครื่องราชบรรณาการ เครื่องราชกกุธภัณฑ์ เครื่องราชอิสริยาภรณ์แก่บรรดาข้าราชบริพาร รวมทั้งเป็นของสะสมและของที่ระลึกด้วย

การทำเครื่องถม (Niello ware) เป็นเทคนิคที่ทำให้โลหะเกิดลวดลายด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่น การแกะ ขูด ขุด สลัก เป็นต้น แล้วถมร่องบนโลหะด้วยสารสีดำที่เรียกว่า “ยาถม”ซึ่งประกอบไปด้วย ตะกั่ว ทองแดง เงิน และกำมะถัน ยาถมที่ถมในร่องจะมีสีดำ ลวดลาดส่วนใหญ่จะเป็นสีเงิน หากต้องการให้ลวดลายเป็นสีทองทั้งหมด ทำได้โดยการทาทองลงไปบนแผ่นโลหะที่ลงยาถมแล้ว ทาให้ทั่วทั้งแผ่นเรียกกระบวนการนี้ว่า “ถมทอง” แต่ถ้าทาทองลงบนแผ่นโลหะบางส่วนเรียกว่า “ถมตะทอง”

ปัจจุบันเครื่องถมเป็นที่ต้องการสำหรับนักสะสมเนื่องจากมีคุณค่าเชิงศิลปะและหายากในปัจจุบัน แต่เทคนิคงานเครื่องถมมีความซับซ้อน และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของช่างฝีมือ จึงทำให้มีราคาสูงมาก เครื่องถมที่ผ่านการเก็บรักษาในระยะเวลาหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการชำรุด เสียหาย ผุกร่อน บางชิ้นยากที่จะแก้ไข ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากอุณหภูมิ ความชื้น แสง ภัยธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ เป็นต้น เพราะฉะนั้นจึงควรมีวิธีการป้องกันและชะลอความเสื่อมสภาพเครื่องถม การปฏิบัติการแก้ไขอย่างเหมาะสมซึ่งวัตถุโบราณที่เป็นเครื่องถมแต่ละชิ้น มีกรรมวิธีการผลิต เทคนิค ส่วนผสมเนื้อโลหะที่หลากหลายและแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะศึกษากระบวนการผลิต ความเสื่อมสภาพ และสาเหตุความเสื่อมสภาพ และมุ่งเน้นหาแนวทางในอนุรักษ์งานเครื่องถมของไทย โดยศึกษาตัวอย่างเครื่องถมโบราณจากวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของเครื่องถม

1.2.2 เพื่อศึกษาสนิมที่เกิดขึ้นบนเครื่องถม

1.2.3 เพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์เครื่องถม

1.3 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.3.1 ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่องการเสื่อมสภาพของเครื่องถม

1.3.2 ทำให้ได้ความรู้เรื่องสนิมที่เกิดขึ้นบนเครื่องถม

1.3.3 ได้แนวทางในการอนุรักษ์เครื่องถมด้วยวิธีต่างๆ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)
3. ทำชิ้นงานเครื่องถมเลียนแบบของโบราณ
4. จำลองการเสื่อมสภาพเครื่องถมภายใต้ความชื้นสูง
5. ทำความสะอาดสนิมบนเครื่องถมโบราณและเครื่องถมที่ทำเลียนแบบด้วยไฮโดรเจล
6. แนวทางการเก็บรักษาเครื่องถมเพื่อชะลอการเกิดสนิม
7. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และนำเสนอผลงานวิจัย

1.5 วิธีการศึกษา วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- ประวัติวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร
- ประวัติเครื่องถมในประเทศไทย
- ถมจุฑาธุช
- พระประวัติสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัย
- เทคนิคการทำเครื่องถม
- ความเสื่อมสภาพ
- เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาการเสื่อมสภาพของโลหะ

- การอนุรักษ์
- ซิลิกาเจล

2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

สำรวจเครื่องถมที่วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร พบเครื่องถม 1 ชุด จำนวน 4 ชิ้น ผู้วิจัยได้บันทึกภาพด้วยกล้องดิจิตอล กล้อง Portable Digital Microscope และได้จดบันทึกข้อมูลสภาพวัตถุลงในตารางบันทึกการเสื่อมสภาพที่ได้ออกแบบ จากนั้นเก็บตัวอย่างสารด้วยการใช้สำลีมาถูบริเวณที่มีสนิม และนำสนิมไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

3. ทำชิ้นงานเครื่องถมเลียนแบบของโบราณ

3.1 ยาถม

ยาถมโดยส่วนมากของไทยนั้นมีส่วนผสมของ เงิน ทองแดง ตะกั่ว และกำมะถัน ในงานวิจัยนี้จะใช้ยาถมในอัตราส่วน เงิน 1 ส่วน : ทองแดง 5 ส่วน : ตะกั่ว 7 ส่วน และใส่กำมะถัน 13.5 ส่วน

3.2 เครื่องถม

เครื่องถมชิ้นงานจะขึ้นรูปด้วยเนื้อเงิน 95 % ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร สลักลายกระจังให้เป็นร่องและลงยาถม

4. จำลองการเสื่อมสภาพเครื่องถมภายใต้ความชื้นสูง

นำชิ้นงานเครื่องถมที่ทำเลียนแบบ มาวางไว้ในโถแก้วที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % เป็นเวลา 4 เดือน แล้วนำชิ้นงานออกมาตรวจสอบร่องรอยการเกิดสนิมด้วยกล้องPortable Digital Microscope

5. ทำความสะอาดสนิมบนเครื่องถมโบราณและเครื่องถมที่ทำเลียนแบบด้วยไฮโดรเจล

นำแผ่นไฮโดรเจลตัดเป็นชิ้นให้พอดีกับจุดสนิมที่จะทำความสะอาด จากนั้นวางไฮโดรเจลลงบนสนิม กดไฮโดรเจลให้ติดกับโลหะเล็กน้อยแล้วรอให้ไฮโดรเจลดูดสนิมเมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมจึงนำออก นำแผ่นไฮโดรเจลมาวิเคราะห์องค์ประกอบของสนิมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

6. แนวทางการเก็บรักษาเครื่องถมเพื่อชะลอการเกิดสนิม

แนวทางการเก็บรักษาเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร ควรเก็บเครื่องถมในความชื้นสัมพัทธ์ 30% เก็บในตู้ที่ปิดมิดชิด และนำสารดูดความชื้นบรรจุใส่ในตู้ที่จัดแสดง

7. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

นำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับองค์ประกอบของสนิมมาวิเคราะห์หาชนิดของโลหะที่ใช้ทำเครื่องถม ข้อมูลลักษณะพื้นผิว และแนวทางในการอนุรักษ์

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของระยะเวลาการศึกษา 14 เดือน ตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2564 และเสนอวิทยานิพนธ์ภายในเดือน กรกฎาคม 2565

ตารางที่ 1ระยะการดำเนินงาน

ขั้นตอน	เดือน													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.การศึกษาทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง														
2. การเก็บข้อมูล การประเมินสภาพ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)														
3. ทำชิ้นงานเครื่องถมเลียนแบบของโบราณ														
4. จำลองการเสื่อมสภาพเครื่องถมภายใต้ความชื้นสูง														
5. ทำความสะอาดสนิมบนเครื่องถมโบราณและเครื่องถมที่ทำเลียนแบบด้วยไฮโดรเจล														
6. แนวทางการเก็บรักษาเครื่องถมเพื่อชะลอการเกิดสนิม														
7. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และนำเสนอผลงานวิจัย														

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ประวัติวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

วัดราชาธิวาสวิหาร เดิมชื่อ “วัดสมอราย” เป็นวัดเก่าแก่โบราณ สันนิษฐานว่าสร้างก่อนกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานี ซึ่งได้รับการบูรณปฏิสังขรณ์เรื่อยมาโดยพระมหากษัตริย์ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ได้วินิจฉัยว่า คำว่า สมอ มาจากคำว่า ถมอ ที่แปลว่าหิน วัดสมอราย จึงแปลได้ว่า หินที่เรียงราย เมื่อสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวเถลิงถวัลยราชสมบัติแล้ว จึงได้พระราชทานนามวัดสมอรายใหม่ว่า “วัดราชาธิวาส” เนื่องด้วยเป็นวัดที่พระบาทสมเด็จพระพุทธเลิศหล้านภาลัย พระบรมชนก พร้อมด้วยกรมพระราชวังบวรมหาเสนานุรักษ์ได้ประทับระหว่างที่ทรงผนวช ต่อมาได้ขอพระราชทานเพิ่มเติมเป็น “วัดราชาธิวาสวิหาร” เป็นพระอารามหลวงชั้นโท ชนิดวรวิหาร ฝ่ายธรรมยุต (พระราชกวี, 2543) ตัวอย่างงานวิจัยเครื่องถมประเภทถมจุฑาธุชที่จะนำมาศึกษาครั้งนี้ มีสัญลักษณ์บนฝาเป็นตัวอักษรว่า สรัทจันทร จากการค้นคว้าหาข้อมูลพบว่า อักษรบนฝาเป็นนามพระธิดาองค์ที่ 15 (หม่อมราชวงศ์ จิราคม กิติยากร, 2520) ของพระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระจันทบุรีนฤนาถ กับหม่อมเจ้าอับสรสมาน กิติยากร พระธิดาองค์ที่ 11 นามว่า “ หม่อมเจ้าสรัทจันทร์ กิติยากร ” ซึ่งพบชื่อในหนังสือเรื่องตำนานภาษีอากรบางอย่าง กรมพระจันทบุรีนฤนาถ มีพระประสงค์จัดทำหนังสือเล่มนี้ เพื่อเป็นพระกุศลบุญในงานพระราชทานเพลิงศพ หม่อมเจ้าหญิงสรัทจันทร์ (หอพระสมุดวชิรญาณ, 2466) จึงสมมติฐานได้ว่า เครื่องถมจุฑาธุชชุดนี้ จัดทำขึ้นเป็นเครื่องสังเค็ดของที่ระลึก คำโบราณ หมายถึง ของชำร่วยในงานอวมงคล (ตรีนุช พลางกูล, 2554) เพื่อเป็นพระกุศลให้พระราชธิดา หม่อมเจ้าหญิงสรัทจันทร์

2.2 ถมจุฑาธุช

ถมจุฑาธุชเป็นชื่อเรียกเครื่องถม ที่มาจากพระนามเดิมของสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัย (เจ้าฟ้าจุฑาธุช) ผู้ทรงคิดค้นวิธีการสลักเครื่องถมโดยใช้เทคนิคการกัดโลหะและใช้สารเคมีในการกัดโลหะให้เป็นร่องลวดลายแทนการใช้สิ่วสลัก ซึ่งวิธีการนี้นิยมใช้กันมากตั้งแต่พุทธศักราช 2461จนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวิธีการทำเครื่องถมได้ง่ายขึ้นจากการใช้วิธีสลักลาย จึงได้ชิ้นงานที่มากขึ้นและลดต้นทุนในการผลิตเครื่องถมแบบโบราณ (สมชาย ณ นครพนม, 2555) พระองค์ได้ทรงนำวิธีการทำบล็อกโลหะมาใช้ โดยนำมาใช้ทำต้นฉบับลายต่างๆ ชิ้นงานเครื่องถมตัวอย่างวิจัยนี้ เป็นเครื่องถมประเภทถมจุฑาธุชโดยสันนิษฐานว่าผู้ผลิตเป็นกลุ่มช่างไทยนคร ซึ่งไทยนครมีช่างที่ทำเครื่องถมราว 100 คน และผลิตเครื่องถมประเภทถมจุฑาธุชหลากหลายลวดลาย ถมจุฑาธุชมีวิธีการสร้างชิ้นงานดังนี้

1. ทำได้โดยการเขียนลวดลายแล้วนำไปกัดกรด วิธีนี้จะใช้เป็นงานที่มีรูปแบบโค้ง

2. ทำได้โดยการถ่ายแบบลายถมลงในกระจก และการถ่ายแบบลวดลายลงบนแผ่นฟิล์มซึ่งจะเหมาะกับงานที่มีความเรียบ สามารถทำได้หลายชิ้น (ละม่อม โอชะกะ & นายมนตรี จันทพันธ์, 2539) จึงสามารถผลิตเป็นอุสาหกรรมส่งออกไปค้าต่างประเทศได้และมีกำหนดตรวจสอบมาตราฐาน เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีทรงคุณค่าทางศิลปะ

2.3 พระประวัติสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัย

สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัยเป็นพระราชโอรสของสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระศรีพัชรินทราบรมราชินีนาถ เมื่อพระชันษาครบพิธีโสกัณต์ พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าพระราชทานนามในพระสุพรรณบัฏ ว่า “สมเด็จพระเจ้าลูกยาเธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพชรบูรณ์อินทราชัย” พระองค์ทรงมีพระเชษฐภคินี พระเชษฐาและพระอนุชาร่วมพระชนนี ๗ พระองค์ คือ

1. สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าพาหุรัตมณีมัย กรมพระเทพนารีรัตน์
2. พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว
3. สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าตรีเพ็ชรุตม์ธำรง
4. จอมพล สมเด็จพระเชษฐาธิราช เจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถ
5. สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าศิริราชกกุธภัณฑ์
6. พลเรือเอก สมเด็จพระเชษฐาธิราช เจ้าฟ้าอัษฎางค์เดชาวุธ กรมหลวงนครราชสีมา
7. สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้าจุฑาธุชธราดิลก กรมขุนเพ็ชรบูรณ์อินทราไชย
8. พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว

เมื่อ พ.ศ.2448 พระองค์ได้ทรงไปศึกษาต่อในคณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ นอกจากนี้พระองค์ทรงสนพระทัยด้านการละคร ดนตรี ศิลปะตั้งแต่พระเยาว์ เมื่อพระองค์สำเร็จการศึกษาได้ทรงกลับมาเป็นอาจารย์สอนวิชาอังกฤษ จากนั้นทรงดำรงตำแหน่งผู้บัญชาการโรงเรียนเพาะช่าง ทรงจัดการเรียนการสอนเป็นแผนก ได้แก่ แผนกช่างทอง แผนกเจียระไนเพชรพลอย แผนกทำบล็อกสกรีน และแผนกเครื่องถม พระองค์ได้ทรงนำเทคนิควิธีกัดกรดมาใช้ในการผลิตเครื่องถม เรียกว่า “ถมจุฑาธุช” (สำนักงานเลขาธิการคุรุสภา, 2536)

งานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างเครื่องถมจากวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร มาศึกษาโดยเครื่องถมนี้ใช้เทคนิคถมประเภทถมจุฑาธุช นอกจากนี้เครื่องถมของไทยยังมีถมเงิน ถมทอง และถมตะทอง ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.4 ประวัติเครื่องถมในประเทศไทย

เอกสารทางประวัติศาสตร์กล่าวว่า เครื่องถมไทยมีมาตั้งแต่สมัยอยุธยาตอนต้นจนถึงปัจจุบัน เอกสารชิ้นแรกที่กล่าวถึงเครื่องถมอยู่ในรัชสมัยสมเด็จพระบรมไตรโลกนาถ เป็นกฎหมายเก่าว่าด้วยกฎมณเฑียรบาลมีการกล่าวคือ ขุนนางสมัยนั้นได้รับพระราชทานพานและโต๊ะถมทอง อันเป็นเครื่องแสดงบรรดาศักดิ์และตำแหน่งการปครองชั้นสูง (Bromberg, 2019)

สมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราชมีการส่งราชทูตไปยังฝรั่งเศสและได้ถวายพระราชสาสน์ต่อพระสันตะปาปา ณ กรุงโรม เนื้อความจากพงศาวดาร ภาคที่18 ระบุว่า “ราชทูตเชิญพานแว่นฟ้าทองคำรับราชสาส์น ๆ จารึกลงในแผ่นสุพรรณบัตรกว้าง ๖ นิ้ว ยาวศอกเศษ ม้วนบรรจุไว้ในผะอบทองคำลงยาราชาวดีอย่างใหญ่ พระสุพรรณบัตรกับผะอบรวมน้ำหนักประมาณทอง ๒ ชั่ง มีถุงตาดเทศดวงทองหุ้มผะอบ แลมีสายรัดผูกปากถุง มีภู่ทองสองภู่ติดที่ปลายสายรัดด้วย ผะอบนั้นตั้งอยู่ในหีบถมตะทองๆ ตั้งอยู่บนพานแว่นฟ้าทองคำ อุปทูตเชิญเครื่องมงคลราชบรรณาการ มีถุงตาดตาตั๊กกะแตนหุ้มตั้งบนพานทองคำชั้นเดียว ตรีทูตเชิญของถวาย เจ้าพระยาวิชาเยนทร์ อรรคมหาเสนาบดีกรุงสยาม มีถุงเข้มขาบพื้นเขียวหุ้ม๑ ถุงตั้งบนพานถมตะทองสำหรับถวายพระสันตปปา ” (หอพระสมุดวชิรญาณ, 2462) จะเห็นได้ว่าเครื่องถมมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่สำคัญแสดงให้เห็นว่าเครื่องถมของไทยนั้นมีมาตั้งแต่กรุงศรีอยุธยา และในยุคนั้นกรุงศรีอยุธยาได้มีการติดต่อซื้อขายกับชาวต่างชาติจึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนวัฒนธรรม และได้รับอิทธิพลทางศิลปะจากต่างประเทศเข้ามายังสยามประเทศ อาจเป็นได้ทั้งนำเทคนิคกรรมวิธีการทำเครื่องถม เครื่องทองต่างๆ มาจากประเทศเหล่านั้น หรือเป็นไปได้ว่าสยามอาจจะปรับประยุกต์เทคนิควิธีกรรมการทำเครื่องถมนี้ได้เอง

ภาพที่ 1 เครื่องถมตะทอง

(ที่มา: ฐานข้อมูลแหล่งโบราณคดีที่สำคัญของประเทศไทย ศูนย์มนุษยวิทยาสิรินธร : เข้าถึง 9 ต.ค. 2564. จาก https://www.sac.or.th/databases/archaeology/terminology/ถมตะทอง)

เครื่องถมของไทยกล่าวกันว่ามาจากนครศรีธรรมราช เพราะเป็นเมืองท่าของสยาม มีชาวต่างชาติหลากหลายที่เข้ามาค้าขาย จึงทำให้นครศรีธรรมราชเป็นศูนย์กลางการค้า เป็นเมืองท่าที่เจริญรุ่งเรือง เหตุนี้เครื่องถมจึงอาจจะได้รับเทคนิคมาจากชาวเปอร์เซีย อินเดีย โปรตุเกส มาลายู เพราะลักษณะเทคนิคเครื่องถมของไทย มีความคล้ายคลึงกับเครื่องถมของประเทศที่กล่าวมาข้างต้น เครื่องถมไทยนั้นไม่ได้ผลิตจากนครศรีธรรมราชที่เดียว แต่ยังมีการผลิตที่กรุงศรีอยุธยาอีกด้วย โดยคาดว่าได้ช่างฝีมือมาจากนครศรีธรรมราช หรือสมัยนั้นก็มีหมู่บ้านชาวโปรตุเกสอาศัยอยู่ที่กรุงศรีอยุธยา ซึ่งชาวโปรตุเกสเหล่านี้อาจเป็นผู้สอนเทคนิคเหล่านี้ให้

ในสมัยรัชกาลที่ 2 และรัชกาลที่ 3 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ยังคงมีการทำเครื่องถมและมีการฟื้นฟูศิลปะวัฒนธรรมอย่างมากหลังสงครามที่เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 1 จะเห็นได้ว่าสมัยรัชกาลที่ 3 มีการค้าที่รุ่งเรือง บ้านเมืองปราศจากศึกสงคราม และมีการผลิตเครื่องถมใช้เรื่อยมาเพื่อพระราชทานพระบรมวงศานุวงศ์และขุนนาง รวมทั้งมีการผลิตเป็นของที่ระลึกและของสะสม ตลอดจนทั้งของเครื่องใช้ต่างๆจนถึงสมัยปัจจุบัน ศิลปะเครื่องถมนั้นก็ได้รับการพัฒนาทางด้านเทคนิคและกรรมวิธีสืบมา

2.5 เทคนิคการทำเครื่องถม

เครื่องถม ในภาษาอังกฤษใช้คำว่า Nielloware คำว่า Niello มาจากคำในภาษาละตินว่า Nigellum เป็นคำที่มีความหมายตรงกับคำว่า Niger ซึ่งหมายถึง สีดำ (La Niece, 1983) ส่วนคำว่า Ware หมายถึง สินค้า เครื่องใช้ และผลิตภัณฑ์

ถม (Niello) คือ สารประกอบโลหะซัลไฟด์ มีส่วนผสมของโลหะเงิน ทองแดง และตะกั่ว หลอมรวมกัน จากนั้นใส่กำมะถันลงไปได้สารผสมมีลักษณะสีดำ ซึ่งจะนำสารสีดำที่ได้มาถมลงร่องในชิ้นงานเพื่อให้เกิดลวดลายเด่นชัด เรียกว่า “ยาถม” โดยยาถมมีหลายสูตรขึ้นอยู่กับตระกูลช่าง ส่วนมากเป็นสูตรเฉพาะของแต่ละพื้นที่

2.5.1 ยาถม

ยาถมของไทยใช้ตะกั่ว 30 ส่วน ทองแดง 25 ส่วน เงิน 15 ส่วน หลอมให้เข้ากัน 4 ชั่วโมงแล้วใส่กำมะถันลงไป เทลงเบ้าพักไว้ให้เย็น จากนั้นเอามาบดแล้วจึงนำเอาไปใช้งาน ยาถมที่ดีจะมีลักษณะสีดำสนิท มีความเงา ยาถมที่ไม่ดีจะมีสีดำด้าน มีฝ้าและมีตามด (ละม่อม โอชะกะ & นายมนตรี จันทพันธ์, 2539) บางพื้นที่มีการหลอมยาถม 4-6 ชม.ขึ้นไป ในการใช้งานนั้นอาจจะหล่อให้เป็นแท่ง (ดังภาพที่ 2) หรือเป็นผง

ภาพที่ 2 แท่งยาถม

ในต่างประเทศ มีประวัติการใช้ยาถมมาตั้งแต่สมัยโรมัน โดยมีการใช้โลหะตั้งแต่ 1-3 ชนิด หลอมกับกำมะถัน โดยจะมีสูตรในการผลิตยาถมที่แตกต่างกันดังนี้

1. คนอียิปต์โบราณ (Bruère, 1953) มีการทำยาถมโดยการใช้เงินหนึ่งส่วน ผสมกับทองแดงและกำมะถัน (ใช้ในปริมาณเท่ากับเงิน) แล้วจึงนำส่วนผสมที่ได้ไปหลอมในภาชนะที่เป็นเครื่องดินเผาปิดฝาให้แน่นด้วยดินเหนียว จากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนจนกระทั่งฝาของภาชนะเปิดออกมาเอง

2. (La Niece, 1983) ได้กล่าวถึงสูตรในการทำยาถมไว้สองแบบคือ แบบที่มีโลหะมากกว่าหนึ่งชนิด และแบบที่มีโลหะเพียงชนิดชนิดเดียว โดยแบบที่ผสมโลหะมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไปนั้น มีการแปรค่าสัดส่วนของปริมาณโลหะแล้วเติมกำมะถัน จะได้ยาถมที่มีสูตร 2 แบบคือ Ag/Cu/S และ Ag/Cu/Pb/S แล้วหลอมยาถมที่ได้กับน้ำประสาน (บอแรกซ์) จนละลาย แล้วเทลงบนลวดลายที่ออกแบบไว้จากนั้นจึงขัดชิ้นงานให้เรียบ สำหรับแบบที่มีโลหะเพียงชนิดชนิดเดียว (Ag/S และ Cu/S) นั้น เพียงแค่ให้ความร้อนให้อ่อนตัว แล้วกดลงในลวดลายบนชิ้นงาน

3. ตำรา Mappae (Clavicula, Hawthorne, & Smith, 1974) ในการทำยาถม ใช้เงิน 2 ส่วน ทองแดง 1 ส่วน กำมะถันอย่างน้อยสามส่วน และมีการใส่ตะกั่วลงไปในส่วนผสมด้วย

4. ตำรา Theophilus (Cellini, 1967) ได้กล่าวถึงวิธีการถมลายไว้สองแบบ คือการบดยาถมเป็นผงแล้วโรยลงบนลาย และวิธีที่สองคือหลอมยาถมให้ละลาย จากนั้นใส่มันลงไปถาดเหล็กรูปสี่เหลี่ยม คีบยาถมไว้แล้วถูลงบนชิ้นงานจนเต็มลวดลายที่เตรียมไว้

5. (Cellini & Ashbee, 1898) เขียนไว้ในช่วงต้นของคริสต์ศตวรรษที่ 16 ให้ใช้เงิน 1 ส่วน ทองแดง 2 ส่วน และตะกั่ว 3 ส่วน

6. (Allan, 1979) ทำการเผาเงินกับกำมะถันจนกลายเป็นสี Indian iron เมื่อความร้อนลดลงส่วนผสมจะค่อย ๆ แผ่ออกไปเหมือนกับแก้วหรือกระจก หากต้องการถมเงินด้วยส่วนผสมนี้ ให้โขลกส่วนผสมกับบอแร็กซ์ เติมน้ำ แล้วจึงเติมลงไปในลวดลายที่แกะไว้ ส่วนผสมก็จะค่อย ๆ ไหลไปเหมือนกับโลหะบัดกรี

7. (Maryon, 1971) กล่าวถึงแร่พลวงว่าสามารถใช้ร่วมกับเงิน ทองแดง และตะกั่วเพื่อให้เกิดสีดำที่ละเอียดหรือมีคุณภาพขึ้นได้

8. (Untracht, 1969) เขียนถึงสูตรแบบรัสเซียซึ่งมีการใส่บิสมัท (Bi- Bismuth ธาตุลำดับที่ 83) เพื่อให้เกิดสีฟ้าจาง

ส่วนผสมโลหะของยาถม ส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบคล้ายกันและมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดสีดำ ปริมาณโลหะที่ผสมต่างกันตามยุคสมัยและโลหะตามพื้นถิ่นที่มีอยู่ ทำให้การผลิตต่างกันตามปัจจัยแวดล้อม เช่นปัญหาทางเศรษฐกิจ

2.5.2 รูปพรรณ

โลหะรูปพรรณทำจากเงินที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95% มีโลหะอื่นผสมอยู่ไม่เกิน 5% (ส่วนผสมอื่น นิยมทองแดงบริสุทธิ์) หากนำเนื้อเงิน 100% มาใช้ขึ้นรูปพรรณนั้นสามารถทำได้แต่จะมีความอ่อนมากเกินไปจึงมีส่วนผสมอื่นเพื่อให้รูปพรรณมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ส่วนผสมเนื้อเงิน 95% นี้เป็นมาตรฐานสากล เรียกว่า เงินสเตอร์ลิง (Sterling Silver) หากเนื้อเงินต่ำกว่า 50% เมื่อลงยาถมจะไม่ติดเกาะตามร่อง (สมาคมเครื่องถมและเครื่องเงินไทย, 2512) จากนั้นช่างจะขึ้นรูปผลิตเป็นรูปทรงต่างๆตามแบบเครื่องถมที่ต้องการ

2.5.3 การสลักลาย

เมื่อขึ้นรูปพรรณชิ้นงานแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการสลักลาย ก่อนการสลักลายจะมีการออกแบบลวดลายต่างๆที่จะสลักลงไปในชิ้นงาน ในงานเครื่องถมลายไทยต่างๆ กรรมวิธีการสลัก การตอก สิ่งเหล่านี้สามารถบอกและจำแนกยุคสมัยของเครื่องถมได้ เช่น ลายอย่างเทศ ลายใบเทศ พุดตานใบเทศ ก้านต่อดอกใบเทศ ลวดลายเหล่านี้นิยมมากในสมัยรัชกาลที่ 5 ในรัชกาลที่ 2 ส่วนมากจะเป็นถมตะทองมีลายกลีบบัวไส้กระหนก ก้านขดเครื่องกระหนก ก้านต่อดอกใบเทศประกอบราชสีห์ เป็นต้น สมัยอยุธยาจนถึงต้นกรุงรัตนโกสินทร์ เป็นลายก้านต่อดอกใบเทศประกอบภาพ อาทิ ราชสีห์ ภาพจับ เป็นต้น (เสนอ นิลเดช, จุลทรรศน์ พยาฆรานนท์, & เขมทัต วิศวโยธิน, 2526) ลักษณะลวดลายที่ปรากฏสามารถจำแนกคราวๆถึงยุคสมัยที่บ่งบอกความนิยมของลวดลาย นอกจากนั้นกรรมวิธีการตอกสลักลายก็สามารถนำมาจำแนกประเภทเครื่องถมได้เช่น การสลักในสมัยอยุธยาปลายจะไม่ลึกมาก มีการสลักเหยียบพื้นให้มีบริเวณที่ลงถมค่อนข้างมากมีพื้นที่ของเนื้อเงินน้อย ส่วนเครื่องถมสมัยหลังจะมีการสลักและการออกแบบลวดลายให้มีพื้นที่ลงถมน้อยจะเห็นพื้นที่ของเนื้อเงินมากกว่ายุคแรกๆ ซึ่งลักษณะนี้มักเป็นช่างถมเมืองนคร

2.5.4 การลงถม

การลงถม คือ การนำยาถมที่ได้จากการ “กุ่มน้ำยา” คือการเอาโลหะทั้งสาม ทองแดง เงิน ตะกั่ว มาหลอมรวมกัน จากนั้นซัดกำมะถันลงไป จึงนำมาเทลงเบ้าได้เนื้อยาถมเป็นแท่ง นำยาถมที่ได้มาลงในโลหะรูปพรรณที่สลักเสร็จ หรือจะนำไปบดเป็นผงผสมน้ำยาประสานทองแล้วนำมาลงได้เช่นกัน ยาถมที่ดีจะต้องมีสีดำเป็นนิล แข็ง ขึ้นเงาเหลือบสีน้ำเงินอ่อนๆ สามารถทุบให้เป็นผงได้ (สมาคมเครื่องถมและเครื่องเงินไทย, 2512) นำยาถมที่ได้มาแตะลงบนลวดลายที่สลักโดยใช้ความร้อน เมื่อยาถมโดนความร้อนจะไหลลงไปในลายที่สลักไว้ ลงให้ทั่วแล้วนำมาขัดออกด้วยกระดาษทราย ขัดจนเห็นลวดลายแล้วตรวจดูว่ามีตามดหรือไม่ (ตามด คือ รูอากาศ) ถ้ามีต้องลงซ้ำ

2.5.5 การขัด แกะแร เพลาลาย

ขั้นตอนการขัดจะใช้กระดาษทรายหยาบไปจนถึงกระดาษทรายละเอียดตามลำดับเพื่อขัดยาถมออกให้เห็นลวดลาย สมัยก่อนใช้ถ่านไม้เนื้ออ่อนถูจนเกลี้ยงแล้วจึงนำไปขัดเงาด้วยเครื่องขัดอีกครั้งด้วยยาขัดโลหะแล้วล้างน้ำให้สะอาด (สมาคมเครื่องถมและเครื่องเงินไทย, 2512) มีขั้นตอนอีกอย่างที่สำคัญคือการแกะแรในลายที่ลงถมแล้วให้มีรายละเอียด การเพลา คือการตอกสลักเบาๆลงไปบนรูปพรรณเพื่อให้ลายมีความแวววาวเล่นกับแสงสะท้อน ทำให้ชิ้นงานที่มีการเพลาลายมีความสวยงามมากขึ้น ส่วนมากจะพบในสมัยหลังประมาณรัชกาลที่ 5 ส่วนเครื่องถมสมัยแรกจะใช้วิธีการแกะแร

2.6 ความเสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของโลหะวัตถุโบราณมีหลายสาเหตุ เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสภาพแวดล้อม มีทั้งการผุ การกัดกร่อน การเกิดขึ้นจากอุณหภูมิ ความชื้น แสง และภัยธรรมชาติ ทำให้วัตถุบางชนิดมีความเสียหาย และยังสามารถเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำให้แตกหักจากการยก การหยิบจับโลหะทำให้เกิดคราบและสนิมตามมา (ดังภาพที่ 3)

ภาพที่ 3 ตัวอย่างเครื่องถมที่เสียหาย

วัตถุที่ทำด้วยโลหะเงินเมื่อสัมผัสกับอากาศจะเกิดฟิล์มสีเข้มขึ้น (Costa, 2001) การเกิดฟิล์มสีเข้มโดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นมากกว่าโลหะเงินที่ผสมโลหะอื่น เมื่อเกิดฟิล์มการสะท้อนของโลหะจะด้อยลงและสีผิวของโลหะจะเข้มขึ้นจากน้ำตาลจนกลายเป็นสีดำ ฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นมีองค์ประกอบหลักเป็น acanthite (Ag_2S) (Sharma & Chang, 1986) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะเงินกับแก๊สหรือสารที่มีองค์ประกอบของกำมะถัน เช่น Hydrogen sulfide (H_2S), carbonyl sulfide (COS) และ dimethyl disulfide (Me_2S_2) นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มหรือสนิมยังมีองค์ประกอบของ Cerargyrite (AgCl) (Fukuda et al., 1991) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะเงินกับเกลือคลอไรด์

ชิ้นงานเครื่องถมส่วนมากมีส่วนประกอบของโลหะคือ เงิน ทองแดง ตะกั่ว และทอง ซึ่งโลหะทั้งหมดนี้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและกำมะถันทำให้โลหะหมองและกัดกร่อน ในการกัดกร่อนของโลหะที่มากขึ้น อาจทำให้โลหะเสื่อมสภาพจนกลายเป็นผงเคมีได้ การทำความสะอาดจะต้องกำจัดชั้นฟิล์มออก และการทำความสะอาดที่มากเกินไปจะทำให้เนื้องานบางลง เช่น วัตถุโบราณที่มีการเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำมีความเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่นั้นมาจากเนื้อโลหะที่เป็นองค์ประกอบหลักของวัตถุ ส่วนบริเวณทองคำนั้นอาจถูกขูดขีดและหลุดล่อนจึงทำให้เกิดสนิมในส่วนนั้นได้

การหมองของโลหะเงิน เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะเงินกับกำมะถัน ได้ฟิล์มซิลเวอร์ซัลไฟด์ นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์จากเหงื่อจะทำให้เกิดซิลเวอร์คลอไรด์ซึ่งเป็นสารสีขาว เมื่อคราบเขม่าและฝุ่นรวมอยู่กับซิลเวอร์ซัลไฟด์นี้จะทำให้สีเข้มขึ้นได้ (Inaba, 1996) นอกจากโลหะเงินที่นำมาใช้ทำรูปพรรณเครื่องถมแล้ว ยังมีส่วนผสมของโลหะอย่างอื่นในการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานถมมีความแข็งแรงมากขึ้น เพราะการขึ้นรูปชิ้นงานโดยโลหะเงินอย่างเดียวนั้นทำให้ชิ้นงานมีความนิ่มเกินไป

ภาพที่ 4 สนิมที่เกิดในตลับยาถม จากวัดราชาธิวาสวิหาร

ภาพที่ 5 สนิมในตลับเงินที่มีส่วนผสมของทองแดง จากวัดราชาธิวาสวิหาร

ส่วนสนิมตะกั่วออกไซด์และตะกั่วคาร์บอเนตนั้นมีสีเทาหรือสีขาว เกิดเป็นคราบติดอยู่กับผิววัตถุ ช่วยรักษาผิวโลหะให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้าลง การเสื่อมสภาพได้เร็วในบรรยากาศที่มีกรดอินทรีย์ เช่น กรดแอซิติก ได้ผงสีขาวของตะกั่วแอซิเตต ($Pb_3O_2(CH_3COO)_2{\cdot}H_2O$) (Lyon et al., 2010) (ดังภาพที่6)

ภาพที่ 6 ผงสนิมสีขาวบนเนื้อตะกั่ว จากวัดราชาธิวาสวิหาร

การเสื่อมสภาพของเครื่องถมเงินซึ่งมีส่วนประกอบของโลหะหลายชนิด ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสึกกร่อนในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นได้ นอกจากนี้เครื่องถมบางชิ้นมีการทาพื้นผิวให้เป็นทองด้วยปรอท (ถมทอง) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน อาจมีการเสื่อมสภาพได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และการเก็บรักษาเชิงป้องกันนับเป็นเรื่องสำคัญในการอนุรักษ์โบราณวัตถุ

2.7 เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความเสื่อมสภาพของโลหะ

2.7.1 เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy (SEM)-Energy Dispersive X-ray (EDX))

ใช้หลักการกราดยิงอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงไปบนพื้นผิวตัวอย่าง อิเล็กตรอนจะกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จากนั้นจะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพ SEM จะใช้ร่วมกันกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray (EDX)) โดยมีหลักการทำงานอยู่ที่การกระตุ้นวัตถุตัวอย่างด้วยอนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-ray tube) และถูกเร่งให้เคลื่อนที่มาอย่างรวดเร็ว ทำให้มีพลังงานจลน์สูง เมื่ออนุภาคนี้ผ่านเข้ามาในอะตอมของวัตถุตัวอย่าง บางส่วนก็จะมีโอกาสที่จะชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นแล้วหลุดออกไปจากอะตอม เป็นอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดที่ว่างขึ้น ซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าก็จะตกลงมาอยู่แทนที่ในชั้นที่ต่ำกว่า อิเล็กตรอนจะปล่อยหรือคายพลังงานที่มีอยู่มากเกินระดับที่ต้องการออกไป ในรูปของรังสีเอ็กซ์ซึ่งมีพลังงานเฉพาะ (characteristic x-ray) ขึ้นกับชนิดของธาตุ สามารถบอกได้ว่าวัตถุตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุใดบ้าง (ดนัย กิจชัยนุกูล, 2547) สามารถใช้เทคนิค SEM-EDX ในการศึกษาชนิดของธาตุองค์ประกอบของสนิมในชิ้นงานเครื่องถม ทำให้สามารถระบุชนิดของโลหะที่ใช้ในการทำเครื่องถมโบราณ

2.8 การอนุรักษ์

การสงวนรักษา หมายถึง การดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพคงเดิม ไม่ให้มีความเสียหายเพิ่มขึ้น

การปฏิสังขรณ์ หมายถึง การทำให้กลับคืนสู่สภาพอย่างที่เคยเป็นมา

การบูรณะ หมายถึง การซ่อมแซมและปรับปรุงให้มีลักษณะกลมกลืน เหมือนของเดิมมากที่สุด แต่ต้องแสดงความแตกต่างระหว่างสิ่งที่มีอยู่เดิม และสิ่งที่ทำขึ้นมาใหม่ (ปิยวรรรณ หอมจันทร์, 2564)

การอนุรักษ์โลหะทำได้โดยหลายวิธี ซึ่งจะต้องคำนึกถึงตัววัตถุเป็นหลัก ให้คงรูปแบบและคุณค่า ยับยั้งการเสียหายเพิ่มเติมในอนาคต การอนุรักษ์มีความหมาย 2 ประการ คือ การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive Conservation) ดูแลรักษาป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมและการกระทำของมนุษย์ การอนุรักษ์เชิงปฏิบัติ (Curative Conservation) ยับยั้งความเสียหายต่อวัตถุมิให้เสื่อมสภาพต่อไป

ตัวอย่างการอนุรักษ์โลหะด้วยสารเคมีที่หลากหลายในปัจจุบัน มีการเลือกใช้ให้เหมาะกับสภาพของวัตถุ และทำการอนุรักษ์โดยนักอนุรักษ์ เช่น

ตัวอย่างที่ 1(Yu, Go, & Lee, 2012) ได้ทำการอนุรักษ์โลหะที่ถูกฝังดินซึ่งมีสารปนเปื้อนและการกัดกร่อนทำได้โดย

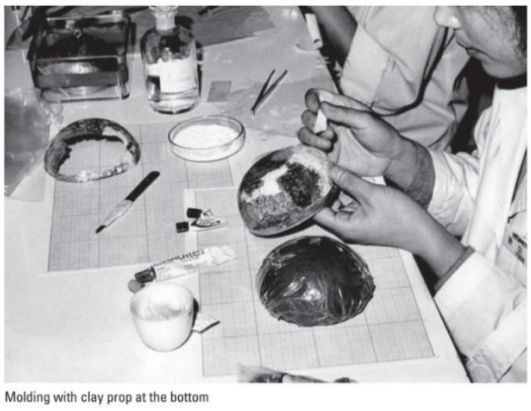
1. ทำความสะอาดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์และ talc

2. เช็ดออกตัวสำลีจุ่มสารละลายแอมโมเนีย
3. สารปนเปื้อนหนาเอาออกด้วยเครื่องมือ
4. ล้างน้ำสะอาด
5. เคลือบในสารละลาย Incralac solution 20%
6. ต่อชิ้นส่วนด้วยกาว Hi-super

ภาพที่ 7 รูปก่อนและหลังการอนุรักษ์ถ้วยโลหะแบบแท่น

ที่มา: Conservation of metal objects (p.160), Jaeeun Yu, Inhee Go and Hyeyoun Lee, 2012, Seoul : National Research Institute of cultural Heritage.

ตัวอย่างที่ 2 โลหะที่ถูกบีบอัด มีการอนุรักษ์ด้วยวิธีการหล่อปูนสำหรับส่วนที่ขาด และทำการบูรณะด้วยเรซิ่น



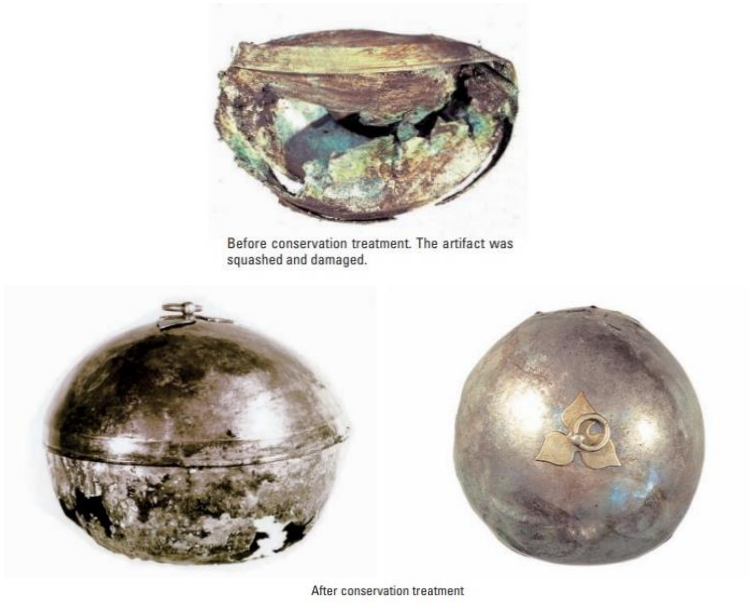
ภาพที่ 8 บูรณะถ้วยโลหะด้วยเรซิน

ที่มา: Conservation of metal objects (p.160), Jaeeun Yu, Inhee Go and Hyeyoun Lee, 2012, Seoul : National Research Institute of cultural Heritage.

ตัวอย่างที่ 3 โลหะเงินปนเปื้อนทั่วไป

1. เช็ดด้วยก้านสำลีจุ่มเอทิลแอลกอฮอล์

2. บางส่วนกำจัดด้วยกรดฟอมิกเข้มข้น 10-20% เช็ดด้วยกลีเซอรีน
3. แช่ในสารละลาย BTA 3% 1 วัน
4. เคลือบด้วย Paraloid B72 15%

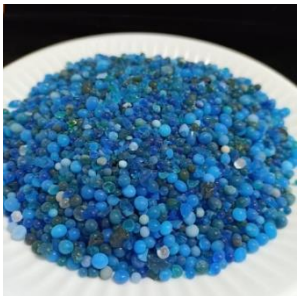


ภาพที่ 9 ภาพภาชนะเงินก่อนและหลังการอนุรักษ์

ที่มา: Conservation of metal objects (p.160), Jaeeun Yu, Inhee Go and Hyeyoun Lee, 2012, Seoul : National Research Institute of cultural Heritage.

2.9 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล คือ ซิลิกาในรูปแบบเม็ดเล็ก มีรูพรุน ไม่เป็นผลึก ประกอบไปด้วยซิลิกอน(Si)และออกซิเจน (O) มีความสามารถในการดูดซับไอน้ำจากความชื้น อีกทั้งยังดูดมลพิษในอากาศ ซิลิกาเจลไม่กัดกร่อนและมีความเสถียร (พิมพ์นิภา สวนสมบุญ & มะลิวรรณ บุญรักษ์, 2561) การใช้ซิลิกาเจลในงานอนุรักษ์นั้นช่วยลดความชื้นเพื่อรักษาสภาพของชิ้นงาน และชะลอการเสื่อมสภาพจากมลพิษทางอากาศ มีการใช้ซิลิกาเจลในการชะลอการเสื่อมสภาพของวัตถุโลหะในพิพิธภัณฑ์หลายแห่งทั่วโลก



ภาพที่ 10 ซิลิกาเจล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยการศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครนี้ ดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์

1. กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัล
2. กล้อง portable Digital Microscope
3. แบบบันทึกหลักฐานการสำรวจเครื่องถม
4. สมุดบันทึกข้อมูลและเครื่องเขียน
5. ถุงมือยาง
6. สายวัด
7. หน้ากากกันฝุ่น
8. สำลี
9. มีดผ่าตัด
10. ถุงพลาสติกซสำหรับเก็บตัวอย่าง
11. ปากคีบ
12. บีกเกอร์ (Beaker)
13. โถดูดความชื้น (Desiccator)
14. ช้อนตักสารและไม้พาย (Spatula)
15. ปากคีบ (Forceps)
16. แท่งแก้วคนสาร (Glass rod)
17. เครื่องชั่ง (Balance)
18. ซิลิกาเจล (Silica gel)
19. รางเท
20. เบ้าหลอมโลหะ
21. เครื่องรีดโลหะ
22. เครื่องเจียรสายอ่อน (Foredom)
23. เครื่องเป่าแล่น
24. ค้อน

25. สิ่ว
26. กระบะชัน
27. กระดาษทราย
28. ดินน้ำมัน

3.2 สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)
2. น้ำประสานทอง หรือ บอแร็กซ์
3. กรดดินประสิว

3.3 เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

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

3.4 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

เครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร 1 ชุด มีทั้งหมด 4 ชิ้น เป็นถมจุฑาธุชถมลายกระหนกเปลว มีอักษรบนกล่อง คำว่า “สรัทจันทร” ถมลายทั้งหมด 5 ด้าน

ภาพที่ 11 กล่องถมเงิน

กล่อง A-1

ภาพที่ 12 กล่องถมเงิน A-1

กล่อง A-2

ภาพที่ 13 กล่องถมเงิน A-2

กล่อง A-3

ภาพที่ 14 กล่องถมเงิน A-3

กล่อง A-4

ภาพที่ 15 กล่องถมเงิน A-4

จากเครื่องถมเงินทั้ง 4 กล่อง ได้ศึกษาความเสื่อมสภาพโดยใช้แบบบันทึกความเสื่อมสภาพดังต่อไปนี้

แบบการบันทึกความเสื่อมสภาพของเครื่องถม วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

ลำดับที่	
ข้อมูลทั่วไป	
วัสดุของวัตถุโบราณ	
วัน / เดือน / ปี ที่สำรวจ	
ทะเบียนวัตถุโบราณ	
จำนวน	
รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ	
สภาพโดยทั่วไป 1. สภาพวัตถุ ..... 2. การเก็บรักษา ..... 3. การทำความสะอาดวัตถุเบื้องต้น ..... 4.การเก็บตัวอย่างสาร	

3.5 วิธีการทำเครื่องถมเงินเลียนแบบเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

1. ออกแบบชิ้นงานเครื่องถม โดยออกแบบรูปทรงและลวดลาย

2. นำเม็ดเงินบริสุทธ์ มาผสมทองแดง โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 95: 5 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในชิ้นงานเครื่องถม การผสมอัตราดังกล่าวอยู่ในมาตรฐานสากลของเงินสเตอลิง (Sterling Silver) ที่ต้องมีเนื้อเงิน 95% เนื้อเงินที่มีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่า 50% เมื่อลงยาถมจะติดยาก หากไม่ผสม

เนื้อเงินด้วยโลหะอื่นเลย เนื้อเงินบริสุทธิ์มีความอ่อนและอาจบุบได้ง่ายเมื่อนำไปทำชิ้นงาน (สมาคมเครื่องถมและเครื่องเงินไทย, 2512) (ดังภาพที่16)

ภาพที่ 16 เม็ดโลหะเงินและทองแดง

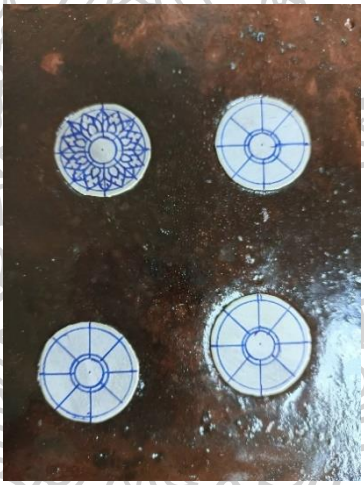
3. นำโลหะทั้งหมดมาหลอมรวมกันแล้วเทลงบนรางเทเหล็ก ได้ก้อนเงินแล้วนำมาแผ่รีดด้วยเครื่องรีดอุตสาหกรรมตามขนาดความหนาที่กำหนด (ดังภาพที่17) หากไม่มีเครื่องรีดจะใช้ค้อนทุบก้อนเงินบนทั่งเหล็กให้แผ่ออกเป็นแผ่น เทคนิคคือนำเนื้อเงินไปให้ความร้อนโดยการเผาไฟจากนั้นจึงนำไปตีแผ่ได้ง่ายขึ้น

ภาพที่ 17 การหลอมรีดโลหะ

4. นำแผ่นโลหะที่ได้ตามขนาดมาติดลงบนกระบะชัน โดยให้ความร้อนที่ชันจนชันละลายแล้วจึงนำแผ่นโลหะมาติดบนชัน กดโลหะลงเล็กน้อย ชันสีน้ำตาล(ดังภาพที่18) เป็นวัสดุที่ใช้ในการทำรองโลหะเมื่อมีการสลัก ตอก ขึ้นรูป มีวัสดุหลากหลายที่จะสามารถทำมารองโลหะได้ เช่น ชัน ครั่ง ขี้ผึ้ง ดินน้ำมัน เป็นต้น

ภาพที่ 18 แผ่นโลหะเงิน

5. วาดลวดลายลงบนแผ่นเงินด้วยปากกาเคมีตามต้องการ (ดังภาพที่19)



ภาพที่ 19 ลวดลายบนแผ่นเงิน

6. นำสิ่วสลักขนาดต่างๆ มาสลักบนชิ้นงานตามลวดลายที่วาดไว้ (ดังภาพที่20)

ภาพที่ 20 แผ่นเงินที่ถูกสลัก

7. นำชิ้นงานที่สลักเสร็จแล้วเผาออกจากชัน ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกรด แล้วล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง จากนั้นดุนด้านหลังเพื่อให้มีความนูนเล็กน้อย โดยใช้สิ่วดุนตอกบนแผ่นเงินรองด้านล่างด้วยดินน้ำมัน และโอบนทั่งไม้ (ดังภาพที่21)

ภาพที่ 21 การโอชิ้นงานให้มีความเว้าความนูนตามต้องการ

8. นำชิ้นงานมาติดลงบนชันอีกครั้ง ใช้สิ่วย้ำพื้นหรือสิ่วเหยียบพื้นตอกย้ำลวดลายให้มีพื้นผิวขรุขระเพื่อเพิ่มการยึดติดกับยาถม (ดังภาพที่22) เมื่อสลักเสร็จแล้วจึงนำชิ้นงานไปเผาชันออกทำความสะอาดด้วยน้ำกรดและน้ำสะอาด

ภาพที่ 22 การสลักย้ำตัวลาย

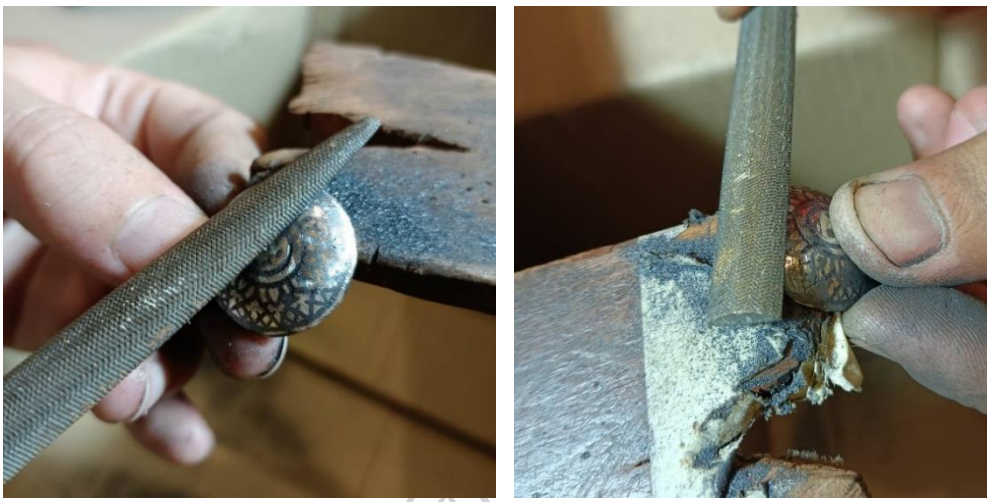
9. นำชิ้นงานมาทำความสะอาดด้วยแปรงทองเหลืองขัดกับน้ำที่ผสมด้วยลูกประคำดีควายให้ทั่วทั้งชิ้นงาน แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดเช็ดให้แห้ง จะได้ชิ้นงานที่พร้อมจะลงยาถม (ดังภาพที่23)

ภาพที่ 23 แผ่นเงินที่ตอกลวดลายเสร็จ

10. นำชิ้นงานที่ทำความสะอาดเสร็จแล้วมาให้ความร้อน ในขณะที่ให้ความร้อนตัวชิ้นงานนำยาถมมาแตะลงบนชิ้นงานให้ยาถมไหลไปตามลวดลายที่สลักไว้ทั่วทั้งชิ้นงาน (ดังภาพที่24) แล้วทิ้งไว้ให้ชิ้นงานเย็น

ภาพที่ 24 การใช้ไฟเพื่อละลายยาถมบนชิ้นงานเงิน

11. นำชิ้นงานที่ลงยาถมเสร็จแล้วมาตะไบยาถมออก โดยค่อยๆตะไบบนชิ้นงานจนเห็นลวดลายที่สลักดุนไว้เพียงเล็กน้อย (ดังภาพที่25)



ภาพที่ 25 การขัดยาถมด้วยตะไบ

12. นำชิ้นงานที่ตะไบเสร็จมาขัดกระดาษทราย (ดังภาพที่26) โดยไล่ขัดจากกระดาษทรายเบอร์หยาบจนถึงกระดาษทรายเบอร์ละเอียด ขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัดให้มีความเงาทั้งชิ้นงานโดยใช้ลูกยางขัดงานจิวเวลรี่

ภาพที่ 26 การขัดยาถมด้วยกระดาษทราย

13. เมื่อขัดชิ้นงานตามลำดับ(ดังภาพที่27) ให้มีความเงา ชิ้นงานจะยังมีคราบสารเคมีที่ใช้ในการขัดเงาอยู่ จากนั้นจึงนำชิ้นงานล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาทำความสะอาดและทำให้แห้ง (ดังภาพที่28)

ภาพที่ 27 ยาถมที่ถูกขัดออกตามลำดับ

ภาพที่ 28 เครื่องถมหลังทำความสะอาด

3.6 วิธีการทำเครื่องถมทอง

1. นำทอง 99.99% มาหลอมแล้วจึงนำมารีดให้เป็นแผ่นทองที่มีความบางมากที่สุด จากนั้นใช้กรรไกรตัดให้แผ่นทองคำมีลักษณะเป็นฝอยขนาดเล็ก (ดังภาพที่29)

ภาพที่ 29 ทองคำ 99.99 เปอร์เซ็นต์

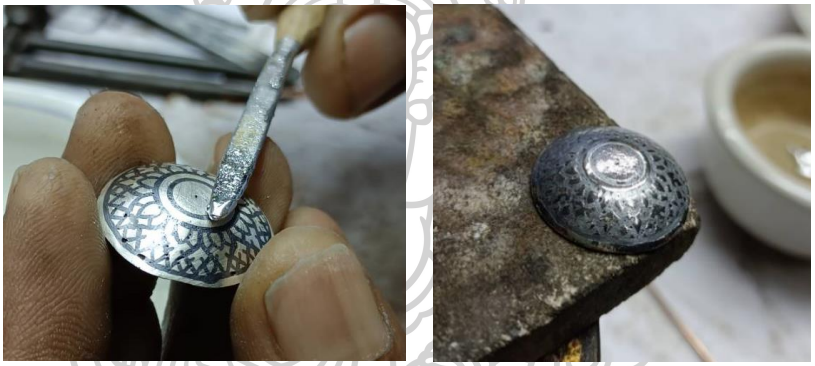
2. นำฝอยทองคำที่ได้ไปคั่วด้วยไฟอ่อนๆ จะทำให้ทองคำมีความสุกตัว จากนั้นนำปรอทใส่ลงในทองคำแล้วใช้ไม้พายคนให้ทองคำหลอมละลายกับปรอททั้งหมด แล้วนำทองคำกับปรอทเทลงในน้ำสะอาด เพื่อล้างทำความสะอาด (ดังภาพที่30)

ภาพที่ 30 ทองคำที่ผสมกับปรอท

3.นำทองคำกับปรอทที่ได้มาเทใส่ครกหิน (ดังภาพที่31) นำทรายละเอียดใส่ลงไปในครกหิน ใช้สากบดจนทรายละเอียดเป็นผงแป้ง นำครกหินไปล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อให้ทรายที่ละเอียดลอยออกไป จนเหลือแต่ทองคำที่อยู่ก้นครก จากนั้นนำทองที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบางแล้วบิดให้ปรอทออกไปบางส่วน

ภาพที่ 31 ทองที่อยู่ในปรอท

4. นำทองที่ได้มาทาลงบนชิ้นงานให้ทั่ว โดยใช้ไม้พายที่ทำจากเงินเกลี่ยให้ทองคำบนชิ้นงานเรียบเสมอกัน (ดังภาพที่32) จากนั้นใช้สำลีปัดทองคำบนชิ้นงานให้ทองคำมีความเรียบตึงมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 32 การทาทองให้ทั่วชิ้นงานโดยใช้แท่งเหล็ก

5. นำชิ้นงานไปเผาให้ความร้อนเพื่อให้ปรอทระเหยออกไปจากชิ้นงาน เมื่อปรอทระเหยออกไปจะเห็นทองคำติดอยู่บนชิ้นงาน (ดังภาพที่33) ทำกรรมวิธีทาทองดังกล่าว 3-4 รอบ จนทองคำนั้นติดเสมอเรียบทั้งชิ้นงาน

ภาพที่ 33 การเป่าไฟไล่ปรอทจากชิ้นงาน

6. นำชิ้นงานไปล้างน้ำกรดและน้ำสะอาดและขัดชิ้นงานโดยใช้ลูกปัดจะทำให้ชิ้นงานมีความเงางาม นำชิ้นงานเป่าให้แห้งเป็นอันเสร็จ (ดังภาพที่34)

ภาพที่ 34 การทำความสะอาดถมทอง

3.7 การทำให้ชิ้นงานเครื่องถมที่ผลิตขึ้นใหม่เกิดความเสื่อมสภาพ

นำชิ้นงานเครื่องถมวางไว้ในโถที่ควบคุมความชื้น 100% RH เป็นเวลา 105 วัน นำชิ้นงานออกมาศึกษาความสึกกร่อนของพื้นผิวด้วย portable digital microscope และ scanning electron microscope-energy dispersive X-ray (SEM-EDX)

3.8 การทำความสะอาดชิ้นงานเครื่องถม

3.8.1 เครื่องถมจากวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

1. วางเครื่องถมในที่ปลอดภัย นำแปรงขนอ่อนมาปัดฝุ่นให้ทั่ว (ดังภาพที่35)

ภาพที่ 35 กล่องเครื่องถมจากตู้จัดเก็บ

2. วางแผ่นพลาสติกใสบนกล่องเครื่องถมเพื่อกำหนดจุดที่จะวางแผ่นเจล (ดังภาพที่36)

ภาพที่ 36 การกำหนดจุดบนแผ่นพลาสติกใสเพื่อทดสอบเจลทำความสะอาด

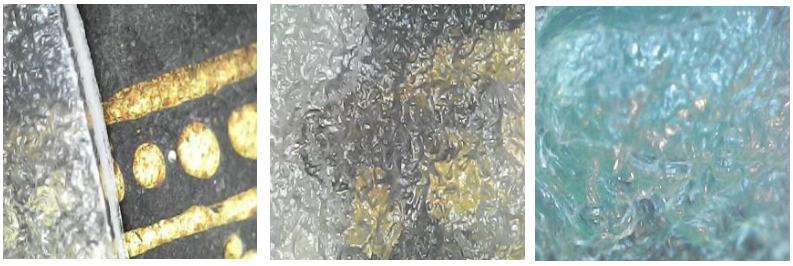
3. วางแผ่นเจลบนเครื่องถม ทิ้งไว้ 30 นาที (ดังภาพที่37)

(ก) (ข)

ภาพที่ 37 การวางไฮโดรเจล

(ก) ตัดเจลให้ได้ขนาดตามที่กำหนด (ข) วางแผ่นเจลบนชิ้นงานเครื่องถม

4. ถ่ายรูปเครื่องถมบริเวณที่วางไฮโดรเจลและการทำงานของไฮโดรเจลด้วยกล้อง portable digital microscope (ดังภาพที่38) พบว่าเครื่องถมบริเวณที่วางไฮโดรเจลจะมีความสะอาดมากขึ้น ร่องรอยของสนิมลดน้อยลง ในขณะที่ไฮโดรเจลที่ดูดซับสนิมจะมีสีฟ้าเข้มขึ้น เนื่องจากดูดซับ Cu^{2+} จากสนิมทองแดง

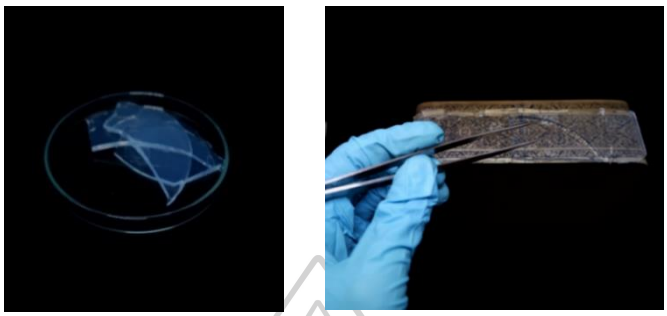


(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 38 การทำงานของไฮโดรเจล

(ก) วางแผ่นเจลบนเครื่องถม (ข) แผ่นเจลที่แปะบนเครื่องถม (ค) แผ่นเจลเริ่มเปลี่ยนสีเมื่อดูดสนิมของเครื่องถม

5. หลังจากทดลองทำความสะอาดชิ้นงานเครื่องถมด้วยแผ่นไฮโดรเจลขนาดเล็ก แล้วพบว่าสามารถดูดซับสนิมทองแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงนำไฮโดรเจลขนาดใหญ่มาดูดซับสนิม (ดังภาพที่39) ในบริเวณที่กว้างขึ้นบนชิ้นงานเครื่องถม



(ก) (ข)

ภาพที่ 39 การวางไฮโดรเจลบริเวณกว้าง

(ก) แผ่นเจล (ข) การวางแผ่นเจลบนเครื่องถมทั่วบริเวณด้านหน้ากล่องเครื่องถม

6. ใช้สำลีชุบแอลกอฮอล์ 70 % เช็ดทำความสะอาดชิ้นงาน (ดังภาพที่40)

ภาพที่ 40 การเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอร์

3.8.2 เครื่องถมที่ผลิตขึ้นใหม่เพื่อนำไปทดลองให้เกิดสนิม (ดังภาพที่41)

(ก.) (ข.)

ภาพที่ 41 เครื่องถมเงินจำลองที่เกิดสนิม

(ก.) เครื่องถมจำลองที่นำไปทำให้เกิดสนิม (ข.) แปะแผ่นเจลทำความสะอาดบางส่วน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการประเมินสภาพชิ้นงาน

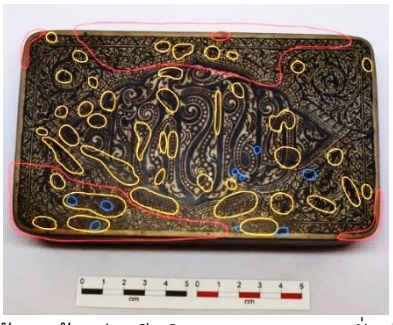
ผลการบันทึกความเสื่อมสภาพของเครื่องถม วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร มีรายละเอียดดังข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกการเสื่อมสภาพ

ลำดับที่ 1
ข้อมูลทั่วไป กล่องเครื่องถม มีฝาประกบ ลายกนกเปลวมีลวดลาย 5 ด้าน ด้านฝามีสัญลักษณ์คำว่า ”สรัสจันทร” มีเทคนิคการทำเครื่องถมแบบถมจุฑาธุช เป็นกล่องใส่สมุนไพร ภายในกล่องพบสมุนไพรต่างๆ
วัสดุของวัตถุโบราณ โลหะผสม
วัน / เดือน / ปี ที่สำรวจ 22/05/2564
ทะเบียนวัตถุโบราณ รว.1043/2550
จำนวน 4 ชิ้น
สัญญาลักษณ์ที่ใช้จำแนกการเสื่อมสภาพตามจุดต่างๆ ได้แก่ ○ สีเหลือง = ส่วนที่มีสนิมปกคลุม ○ สีแดง = บริเวณที่มีการเปลี่ยนเฉดสี ○ สีเขียว = คราบสกปรก ○ สีน้ำเงิน = บริเวณที่มีการเดือดของยาถม ○ สีม่วง = รอยกะเทาะ ชำรุด
รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ

กล่องใบที่ 1

ด้านหน้า



ภาพด้านหน้ากล่องมีสนิมปกคลุมกระจายทั่วบริเวณ มีการเปลี่ยนเฉดสีขอบๆและมีการเดือดของยาถมเล็กน้อย

ด้านหลัง

เฉดสีเปลี่ยนทั่วทั้งบริเวณ และมีสนิมหนาบางจุด

ด้านใน

ด้านในบุด้วยกระดาษสีเหลืองมีรอยเปื่อนสีดำ

ด้านข้าง

ด้านข้างทั้งสีด้านมีสนิมกระจายทั่วบริเวณ มีรอยเดือดของยาถมบางจุด และมีเฉดสีเปลี่ยนไม่สม่ำเสมอกัน

กล่องใบที่ 2

ด้านหน้า

มีสนิมและคราบสกปรก

ด้านหลัง

เฉดสีพื้นผิวไม่เท่ากัน มีสนิมและคราบสกปรกบางจุด

ด้านใน

มีคราบสกปรกคราบสนิมและเฉดสีของโลหะ

ด้านข้าง

ด้านข้างมีสนิมกระจายโดยรอบและคราบสกปรกบางจุด

กล่องใบที่ 3

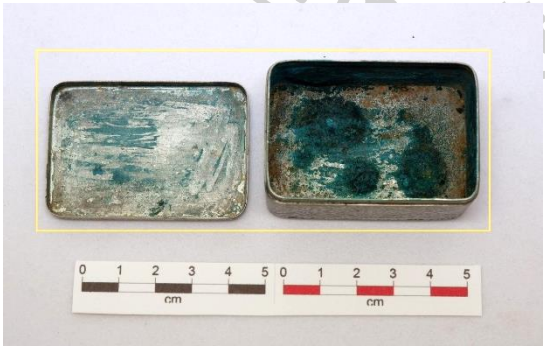
ด้านหน้า

มีการเดือดของยาถมและสนิมปกคลุมกระจายโดยรอบ

ด้านหลัง

เฉดสีผิวโลหะไม่สม่ำเสมอ และมีสนิมบางจุด

ด้านใน



มีสนิมปกคลุมทั่วบริเวณ

ด้านข้าง

ด้านข้างมีสนิมกระจายโดยรอบและมีคราบสกปรกบางจุด

กล่องใบที่ 4

ด้านหน้า

มีสนิมกระจายโดยรอบ และมียาถมเดือดบางจุด

ด้านหลัง

มีสนิมขอบๆ

ด้านใน

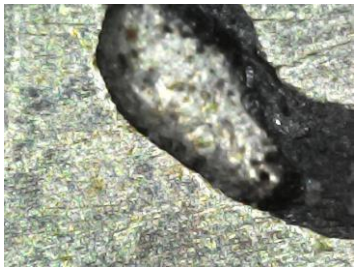
มีคราบสกปรกและสนิมทั่วบริเวณ

ด้านข้าง

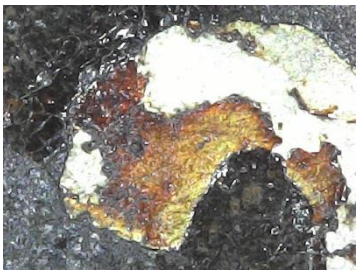
ด้านข้างมีสนิมกระจายโดยรอบและมียาถมเดือดบางจุด

รูปแสดงการเสื่อมสภาพของเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร จะเห็นร่องรอยการเกิดสนิมโดยทั่วไป

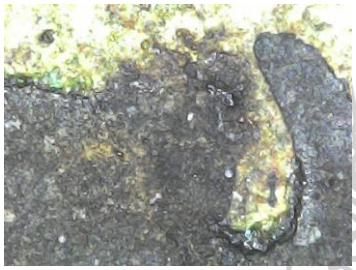
สนิมปกคลุม



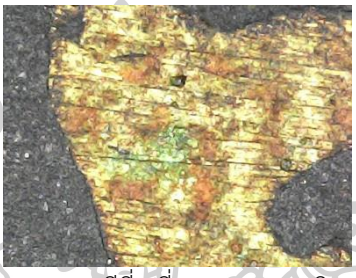
ร่องรอยการกะเทาะออกของยาถม



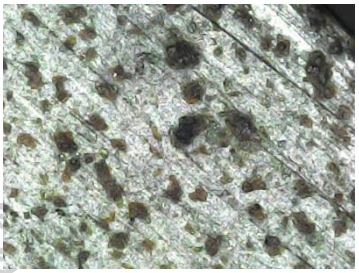
คราบสนิม



รอยเดือดของยาถม



เฉดสีที่เปลี่ยนและคราบสนิม



สนิมปกคลุม

สภาพโดยทั่วไปของวัตถุ

1. สภาพวัตถุ
   - มีเฉดสีเข้มขึ้น เฉดสีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ มีสนิมปกคลุมลวดลาย ส่วนของยาถมกระเทาะและมีอาการยาถมเดือด
2. การเก็บรักษา
   - จัดตั้งในตู้ไม้มีกระจกรอบด้าน ภายในตู้มีวัตถุหลายชิ้นรวมอยู่ มีเครื่องปรับอุณหภูมิในห้องเปิดเฉพาะเพื่อการเยี่ยมชม มีแสงจากหลอดไฟ
3. การทำความสะอาดวัตถุเบื้องต้น
   - ปัดฝุ่นด้วยแปรงขนอ่อน
   - เช็ดคราบสกปรกโดยนำสำลีจุ่มแอลกอฮอร์

การเก็บตัวอย่างสาร

1. จัดเก็บตัวอย่างโดยนำลำสีถูบริเวณที่เป็นสนิม
2. นำสำลีใส่ถุงซิปเพื่อนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์

4.2 การทำความสะอาดเครื่องถมด้วยไฮโดรเจล (Hydrogel)

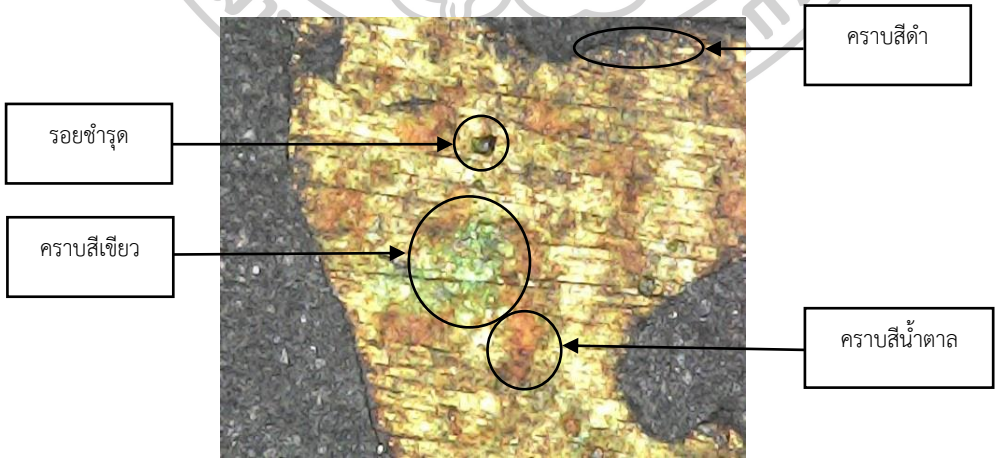
4.2.1 เครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

บันทึกภาพผิวเครื่องถมบริเวณที่เกิดการเสื่อมสภาพด้วยกล้อง portable Digital Microscope บันทึกภาพดังในตารางที่ 3 หลังจากนั้นนำแผ่นไฮโดรเจลมาวางบนผิวเครื่องถม (ดังภาพที่42) เป็นเวลา 30 นาที แล้วบันทึกภาพบริเวณที่ทำความสะอาดอีกครั้งแสดงในตารางที่ 3

(ก) (ข)

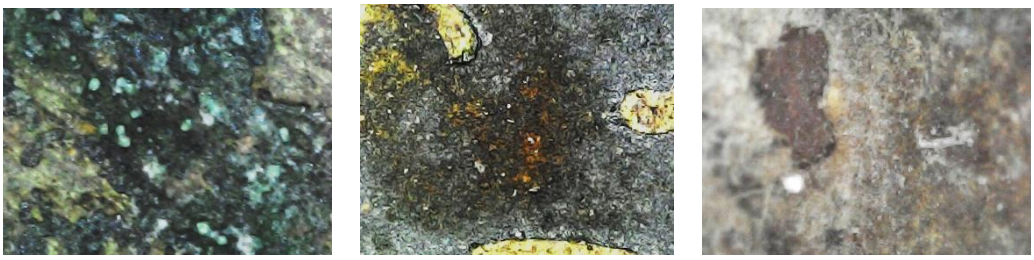
ภาพที่ 42 การทำความสะอาดเครื่องถมด้วยแผ่นเจล
(ก) แผ่นเจลบนผิวเครื่องถม (ข) แผ่นเจลหลังทำความสะอาด

พื้นผิวในส่วนของเงินนั้น (ดังภาพที่43) พบคราบสีเขียว สีน้ำตาล สีดำ คราบต่างๆ เป็นคราบสนิมของโลหะผสมที่ทำปฏิกิริยากับอากาศภายนอก และมีรอยชำรุด ขูดขีดเป็นแนวยาว และเป็นหลุม



ภาพที่ 43 การเสื่อมสภาพของพื้นผิวส่วนเงิน

พื้นผิวในส่วนยาถม (ดังภาพที่44) พื้นผิวในส่วนของยาถมพบรอยหลุดกระเทาะของยาถม มีคราบสนิมสีขาว สีน้ำตาล และสีเขียว เกิดจากการทำปฏิกิริยากับอากาศ

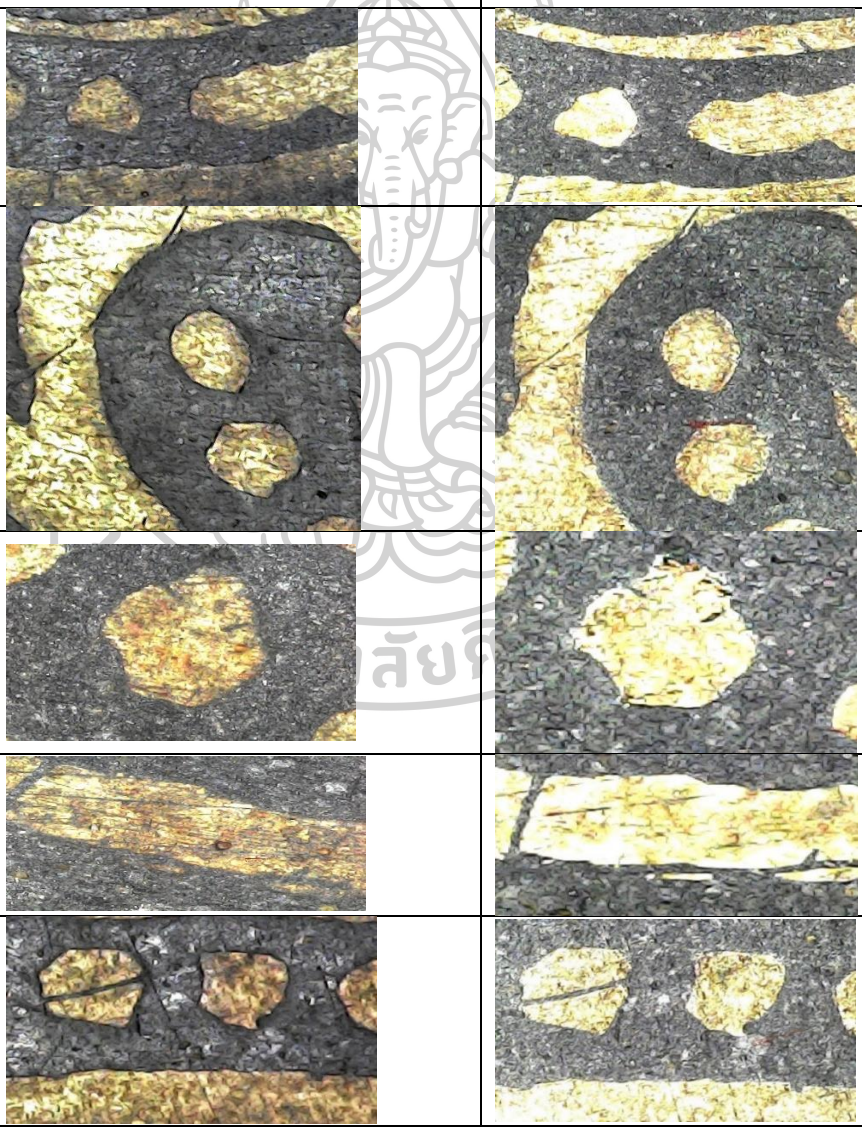


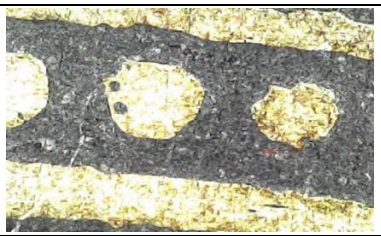
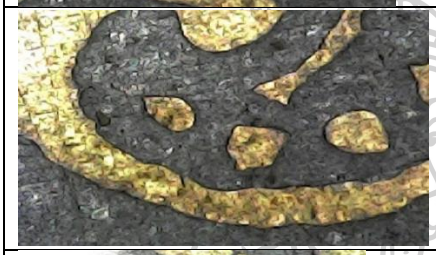
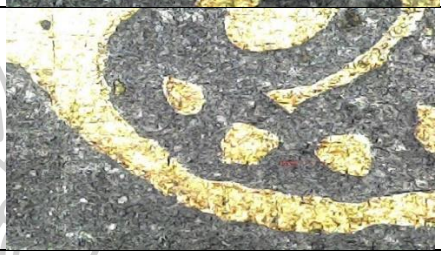
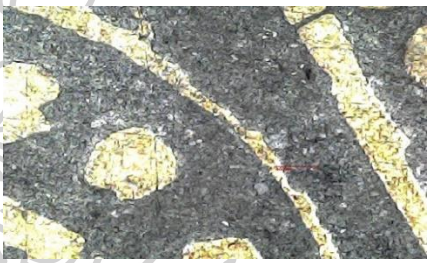
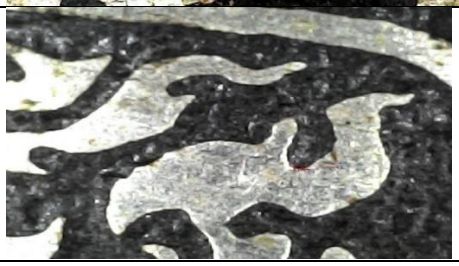
(ก) (ข) (ค)

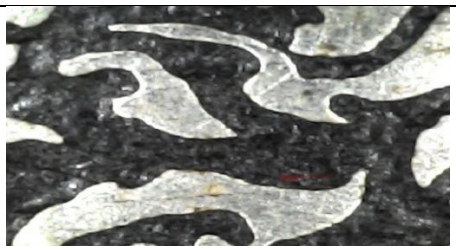
ภาพที่ 44 พื้นผิวส่วนยาถม

(ก) คราบสีเขียว ยาถมเดือด (ข) คราบสีน้ำตาล (ค) คราบสีขาว

ตารางที่ 3 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมวัดราชาธิวาส ก่อนและหลังการกำจัดสนิม

ตัวอย่าง	ภาพก่อนการกำจัดสนิม	ภาพหลังการกำจัดสนิม
A-1		

ตัวอย่าง	ภาพก่อนการกำจัดสนิม	ภาพหลังการกำจัดสนิม
		
		
		
A-2		
A-3		

ตัวอย่าง	ภาพก่อนการกำจัดสนิม	ภาพหลังการกำจัดสนิม
		
A-4		

4.3 ลักษณะชิ้นงานเครื่องถมเงินและถมทองที่ผลิตขึ้นใหม่

เครื่องถมเงินที่ผลิตขึ้นใหม่ มีลักษณะเป็นวงกลมโค้งมน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร สลักลวดลายกระจัง (ดังภาพที่45) (ก) ในขณะที่เครื่องถมทองที่ทำขึ้นใหม่มีลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร โค้งมนเล็กน้อยมีสีทอง สลักลวดลายกระจัง (ดังภาพที่45) (ข)

(ก) (ข)

ภาพที่ 45 ชิ้นงานเครื่องถม
(ก) ชิ้นงานถมเงิน (ข) ชิ้นงานถมทอง

4.4 แบบจำลองเร่งความเสื่อมสภาพของชิ้นงานเครื่องถมที่ทำขึ้นใหม่

สร้างแบบจำลองเร่งความเสื่อมสภาพโดยใช้โถแก้วที่มีฝาปิดสนิท (ดังภาพที่46) ภายในโถควบคุมความชื้นให้อยู่ที่ 100% RH นำชิ้นงานเครื่องถมเงินไปวางไว้ในโถที่ควบคุมความชื้นนี้เป็นเวลา 105 วัน ถมทองเป็นเวลา 59 วัน นำชิ้นงานออกมาศึกษาความสึกกร่อนของพื้นผิวด้วย portable digital microscope และ scanning electron microscope-energy dispersive X-ray (SEM-EDX) โดยพบว่าภาพที่ถ่ายด้วย portable digital microscope เกิดคราบสีฟ้าอมเขียวขาว และน้ำตาลทั่วบริเวณยาถม (ดังภาพที่50)

ภาพที่ 46 โถควบคุมความชื้น

(B1) (B2)

ภาพที่ 47 ถมเงิน (B1) และถมทอง (B2) ใน petri dish

ภาพที่ 48 การนำ petri dish วางในโถแก้ว

(ก) (ข)

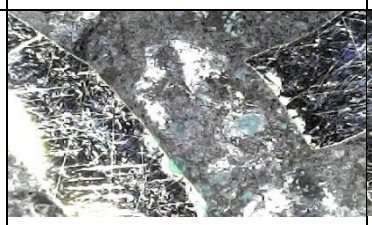
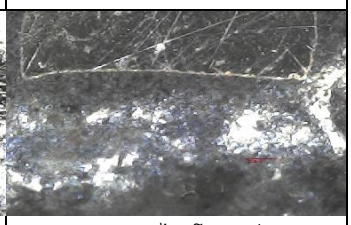
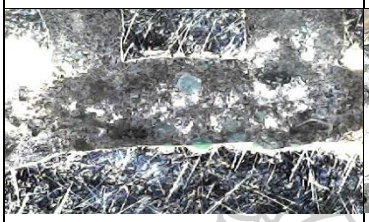
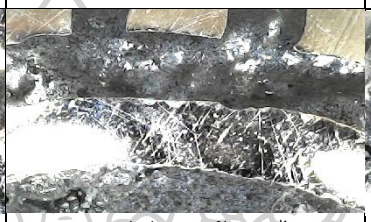
ภาพที่ 49 ชิ้นงานทดลองก่อนและหลังทำความสะอาด
ถมเงินที่เกิดสนิม (ก) ก่อนและ (ข) หลังทำความสะอาดด้วยไฮโดรเจล

เมื่อผลิตตัวอย่างเครื่องถมเงิน แล้วนำไปวางในโถควบคุมความชื้น มีการเกิดคราบสนิมสีฟ้าขึ้นกระจายทั่วทั้งบริเวณ(ดังภาพที่50) และเมื่อนำเครื่องถมไปทำความสะอาดด้วยไฮโดเจลรอบที่ 1 เป็นเวลา 30 นาที พบว่าคราบสนิมที่กระจายอยู่นั้นถูกดูดซับหายไป และพื้นผิวของเนื้อเงินมีความสะอาดมากขึ้น และทำการทดลองทำความสะอาดรอบที่ 2 เป็นเวลา 30 นาที พบว่าชิ้นงานดูแวววาว ลวดลายชัดเจน ดังตารางที่ 4

(ก) (ข)

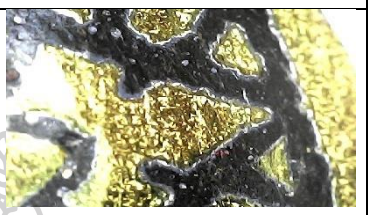
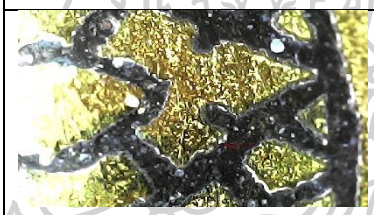
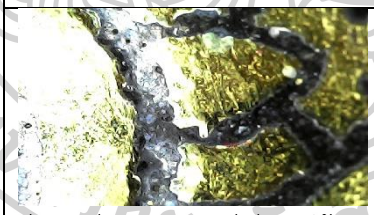
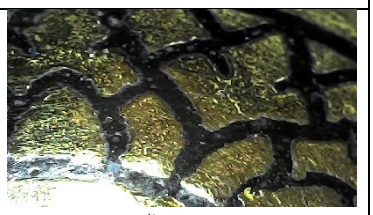
ภาพที่ 50 ภาพตัวอย่างเครื่องถมที่ทำขึ้นใหม่
(ก) ก่อน และ (ข) หลัง การทำความสะอาดด้วยไฮโดรเจล

ตารางที่ 4 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมเงิน (ที่ผลิตใหม่) ก่อนและหลังการกำจัดสนิม

ตัวอย่าง	ภาพก่อนการกำจัดสนิม	ภาพหลังการกำจัดสนิม	
		รอบที่ 1 (30 นาที)	รอบที่ 2 (30 นาที)
B1	 มีคราบสนิมสีเขียวอมฟ้ากระจายทั่วบริเวณ	ปริมาณคราบสนิมเขียวฟ้าลดลง	 คราบสนิมหายไป โลหะมีความแวววาว
	 มีคราบสีเขียวอมฟ้า	 คราบสนิมสีเขียวอมฟ้าหายไป	ไม่มีคราบสนิม โลหะแวววาว
	มีคราบสนิมสีเขียวและสีขาว	คราบสนิมหายไป	โลหะแวววาวสะท้อนแสง
	มีคราบสนิมสีเขียวอมฟ้าและขาวกระจายทั่วบริเวณ	คราบสนิมหายไป	โลหะมีความแวววาวสะท้อนแสง

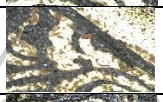
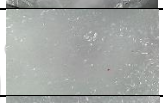
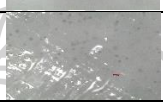
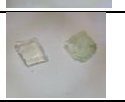
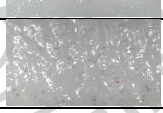
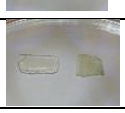
ตัวอย่างเครื่องถมทองที่นำไปใส่ไว้ในโถความชื้นเป็นเวลา 59 วัน เมื่อนำออกมาจากโถความชื้นจะพบสนิมสีขาวและสีดำกระจายทั่วบริเวณยาถม เมื่อนำไฮโดรเจลมาทำความสะอาดเป็นเวลา 30 นาที เครื่องถมทองตัวอย่างมีความสะอาดมากขึ้นแวววาว และคราบสนิมหายไป ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ลักษณะของบริเวณต่างๆบนชิ้นงานเครื่องถมทอง (ที่ผลิตใหม่) ก่อนและหลังการกำจัดสนิม

ตัวอย่าง	ภาพก่อนการกำจัดสนิม	ภาพหลังการกำจัดสนิม รอบที่1 30 นาที
B2	 มีคราบสนิมสีขาวและดำกระจาย	 คราบสนิมลดลง
	 มีคราบสนิมสีขาวและสีเขียวอมฟ้ากระจายทั่วบริเวณ	 คราบสนิมลดลง
	 มีคราบสีขาว ดำ และสีเขียวอมฟ้า	 คราบสนิมลดลงโลหะมีความแววววาวมากขึ้น
	 มีคราบสีเขียวอมฟ้าเป็นจุดๆ	 คราบสนิมหายไป
	 คราบสนิมสีขาว	 คราบสนิมหายไป

จากการใช้ไฮโดรเจลเป็นทางเลือกในการทำความสะอาด พบว่าสามารถดูดซับสนิมโลหะและสิ่งสกปรกได้ ดังตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่ามีคราบสิ่งสกปรกติดอยู่ในไฮโดรเจล และไฮโดรเจล (ชนิดที่ 1,2 และ 4) เปลี่ยนจากสีใสเป็นสีฟ้าชัดเจน

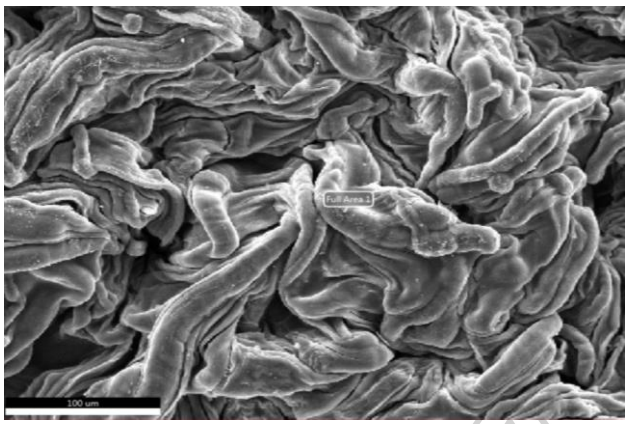
ตารางที่ 6 การทดสอบไฮโดรเจลชนิดต่างๆ

การทดสอบไฮโดรเจลชนิดต่างๆ						
ไฮโดรเจล	ก่อนแปะ	หลังแปะ	หลังเช็ดด้วยสำลี	ไฮโดรเจลก่อนแปะ	ไฮโดรเจลหลังแปะ	ภาพเปรียบ
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

หมายเหตุ 1. ไฮโดรเจล (1) ผสม 1% EDTA 2. ไฮโดรเจล (2) ผสม 1% EDTA 3. ไฮโดรเจล (1) ผสม 0.5% EDTA 4. ไฮโดรเจล (2) ผสม 0.5% EDTA
4. ไฮโดรเจล (1) ผสม 1% citric acid 5. ไฮโดรเจล (2) ผสม 1% citric acid 6. ไฮโดรเจล (1) ผสม 0.5% citric acid 8. ไฮโดรเจล (2) ผสม 0.5% citric acid

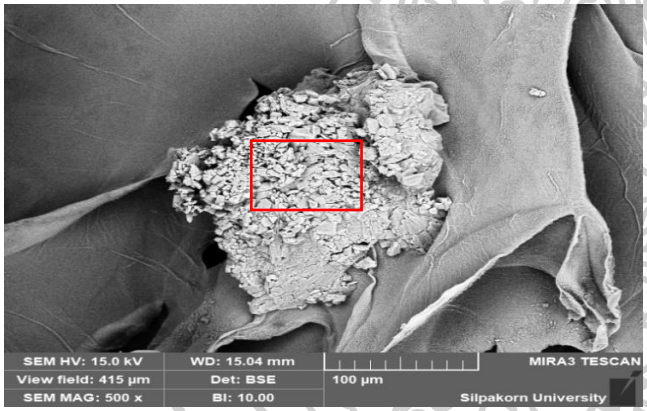
4.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างเจลและสำลีด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

นำแผ่นไฮโดรเจลที่ทำความสะอาดเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กล่อง A-1 มาทำให้แห้ง แล้วนำแผ่นเจลแห้งไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ได้ผลการทดสอบดังแสดงใน (ดังภาพที่51) จากรูปจะเห็นว่าจะพบธาตุ Cu และ Ag ซึ่งเป็นโลหะที่ใช้ในการทำเครื่องถม ซึ่งช่วยยืนยันว่าสนิมที่ถูกกำจัดนั้นเป็นสนิมของ Cu และ Ag



Element	Weight %	Atomic %
C	34.39	42.42
N	4.10	4.34
O	52.58	48.68
Na	5.87	3.78
Si	0.39	0.21
Ag	0.46	0.06
Cu	2.21	0.51

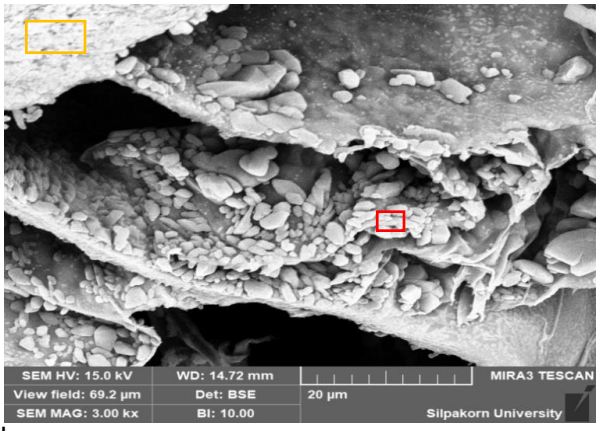
ภาพที่ 51 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1



Element	Weight %	Atomic %
C	23.55	35.45
N	8.40	10.84
O	40.40	45.66
Cl	0.81	0.41
Cu	26.84	7.64

ภาพที่ 52 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1

นอกจากนี้ยังพบธาตุอื่นๆซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นธาตุของคราบสกปรกที่ทำให้เกิดความเสื่อมสภาพเช่นกัน คราบที่ถูกดูดซับออกมาอยู่ในไฮโดรเจลนั้นมีโซเดียมคลอไรด์ กำมะถัน (ดังภาพที่53)



ภาพที่ 53 ข้อมูล SEM-EDX ของไฮโดรเจลหลังทำความสะอาดกล่อง A-1

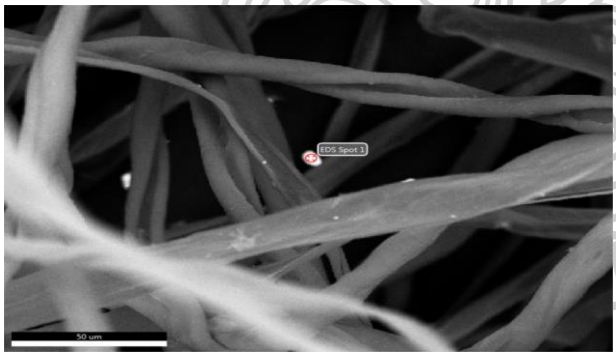
บริเวณพื้นที่กรอบสีแดง

Element	Weight %	Atomic %
C	39.70	48.22
N	8.07	8.41
O	42.27	38.55
Na	3.22	2.05
Cl	6.73	2.77

บริเวณพื้นที่กรอบสีเหลือง

Element	Weight %	Atomic %
C	29.61	43.66
O	27.23	30.14
Ni	0.56	0.17
Cu	1.14	0.32
Na	18.43	14.20
S	0.08	0.04
Cl	22.96	11.47

เมื่อนำไฮโดรเจลดูดซับคราบสกปรกแล้วจากนั้นนำสำลีเช็ดทำความสะอาดคราบสกปรกบนผิวของเครื่องถมอีกครั้ง นำสำลีมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ได้ผลการทดสอบดังแสดงใน (ดังภาพที่54) จากรูปจะเห็นว่าจะพบธาตุ Cu และ Ag ซึ่งเป็นโลหะที่ใช้ในการทำเครื่องถม ซึ่งช่วยยืนยันว่าสนิมที่ถูกกำจัดนั้นเป็นสนิมของ Cu และ Ag นอกจากนี้ยังพบธาตุ S ซึ่งเป็นองค์ประกอบของยาถม



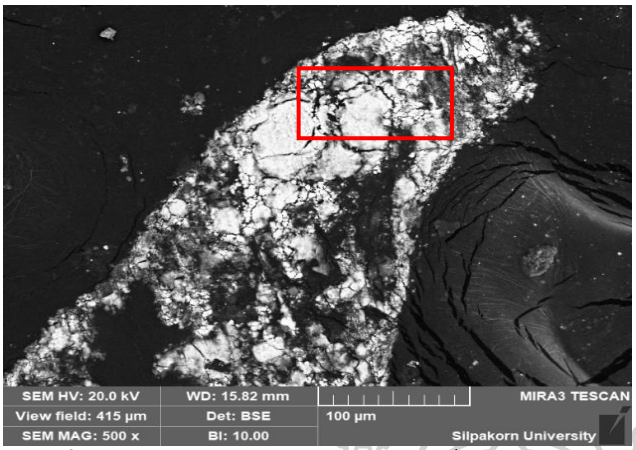
Element	Weight %	Atomic %
C	33.87	57.61
O	23.95	30.59
S	6.59	4.20
Ag	27.47	5.20
I	1.32	0.21
Cu	6.80	2.19

ภาพที่ 54 ข้อมูล SEM-EDX ของสำลีหลังทำความสะอาดกล่อง A-1

4.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างสนิมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

คราบสนิมบนเครื่องถม A-1 นั้น มีธาตุหลายชนิดด้วยกัน (ดังภาพที่55) จะเห็นได้ว่าสนิมบริเวณนี้ค่อนข้างหนา จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy

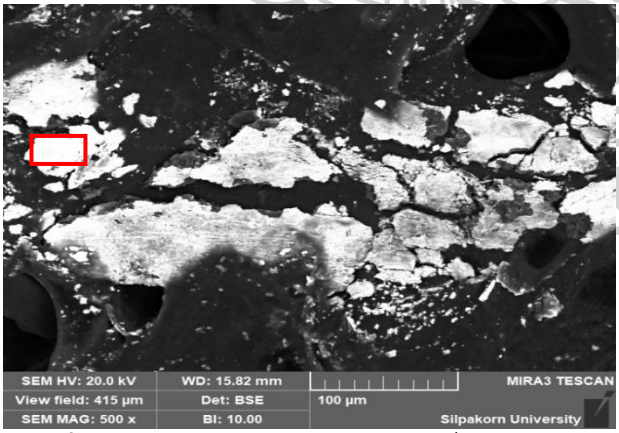
Dispersive X-ray (SEM-EDX) พบธาตุ Cu S ซึ่งเป็นส่วนผสมในการทำเครื่องถม และธาตุอื่นๆ Al Si Cl Ni Zu ธาตุเหล่านี้ยังสรุปไม่ได้ว่ามาจาแหล่งใด



ภาพที่ 55 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1

Element	Weight %	Atomic %
C	32.09	53.27
O	24.23	30.19
Al	0.73	0.54
Si	1.08	0.76
S	5.34	3.32
Cl	1.46	0.81
Ni	6.22	2.11
Cu	23.13	7.26
Zn	5.72	1.75

กล่องถม A-2 จากการวิเคราะห์สนิมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) (ดังภาพที่56) มีสนิมค่อนข้างหนา พบธาตุ Ag, Cu, S ซึ่งเป็นธาตุที่เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องถม ธาตุ Hg เป็นธาตุที่อยู่ในกระบวนการทำเครื่องถมทอง ซึ่งจะใช้ธาตุนี้ในขั้นตอนการเปียกทองทาจึงสันนิษฐานได้ว่า เครื่องถมชุดนี้อาจจะเคยเป็นเครื่องถมทองมาก่อนและได้มีการกำจัดออกไปด้วยแรงกล นอกจากนี้ยังพบธาตุ Al ยังสรุปไม่ได้ว่ามาจากแหล่งใด

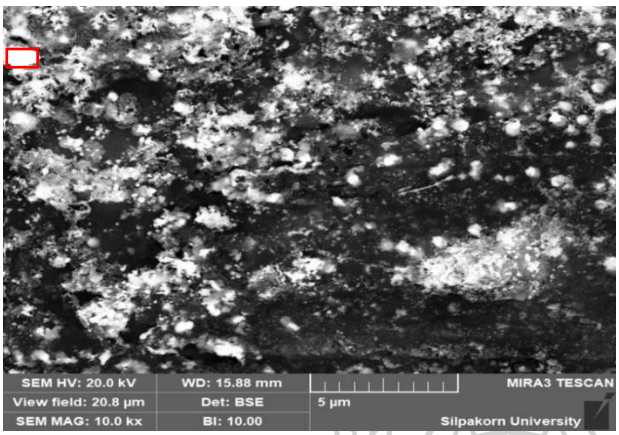


ภาพที่ 56 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2

Element	Weight %	Atomic %
C	17.51	49.33
O	2.93	6.17
Al	1.20	1.50
Hg	4.14	0.70
S	11.37	11.99
Ag	14.38	4.51
Cu	48.47	25.81

กล่องถม A-3 จากการวิเคราะห์สนิมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) พบธาตุ Ag, Cu, S เป็นธาตุส่วนผสมของการทำเครื่องถม จุดนี้จะเห็นได้ว่าสนิมมีการกระจายตัวทั่วทั้งบริเวณ พบธาตุ Ag เป็นส่วนมาก (ดังภาพที่57) จากข้อมูลนี้แสดงให้

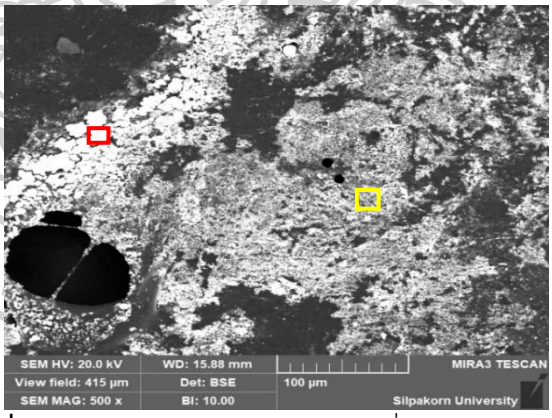
เห็นว่ากล่องถม A-3 น่าจะเป็นกล่องถมเงิน นอกจากนั้นยังพบธาตุ Al, Si ซึ่งน่าจะมาจากฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวของกล่อง



Element	Weight %	Atomic %
C	19.33	55.36
O	7.44	15.99
Al	1.18	1.49
Si	1.15	1.41
S	2.03	2.17
Ag	61.55	19.62
Cu	7.32	3.96

ภาพที่ 57 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-3

กล่อง A-4 จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) พบธาตุ Ag Cu S ช่วยยืนยันได้ว่าสนิมเหล่านี้เป็นสนิมของธาตุที่นำมาผลิตเครื่องถม (ดังภาพที่58)



ภาพที่ 58 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-4

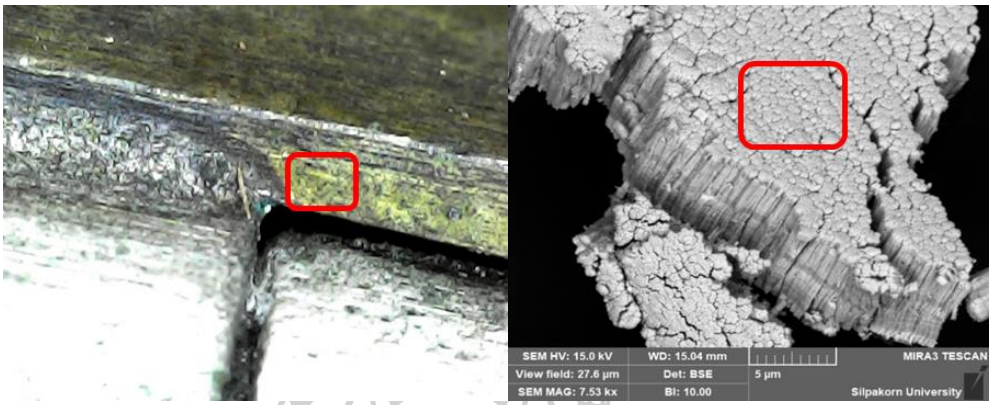
บริเวณพื้นที่สีแดง

Element	Weight %	Atomic %
C	11.25	36.96
O	6.13	15.12
S	10.88	13.39
Ag	39.23	14.35
Cu	32.52	20.19

บริเวณพื้นที่สีเหลือง

Element	Weight %	Atomic %
C	51.24	73.50
O	17.70	19.06
S	2.89	1.55
Ag	15.78	2.52
Cu	12.38	3.36

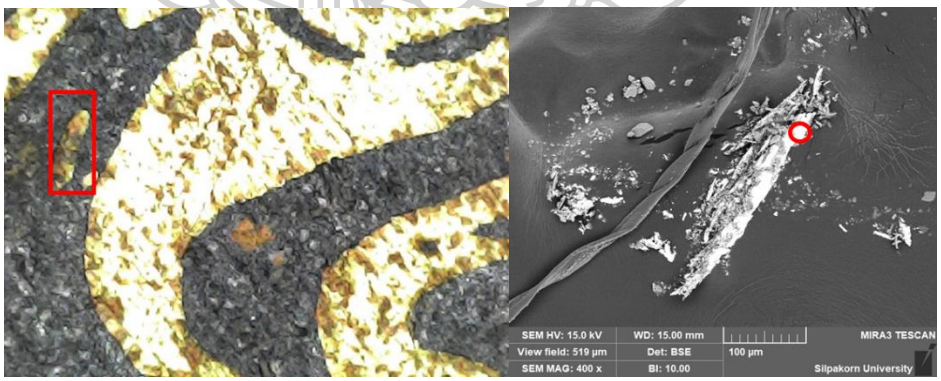
นอกจากนี้ยังพบผลึกทองคำบนเครื่องถม A-1 ด้านในตรงบานพับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องถมชิ้นนี้เป็นเครื่องถมประเภท เครื่องถมทอง (ดังภาพที่59) จะพบธาตุ Au แล้วเครื่องถมทั้งชุดอาจจะเป็นเครื่องถมทองทั้งหมด แต่ถูกขัดออกเนื่องจากกระบวนการทำความสะอาดที่ไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 59 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 (ด้านใน)

Element	Weight %	Atomic %
Au	100.00	100.00

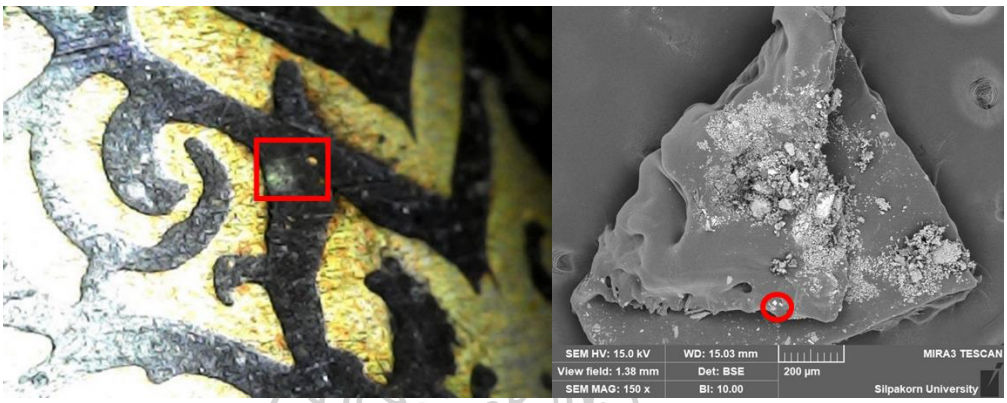
บริเวณยาถมลายด้านหน้ากล่อง A-1 จะพบธาตุที่เป็นส่วนประกอบของการทำยาถม (ดังภาพที่ 59) สนิมบริเวณนี้มีสีส้ม ซึ่งพบธาตุ Cu และ Zn เป็นองค์ประกอบ (ดังภาพที่60)



ภาพที่ 60 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 Spot1

Element	Weight %	Atomic %
O	4.93	16.50
Al	1.15	2.28
Si	2.61	4.98
Cu	60.81	51.25
Zn	30.50	24.99

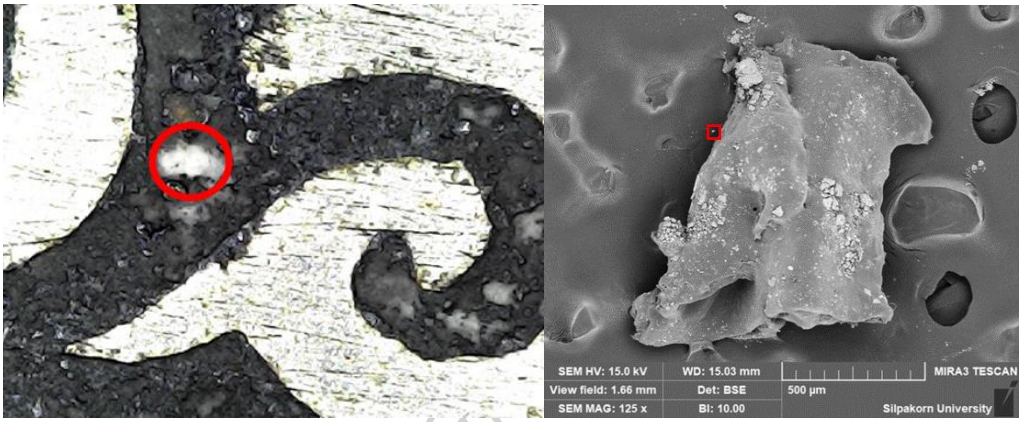
บริเวณยาถมสีดำพบสนิมหลายสีด้วยกันเช่น สีส้ม สีขาว สีดำและสีเขียว ปะปนกันทั่วทั้งบริเวณ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) พบธาตุ (ดังภาพที่61) ธาตุที่นอกเหนือจากส่วนผสมของเครื่องถมนั้น อาจจะเป็นธาตุที่มาจากการปนเปื้อนในการทำความสะอาด



ภาพที่ 61 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-1 Spot1

Element	Weight %	Atomic %
C	13.99	37.92
O	14.58	29.67
Mg	0.85	1.14
Al	1.09	1.31
Si	1.00	1.16
Cl	13.17	12.10
Ag	55.32	16.70

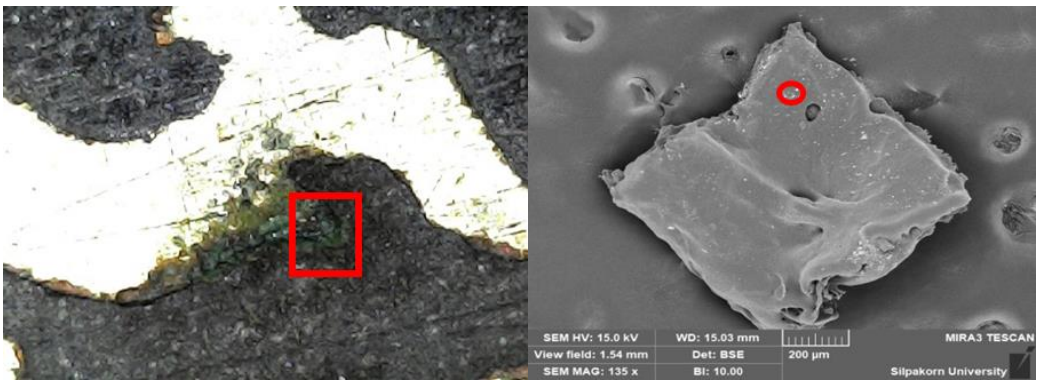
การทำความสะอาดที่ไม่หมดจดอาจก่อให้เกิดคราบสนิม ซึ่งคราบสนิมเหล่านี้สามารถกัดกร่อนหลุดล่อนของชิ้นงานโลหะได้ และธาตุที่พบนอกเหนือจากการผลิตเครื่องถมอาจจะเกิดจากการปนเปื้อนจากการหลอม ภาชนะหลอมรีดซึ่งก็ปรากฏธาตุเหมือนกัน (ดังภาพที่62) Zr เป็นส่วนประกอบของอิฐทนไฟ สำหรับการทำเตาหลอม



ภาพที่ 62 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2 Spot1

Element	Weight %	Atomic %
C	27.45	57.08
O	15.84	24.71
Cu	11.19	4.40
Zr	3.14	0.86
Cl	2.38	1.67
Ag	9.33	2.16
Te	15.51	3.03
Fe	4.50	2.01
Zn	10.67	4.08

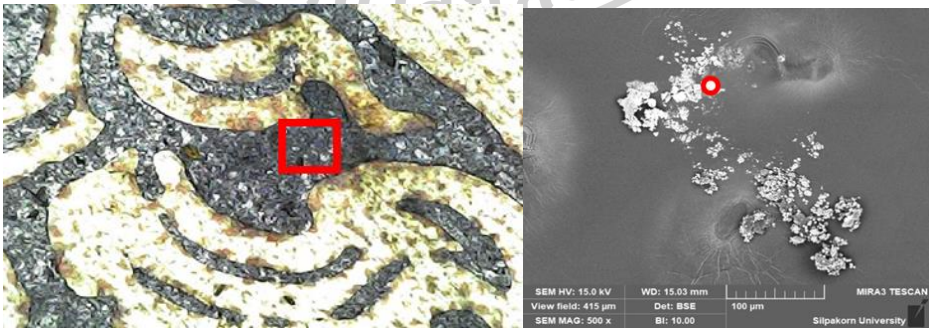
บริเวณนี้เป็นคราบสนิมสีดำ (ดังภาพที่63) เมื่อนำไปวิเคราะห์ พบธาตุ Ag ค่อยข้างมาก สนิมที่พบในเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครนี้พบธาตุคล้ายกันทั้ง 4 ชิ้น เกิดสนิมหลายสีทั่วทั้งบริเวณปกคลุมบนเครื่องถม สนิมที่พบควรกำจัดออก เพราะเป็นสนิมที่เกิดจากสารเคมีและการสัมผัสผิดวิธีของมนุษย์ ควรดูแลรักษาความเสื่อมสภาพและจัดเก็บให้เหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 63 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-2 Spot5

Element	Weight %	Atomic %
C	12.31	38.85
O	7.45	17.64
Si	0.76	1.03
S	7.44	8.79
Cl	6.56	7.01
Ag	51.45	18.07
Ni	4.79	3.09
Cu	9.24	5.51

บริเวณ (เครื่องถม A-2) พบทองคำปะปน จึงเป็นสิ่งยืนยันว่าเครื่องถมชุดนี้เป็นเครื่องถมทอง (ดังภาพที่64)



ภาพที่ 64 ข้อมูล SEM-EDX สนิมของเครื่องถม A-3 Spot1

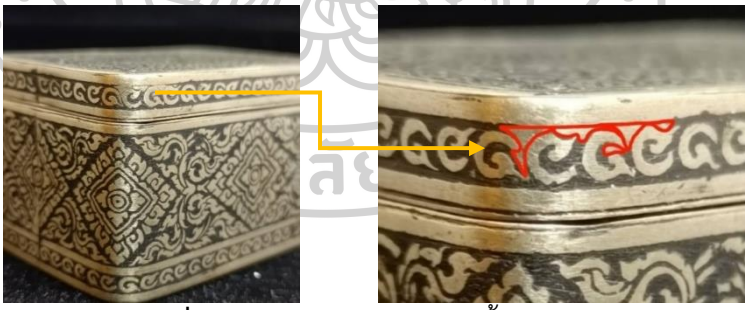
Element	Weight %	Atomic %
Au	100.00	100.00

4.7 ร่องรอยการการทำความสะอาดเครื่องถม จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์สนิมเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) พบธาตุ Ag, Cu, S, Hg, Si, Al, Au, Cl, Te, Fe, Mg, Zr และ Zn มีธาตุที่เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตเครื่องถมคือ Ag Cu S ธาตุ 3 ชนิดนี้จะมีในเครื่องถมทุกชิ้น (ตัวอักษรสีแดง) ดังตารางที่ 7 และธาตุ Au และ Hg ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในกระบวนการผลิตเครื่องถมเช่นกันแต่จะเป็นขบวนการเพิ่มเติมจากการทำเครื่องถมเงิน คือ การเปียกทองทา ซึ่งจะพบในเครื่องถมประเภทเครื่องถมทอง และถมตะทอง ธาตุ Au และ Hg ซึ่งพบในกล่อง A-2 เป็นหลักฐานที่ขัดแย้งกับสภาพแรกที่ได้จากการสำรวจลักษณะภายนอกที่เป็นเครื่องถมเงินทั้งชุด แต่เมื่อพบธาตุ Au และ Hg จึงตั้งสมมติฐานว่าเครื่องถมชุดนี้แรกเริ่มเดิมทีนั้นอาจจะเป็นเครื่องถมทอง แต่ถมทองเหล่านี้ถูกขัดออกไปในขั้นตอนการขัดสนิม ซึ่งจากภาพถ่ายของกล้อง portable digital microscope เห็นร่องรอยการขัดถู (ดังภาพที่ 65,66,67)

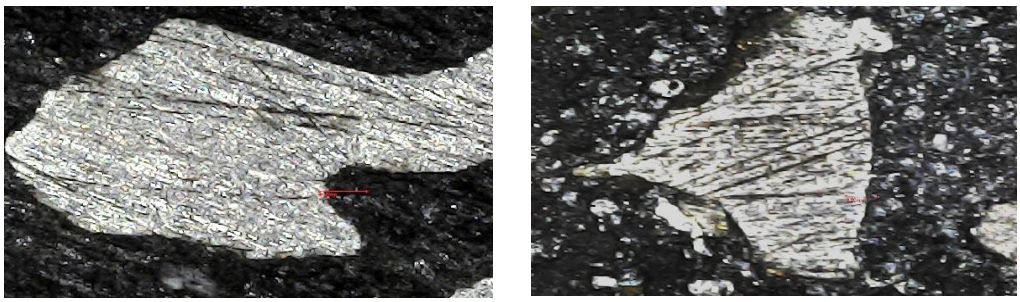
ตารางที่ 7 แสดงธาตุของเครื่องถมวัดราชาธิราชวิหาร กรุงเทพมหานคร

เครื่องถม	ธาตุ
A-1	Ag, Cu, S, Au, Al, Si, Cl, Ni, Zn, Mg
A-2	Ag, Cu, S, Au, Hg, Al, Cl, Te, Fe, Zn, Zr
A-3	Ag, Cu, S, Al, Si
A-4	Ag, Cu, S



ภาพที่ 65 ร่องรอยการขัดจนถึงเนื้อเงินด้านใน

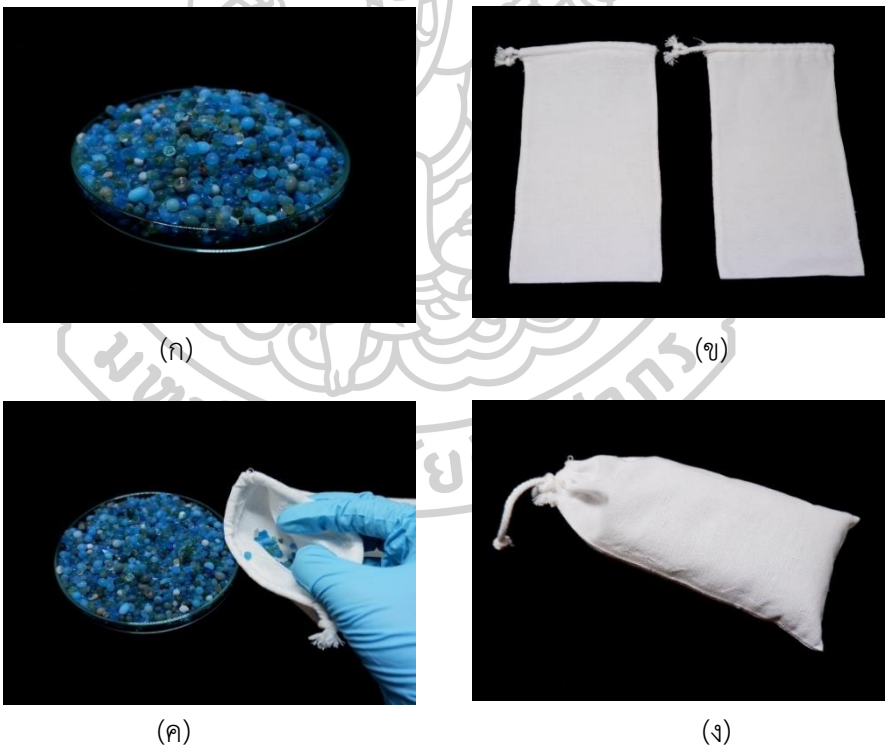
ภาพที่ 66 ร่องรอยการถูกขัดเป็นแนวเส้นชัดเจน



ภาพที่ 67 ตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้อง portable digital microscope ที่พบร่องรอยการขัด

4.8 การดูแลรักษาและการจัดเก็บ

เครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร เดิมจัดเก็บในตู้ไม้มีกระจกรอบด้าน ทางเลือกที่ง่ายและวิธีการไม่ซับซ้อน (ดังภาพที่68) นำซิลิกาเจลบรรจุในถุงผ้าดิบไปวางในตู้จัดเก็บเครื่องถมที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วเพื่อใช้ดูดความชื้นภายในตู้ เป็นการดูแลรักษาเพื่อชะลอความเสื่อมสภาพของโลหะ



(ก) (ข)

(ค) (ง)

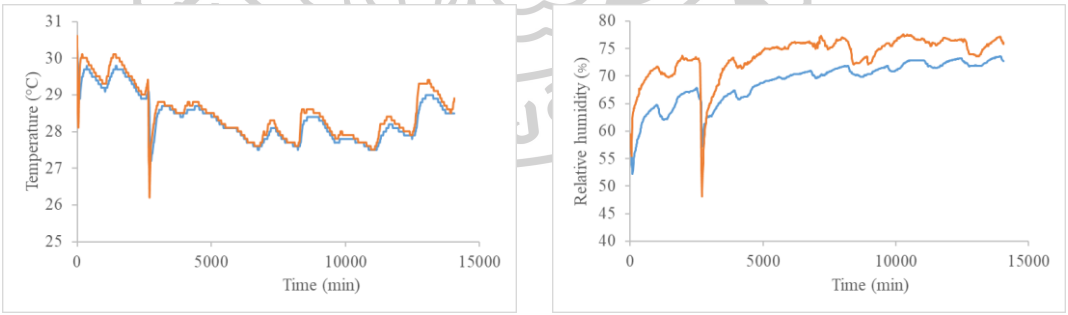
ภาพที่ 68 การบรรจุซิลิกาเจล

(ก) ซิลิกาเจล (ข) ถุงผ้าดิบขนาด 4×7 นิ้ว (ค) ใส่ซิลิกาเจลในถุงผ้าดิบ (ง) ถุงซิลิกาเจล

ซิลิกาเจลที่บรรจุในถุงผ้าดิบแล้วนำไปวางไว้ในตู้จัดแสดงเครื่องถมเป็นเวลา 20 วัน เพื่อลดความชื้น จะเห็นได้ว่าซิลิกาเจลเปลี่ยนจากสีน้ำเงินจะเป็นสีชมพู (ดังภาพที่69) เป็นการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าซิลิกาเจลดูดความชื้นจนอิ่มตัว ต้องนำซิลิกาเจลไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อไล่ความชื้น

ภาพที่ 69 สีจากการดูดความชื้นของซิลิกาเจล

เมื่อนำซิลิกาเจลไปวางในตู้จัดแสดงเครื่องถมเพื่อลดความชื้น วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นทั้งในและนอกตู้จัดแสดงด้วยเครื่อง GSP Temperature and Humidity Data Logger GSP-6 โดยวัดทุก 15 นาที (เริ่มต้นวัดวันที่ 22 กันยายน 2565 เวลา 14.44) แสดงผลดังตารางที่ (ภาคผนวก) และกราฟ (ดังภาพที่70) จากข้อมูลในกราฟ พบว่าอุณหภูมิภายในและนอกตู้มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้น้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซิลิกาช่วยลดความชื้นได้ และจะช่วยชะลอการเกิดสนิมของชิ้นงานเครื่องถมและโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก) (ข)

ภาพที่ 70 กราฟแแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิภายในและนอกตู้จัดแสดง

(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิภายใน (กราฟสีน้ำเงิน) และภายนอก (กราฟสีส้ม) ตู้จัดแสดง

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน (กราฟสีน้ำเงิน) และภายนอก (กราฟสีส้ม) ตู้จัดแสดง

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์เครื่องถม กรณีศึกษาของวัดราชาธิราช กรุงเทพมหานคร ได้ผลสรุปดังนี้

1. การเก็บข้อมูลและการประเมินสภาพเบื้องต้นของเครื่องถมโบราณวัดราชาธิราชวิหาร กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเครื่องถมจุฑาธุชจำนวน 1 ชุด มีชิ้นงานทั้งหมด 4 ชิ้น มีความเสื่อมสภาพคือ มีสนิมปกคลุมทั่วทั้งกล่อง เฉดสีที่เปลี่ยนไปไม่สม่ำเสมอกัน มีรอยกระเทาะและขูดขีดจากการขัดทำความสะอาดด้วยการอนุรักษ์ที่ผิดวิธี เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) ที่ออกมานั้นพบธาตุโลหะทองคำ (Au) และปรอท (Hg) ซึ่งแสดงใหเห็นว่า แต่เดิมนั้นกล่องเครื่องถมเงินที่วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร เป็นเครื่องถมทองที่ได้มีการทำความสะอาดจนทองหลุดลอกออกไป จึงได้เผยเนื้อโลหะเงินผสมทองแดงกลายเป็นกล่องถมเงินอย่างที่ปรากฏ

2. จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสนิมโลหะเครื่องถมโบราณด้วยเทคนิค EDX พบธาตุองค์ประกอบดังนี้

กล่อง A-1 Ag, Cu, S, Au, Al, Si, Cl, Ni, Zn, Mg

กล่อง A-2 Ag, Cu, S, Au, Hg, Al, Cl, Te, Fe, Zn, Zr

กล่อง A-3 Ag, Cu, S, Al, Si

กล่อง A-4 Ag, Cu, S

ธาตุที่พบส่วนใหญ่เป็นสนิมจากเนื้อโลหะที่ทำเครื่องถม มีธาตุปนเปื้อนจากการขัดถูจากตะไบและอุปกรณ์ต่างๆจากกระบวนการผลิตเครื่องถม และไม่พบตะกั่วในการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบในการทำยาถมของเครื่องถมโบราณนี้

3. สำหรับเครื่องถมเงินที่ทำเลียนแบบ สนิมที่เกิดขึ้นบนเครื่องถมนั้นจะเกิดขึ้นจากส่วนของยาถม แล้วจึงปกคลุมมาในส่วนของเนื้อเงิน ส่วนเครื่องถมทองสนิมเกิดขึ้นบนบริเวณยาถมและมีการเกิดสนิมบนเนื้อทองน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทาทองทำให้ชิ้นงานมีคุณค่าและความสวยงามมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพในงานเครื่องถมได้

4. ในขั้นตอนทำความสะอาดสนิมบนเครื่องถม (ทั้งเครื่องถมโบราณและเครื่องถมที่ทำเลียนแบบ) การเลือกใช้ไฮโดรเจลในการทำความสะอาดเครื่องถม ผลที่ได้คือไฮโดรเจลสามารถดูดสนิมโลหะได้ดี โดยเฉพาะสนิมทองแดง เมื่อนำไฮโดรเจลไปแปะบริเวณที่มีสนิมหนาปกคลุมอยู่สนิมจะค่อยๆถูกดูดขึ้นไป ทำให้ไฮโดรเจลเปลี่ยนสี จากสีใสเป็นสีฟ้าหรือเขียว และยังสามารถทำให้สารปนเปื้อนต่างๆติดไปกับเจลได้อีกด้วยโดยไม่ต้องใช้แรงกลในการกระทำ หากจุดใดที่สนิมค่อนข้างหนาอาจจะใช้ไฮโดรเจลแปะ 2 รอบ และทำความสะอาดอีกครั้งด้วยเอทานอล

5. ซิลิกาเจล การใช้ซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้นในตู้จัดเก็บโบราณวัตถุ ณ วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานครพบว่า อุณหภูมิความชื้นในตู้ลดลงเมื่อใส่ซิกาเจลขนาด 9×16 เซนติเมตร จำนวน 2 ถุง ไว้ด้านในตู้ในขณะที่ภายนอกตู้ค่าอุณหภูมิความชื้นสูงกว่า และซิลิกาเจลเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีชมพู และเมื่อนำซิลิกาเจลไปใช้กับการเก็บรักษาชิ้นงานเครื่องถมจำลองพบว่า เครื่องถมจำลองที่ทำความสะอาดด้วยไฮโดรเจลแล้วนำมาเก็บใส่ถุงไว้ในซิลิกาเจลนั้นยังไม่มีสนิมเกิดขึ้นในระยะเวลา 7 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายการอ้างอิง

Allan, J. W. (1979). Persian metal technology 700-1300 AD. *Ithaca Press, illustrated*.

Bromberg, P. (2019). *Thai Silver and Nielloware*: River Books Company, Limited.

Bruère, R. T. (1953). Pliny: Natural History. In: JSTOR.

Cellini, B. (1967). The Treatises on Goldsmithing and Sculpture, translated by CR Ashbee. In: Dover Publications, New York.

Cellini, B., & Ashbee, C. R. (1898). *Treatises on Goldsmithing & Sculpture*: Edward Arnold.

Clavicula, M., Hawthorne, J. G., & Smith, C. S. (1974). *Mappae Clavicula. A Little Key to the World of Medieval Techniques.[Translated and Annotated By] Cyril Stanley Smith and John G. Hawthorne*: American Philosophical Society.

Costa, V. (2001). The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation. *Studies in Conservation,* 46(sup1), 18-34.

Fukuda, Y., Fukushima, T., Sulaiman, A., Musalam, I., Yap, L., Chotimongkol, L., . . . Yoshihara, K. (1991). Indoor corrosion of copper and silver exposed in Japan and ASEAN1 countries. *Journal of the Electrochemical Society,* 138(5), 1238.

Inaba, M. (1996). Tarnishing of Silver: A short review. *V&A Conservation Journal*(18), 9-10.

La Niece, S. (1983). Niello: an historical and technical survey. *The Antiquaries Journal, 63*(2), 279-297.

Lyon, S., Richardson, T., Cottis, B., Lindsay, R., Scantlebury, D., Stott, H., & Graham, M. (2010). Shreir's Corrosion.

Maryon, H. (1971). Metalworking and Enamelling. *New York*.

Sharma, R., & Chang, Y. (1986). The Ag– S (Silver-Sulfur) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams,* 7(3), 263-269.

Untracht, O. (1969). *Metal Techniques for Craftsmen: Basic Manual on Methods of Forming and Decorating Metals*.

Yu, J., Go, I., & Lee, H. (2012). Conservation Of Metal Objects (Winwin, Trans.). In.

ตรีนุช พลางกูล. (2554). วัฒนธรรมความเชื่อ. สยามรัฐ.

ปิยวรรรณ หอมจันทร์. (2564). กระบวนการอนุรักษ์ศาสนสถาน ในมรดกโลกทางวัฒนธรรมของไทย. *Journal of MCU Social Development,* 5(3), 33-43.

พระราชกวี. (2543). ประวัติวัดราชาธิวาสวิหาร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สุวีรวัฒน์.

พิมพ์นิภา สวนสมบุญ, & มะลิวรรณ บุญรักษ์. (2561). การผลิตและการศึกษาสมบัติของซิลิกาเจลจากชานอ้อย ที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27.

ละม่อม โอชะกะ, & นายมนตรี จันทพันธ์. (2539). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 21. กรุงเทพมหานคร: โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน.

สมชาย ณ นครพนม. (2555). สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ กับงานประณีตศิลป์. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร.

สมาคมเครื่องถมและเครื่องเงินไทย. (2512). *Thai Niello & Silver Ware Assocition*. พระนคร: โรงพิมพ์บรรณาคม.

สำนักงานเลขาธิการคุรุสภา. (2536). ประวัติครู พ.ศ. 2536. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

เสนอ นิลเดช, จุลทรรศน์ พยาฆรานนท์, & เขมทัต วิศวโยธิน. (2526). เครื่องถม จัดแสดง ณ พระที่นั่งวิมาณเมฆ พระราชวังดุสิต (Vol. 2). กรุงเทพมหานคร: อักษรสัมพันธ์.

หม่อมราชวงศ์ จิราคม กิติยากร. (2520). ราชกุลกิติยากร. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

หอพระสมุดวชิรญาณ. (2462). ประชุมพงษาวดาร ภาคที่ 18. พระนคร: โรงพิมพ์โสภณพิพรรฒธนากร.

หอพระสมุดวชิรญาณ. (2466). ลัทธิธรรมเนียมต่างๆ ภาคที่ 16 ตำนานภาษีอากรบางอย่าง. พระนคร: โรงพิมพ์โสภณพิพรรฒธนากร.

ภาคผนวก

ภาพผนวก

แบบรายงานบันทึกสภาพเครื่องถมวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

ลำดับที่	
ข้อมูลทั่วไป	
วัสดุของวัตถุโบราณ	
วัน / เดือน / ปี ที่สำรวจ	
ทะเบียนวัตถุโบราณ	
จำนวน	
รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ	
สภาพโดยทั่วไป 1. สภาพวัตถุ ..... 2. การเก็บรักษา ..... 3. การทำความสะอาดวัตถุเบื้องต้น ..... 4.การเก็บตัวอย่างสาร	

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นด้านในและนอกตู้เก็บชิ้นงานทุก 15 นาที (เริ่มต้นวัดวันที่ 22 กันยายน 2565 เวลา 14.44)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
0	30.3	58.9	30.6	59.4
15	30	57.6	28.6	59.1
30	29.8	55.9	28.4	56.9
45	29.6	55.7	28.1	55.4
60	29.2	53.8	28.5	58.3
75	28.9	53.1	29.1	60.9
90	28.9	52.2	29.5	62.4
105	28.9	52.8	29.8	63.4
120	29.1	54.4	29.9	63.8
135	29.2	55.1	30	64.1
150	29.3	55.6	30	64.2
165	29.4	56	30	64.5
180	29.5	56.3	30.1	64.8
195	29.5	56.6	30.1	65
210	29.5	56.9	30	65.3
225	29.6	57.3	30	65.4
240	29.6	57.6	30	65.6
255	29.7	58	30	65.8
270	29.7	58.4	30	66.1
285	29.7	58.6	30	66.3
300	29.7	58.8	30	66.4
315	29.7	59.1	30	66.6
330	29.7	59.1	30	66.8
345	29.7	59.3	30	67.7
360	29.8	59.5	30	67.5
375	29.7	60.1	29.9	67.6
390	29.7	60.4	29.9	67.6
405	29.7	60.7	29.9	68
420	29.7	61	29.9	68.2
435	29.7	61.4	29.8	68.3
450	29.7	61.5	29.8	68.5
465	29.7	61.7	29.8	68.5
480	29.6	62	29.8	68.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
495	29.6	62.1	29.8	68.8
510	29.6	62.3	29.8	68.9
525	29.6	62.4	29.8	69
540	29.6	62.6	29.7	69.2
555	29.5	62.6	29.7	69.3
570	29.5	62.7	29.7	69.4
585	29.5	62.8	29.7	69.5
600	29.5	62.9	29.7	69.7
615	29.5	63	29.7	69.8
630	29.5	63	29.6	69.8
645	29.5	63.1	29.6	69.9
660	29.5	63.2	29.6	70
675	29.5	63.3	29.6	70.1
690	29.5	63.4	29.6	70.3
705	29.4	63.5	29.5	70.4
720	29.4	63.6	29.5	70.5
735	29.4	63.7	29.5	70.5
750	29.4	63.8	29.5	70.8
765	29.4	63.8	29.5	70.8
780	29.4	63.9	29.5	71
795	29.3	64	29.5	71
810	29.3	64	29.5	71
825	29.3	64	29.5	71
840	29.3	64.1	29.5	71.1
855	29.3	64.2	29.4	71.1
870	29.3	64.2	29.4	71.2
885	29.3	64.3	29.4	71.2
900	29.2	64.3	29.4	71.3
915	29.2	64.4	29.4	71.3
930	29.2	64.5	29.4	71.4
945	29.2	64.5	29.3	71.5
960	29.2	64.6	29.3	71.5
975	29.2	64.6	29.3	71.5
990	29.2	64.8	29.3	71.6
1005	29.2	64.8	29.3	71.7
1020	29.2	64.6	29.3	71.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
1035	29.1	64.5	29.3	71.7
1050	29.1	64.2	29.3	71.6
1065	29.2	64.1	29.3	71.5
1080	29.2	64	29.3	71.4
1095	29.2	63.4	29.4	71.2
1110	29.2	63	29.5	70.8
1125	29.2	62.9	29.5	70.7
1140	29.3	62.7	29.5	70.7
1155	29.3	62.8	29.5	70.5
1170	29.3	62.8	29.6	70.4
1185	29.4	62.7	29.7	70.7
1200	29.4	62.2	29.8	70.6
1215	29.4	62.1	29.8	70.4
1230	29.5	62.1	29.8	70.4
1245	29.5	62.2	29.9	70.4
1260	29.5	62.2	29.9	70.4
1275	29.5	62	30	70.5
1290	29.6	62.1	30	70.5
1305	29.6	62.1	30	70.2
1320	29.6	62.2	30	70.1
1335	29.6	62.1	30	70.1
1350	29.7	62.2	30.1	70
1365	29.7	62.3	30.1	70
1380	29.7	62.2	30.1	69.9
1395	29.7	62.3	30.1	69.9
1410	29.7	62.4	30.1	69.8
1425	29.7	62.5	30.1	69.8
1440	29.8	62.7	30.1	69.8
1455	29.8	62.8	30	69.7
1470	29.8	63	30	69.8
1485	29.7	63.1	30	69.9
1500	29.7	63.2	30	69.9
1515	29.7	63.3	30	70
1530	29.7	63.3	30	70
1545	29.7	63.4	30	70.1
1560	29.7	63.5	30	70

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
1575	29.7	63.6	30	70.1
1590	29.7	63.8	29.9	70.1
1605	29.7	63.9	29.9	70.2
1620	29.7	64	29.9	70.3
1635	29.7	64.2	29.9	70.3
1650	29.7	64.3	29.9	70.3
1665	29.7	64.4	29.9	70.4
1680	29.7	64.6	29.8	70.6
1695	29.7	64.8	29.8	71.1
1710	29.7	64.9	29.8	71.6
1725	29.6	65.1	29.8	71.9
1740	29.6	65.4	29.8	72
1755	29.6	65.7	29.8	72.2
1770	29.6	65.9	29.7	72.3
1785	29.6	66	29.7	72.5
1800	29.5	66.1	29.7	72.5
1815	29.5	66.2	29.7	72.7
1830	29.5	66.3	29.6	72.7
1845	29.5	66.3	29.6	72.8
1860	29.5	66.4	29.6	72.7
1875	29.5	66.5	29.6	72.9
1890	29.5	66.5	29.6	73
1905	29.5	66.6	29.6	73.1
1920	29.5	66.6	29.5	73.3
1935	29.5	66.7	29.5	73.3
1950	29.5	66.7	29.5	73.4
1965	29.4	66.8	29.5	73.7
1980	29.4	66.8	29.5	73.4
1995	29.4	66.8	29.5	73.2
2010	29.4	66.9	29.5	73.1
2025	29.4	66.9	29.5	73
2040	29.3	67	29.5	73.1
2055	29.3	67	29.4	73.1
2070	29.3	67	29.4	73.2
2085	29.3	67.1	29.4	73.2
2100	29.3	67.1	29.4	73.2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
2115	29.3	67.1	29.4	73.2
2130	29.2	67.1	29.4	73.1
2145	29.2	67.1	29.3	73
2160	29.2	67.1	29.3	72.9
2175	29.2	67.1	29.3	72.8
2190	29.2	67.1	29.3	72.8
2205	29.1	67	29.2	72.8
2220	29.1	67.1	29.2	72.8
2235	29.1	67.1	29.2	72.9
2250	29.1	67.1	29.2	72.9
2265	29.1	67.2	29.2	72.9
2280	29.1	67.2	29.2	72.8
2295	29	67.2	29.1	72.9
2310	29	67.3	29.1	73
2325	29	67.3	29.1	72.9
2340	29	67.3	29.1	73
2355	29	67.3	29.1	73
2370	29	67.4	29.1	73.1
2385	28.9	67.4	29.1	73.1
2400	28.9	67.4	29	73.1
2415	28.9	67.5	29	73.1
2430	28.9	67.5	29	73.1
2445	28.9	67.5	29	73.2
2460	28.9	67.6	29	73.3
2475	28.9	67.7	29	73.4
2490	28.9	67.7	29	73.1
2505	28.9	67.9	29	73.1
2520	28.9	67.7	29	73.1
2535	28.9	67.4	29	73.1
2550	28.9	67	29.1	73.1
2565	28.9	66.5	29.1	73.2
2580	28.9	66.2	29.2	73
2595	29	66.1	29.2	72.8
2610	29	65.9	29.3	72.6
2625	29	65.9	29.3	72.4
2640	29.1	65.8	29.4	72.1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
2655	29.1	65.6	29	66.4
2670	29.1	65.1	27.3	53.7
2685	28.9	61	27	52.9
2700	28.5	57.3	26.2	48.1
2715	27.7	57.2	26.7	49.4
2730	27.4	58.5	27.1	52.5
2745	27.3	59.4	27.5	54.3
2760	27.2	60	27.7	56.6
2775	27.3	61	27.7	57.9
2790	27.4	61.3	27.8	58.7
2805	27.4	61.3	27.9	59.4
2820	27.5	61.2	28	60.3
2835	27.6	61.4	28.1	61
2850	27.7	61.7	28.2	61.5
2865	27.7	62.1	28.2	62.3
2880	27.8	62.4	28.3	62.9
2895	27.9	62.6	28.4	63.4
2910	28	62.7	28.5	63.8
2925	28.1	62.7	28.5	64
2940	28.2	62.7	28.6	64.1
2955	28.3	62.7	28.6	64.3
2970	28.4	62.5	28.7	64.7
2985	28.4	62.6	28.7	64.7
3000	28.5	62.8	28.7	65
3015	28.5	62.8	28.8	65
3030	28.5	62.8	28.8	65.2
3045	28.5	62.8	28.8	65.4
3060	28.6	62.7	28.8	65.6
3075	28.6	62.8	28.8	66
3090	28.6	63	28.8	66.2
3105	28.6	63.1	28.8	66.3
3120	28.6	63.3	28.8	66.3
3135	28.6	63.4	28.8	66.5
3150	28.6	63.5	28.8	66.7
3165	28.7	63.7	28.8	66.8
3180	28.7	63.8	28.8	67

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
3195	28.7	63.9	28.8	67.2
3210	28.7	64	28.8	67.4
3225	28.7	64.1	28.8	67.5
3240	28.7	64.2	28.8	67.9
3255	28.7	64.4	28.8	68.1
3270	28.7	64.5	28.7	68.3
3285	28.7	64.6	28.7	68.3
3300	28.7	64.7	28.7	68.4
3315	28.7	64.9	28.7	68.5
3330	28.7	65	28.7	68.4
3345	28.7	65	28.7	68.5
3360	28.7	65.1	28.7	69.3
3375	28.7	65.2	28.7	69.5
3390	28.7	65.2	28.7	69.7
3405	28.7	65.4	28.7	70.3
3420	28.7	65.5	28.7	70.1
3435	28.7	65.5	28.7	70.5
3450	28.7	65.6	28.7	70.6
3465	28.6	65.7	28.7	71
3480	28.6	65.7	28.7	71.3
3495	28.6	65.9	28.7	71.2
3510	28.6	66	28.7	71.1
3525	28.6	66.1	28.7	71.2
3540	28.6	66.2	28.7	71.3
3555	28.6	66.2	28.6	71.6
3570	28.6	66.3	28.6	71.7
3585	28.6	66.4	28.6	71.8
3600	28.6	66.4	28.6	71.8
3615	28.5	66.4	28.6	71.9
3630	28.5	66.4	28.6	72.1
3645	28.5	66.5	28.6	72.3
3660	28.5	66.5	28.6	72.4
3675	28.5	66.7	28.6	72.4
3690	28.5	66.7	28.5	72.5
3705	28.5	66.7	28.5	72.5
3720	28.5	66.7	28.5	72.8

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
3735	28.5	66.8	28.5	72.8
3750	28.5	66.8	28.5	72.8
3765	28.5	66.9	28.5	72.9
3780	28.5	66.9	28.5	72.9
3795	28.5	66.9	28.5	72.9
3810	28.5	67	28.5	73.1
3825	28.5	67	28.5	73.1
3840	28.5	67.1	28.5	73.2
3855	28.4	67.1	28.5	73.3
3870	28.4	67.2	28.5	73.3
3885	28.4	67.3	28.5	73.3
3900	28.4	67.4	28.5	73
3915	28.4	67.4	28.5	72.9
3930	28.4	67.4	28.5	72.6
3945	28.4	67.1	28.5	72.5
3960	28.5	66.9	28.5	72.5
3975	28.5	66.8	28.5	72.5
3990	28.5	66.6	28.5	72.1
4005	28.5	66.3	28.6	71.9
4020	28.5	66.1	28.6	71.7
4035	28.5	66	28.7	71.6
4050	28.5	66	28.7	71.5
4065	28.5	65.9	28.7	71.7
4080	28.5	65.8	28.7	71.8
4095	28.5	65.9	28.7	71.6
4110	28.6	65.8	28.7	71.7
4125	28.6	65.8	28.8	71.7
4140	28.6	65.9	28.8	71.7
4155	28.6	65.9	28.8	72
4170	28.6	66	28.8	71.7
4185	28.6	66.1	28.8	71.7
4200	28.6	66.1	28.7	71.4
4215	28.6	66.1	28.7	71.6
4230	28.6	66.1	28.7	71.6
4245	28.6	66.1	28.7	71.5
4260	28.6	66.1	28.7	71.6

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
4275	28.6	66.2	28.7	71.7
4290	28.6	66.2	28.7	72.3
4305	28.6	66.2	28.7	72.4
4320	28.6	66.2	28.8	72.2
4335	28.6	66.2	28.8	72.3
4350	28.6	66.2	28.8	72.3
4365	28.6	66.3	28.8	72.1
4380	28.6	66.3	28.8	72.3
4395	28.7	66.3	28.8	72.1
4410	28.7	66.3	28.8	72.3
4425	28.7	66.4	28.8	72.2
4440	28.7	66.5	28.8	72.6
4455	28.7	66.5	28.8	72.3
4470	28.7	66.6	28.8	72.4
4485	28.7	66.7	28.8	72.4
4500	28.7	66.8	28.8	72.6
4515	28.7	66.9	28.8	72.6
4530	28.7	67.1	28.8	72.6
4545	28.7	67.3	28.7	72.7
4560	28.6	67.5	28.7	72.7
4575	28.6	67.6	28.7	72.8
4590	28.6	67.8	28.7	72.9
4605	28.6	67.9	28.7	73.3
4620	28.6	68	28.7	73.2
4635	28.6	68	28.7	73.5
4650	28.6	68.1	28.6	73.6
4665	28.6	68.1	28.6	73.4
4680	28.6	68.1	28.6	73.2
4695	28.5	68.2	28.6	73.4
4710	28.5	68.2	28.6	73.5
4725	28.5	68.3	28.6	73.5
4740	28.5	68.3	28.6	73.6
4755	28.5	68.3	28.6	73.6
4770	28.5	68.4	28.6	73.8
4785	28.5	68.4	28.6	73.8
4800	28.5	68.4	28.6	73.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
4815	28.5	68.4	28.5	73.8
4830	28.5	68.5	28.5	73.8
4845	28.5	68.5	28.5	73.9
4860	28.5	68.5	28.5	74
4875	28.5	68.6	28.5	74.2
4890	28.5	68.6	28.5	74
4905	28.5	68.7	28.5	74.2
4920	28.5	68.7	28.5	74.1
4935	28.5	68.7	28.5	74.3
4950	28.5	68.7	28.5	74.3
4965	28.5	68.7	28.5	74.5
4980	28.5	68.8	28.5	74.6
4995	28.5	68.8	28.5	74.6
5010	28.4	68.9	28.5	74.7
5025	28.4	68.9	28.5	74.8
5040	28.4	68.9	28.5	74.8
5055	28.4	69	28.5	74.8
5070	28.4	69	28.5	75
5085	28.4	69	28.5	75.1
5100	28.4	69.1	28.5	74.9
5115	28.4	69.1	28.4	75
5130	28.4	69.1	28.4	75
5145	28.4	69.1	28.4	74.9
5160	28.4	69.1	28.4	74.9
5175	28.4	69.1	28.4	74.9
5190	28.4	69.1	28.4	74.9
5205	28.3	69.1	28.4	74.9
5220	28.3	69.1	28.4	74.9
5235	28.3	69.1	28.4	74.9
5250	28.3	69.2	28.4	74.8
5265	28.3	69.2	28.3	74.9
5280	28.3	69.2	28.3	74.9
5295	28.3	69.2	28.3	75
5310	28.2	69.2	28.3	75
5325	28.2	69.2	28.3	75.1
5340	28.2	69.3	28.3	75.1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
5355	28.2	69.4	28.3	75.2
5370	28.2	69.3	28.3	75.1
5385	28.2	69.4	28.2	75.2
5400	28.2	69.4	28.2	75.2
5415	28.2	69.4	28.2	75.1
5430	28.2	69.5	28.2	75.2
5445	28.2	69.5	28.2	75.1
5460	28.1	69.5	28.2	75.2
5475	28.1	69.5	28.2	75.2
5490	28.1	69.5	28.2	75.2
5505	28.1	69.6	28.2	75.2
5520	28.1	69.6	28.2	75.3
5535	28.1	69.6	28.1	75.1
5550	28.1	69.7	28.1	75.3
5565	28.1	69.7	28.1	75.2
5580	28.1	69.7	28.1	75.2
5595	28.1	69.8	28.1	75.1
5610	28.1	69.8	28.1	75.1
5625	28.1	69.8	28.1	75
5640	28.1	69.7	28.1	74.9
5655	28.1	69.7	28.1	74.9
5670	28.1	69.7	28.1	74.9
5685	28.1	69.6	28.1	74.8
5700	28.1	69.6	28.1	74.9
5715	28.1	69.6	28.1	74.8
5730	28.1	69.5	28.1	74.8
5745	28.1	69.5	28.1	74.9
5760	28.1	69.5	28.1	74.9
5775	28.1	69.5	28.1	74.9
5790	28.1	69.5	28.1	75.1
5805	28.1	69.6	28.1	75
5820	28.1	69.5	28.1	75.3
5835	28.1	69.6	28.1	75.1
5850	28.1	69.6	28.1	75.1
5865	28.1	69.6	28.1	75
5880	28.1	69.7	28.1	74.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
5895	28.1	69.7	28.1	74.9
5910	28.1	69.8	28.1	75
5925	28.1	69.8	28.1	75
5940	28.1	69.9	28.1	75
5955	28.1	69.9	28.1	75.2
5970	28	69.9	28.1	75.3
5985	28	70	28.1	75.5
6000	28	70	28	75.7
6015	28	70.1	28	75.8
6030	28	70.1	28	75.7
6045	28	70.2	28	75.8
6060	28	70.2	28	75.8
6075	28	70.1	28	75.9
6090	28	70.1	28	76.1
6105	27.9	70.2	28	76.1
6120	27.9	70.2	28	76.1
6135	27.9	70.2	27.9	76.1
6150	27.9	70.3	27.9	76.1
6165	27.9	70.3	27.9	76.1
6180	27.9	70.3	27.9	76.2
6195	27.9	70.3	27.9	76.2
6210	27.9	70.3	27.9	76.1
6225	27.8	70.3	27.9	76.1
6240	27.8	70.4	27.9	76
6255	27.8	70.4	27.8	76.1
6270	27.8	70.4	27.8	76.1
6285	27.8	70.4	27.8	76.1
6300	27.8	70.4	27.8	76.1
6315	27.8	70.4	27.8	76.1
6330	27.7	70.4	27.8	76.1
6345	27.7	70.4	27.8	76.1
6360	27.7	70.4	27.7	76.1
6375	27.7	70.5	27.7	76.1
6390	27.7	70.5	27.7	76.1
6405	27.7	70.4	27.7	76
6420	27.7	70.5	27.7	76.1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
6435	27.7	70.5	27.7	76
6450	27.7	70.5	27.7	76.1
6465	27.7	70.5	27.7	76
6480	27.7	70.6	27.7	76
6495	27.7	70.6	27.7	76.1
6510	27.7	70.6	27.7	76.1
6525	27.7	70.6	27.7	76
6540	27.7	70.6	27.7	76.1
6555	27.7	70.6	27.7	76.1
6570	27.6	70.7	27.7	76
6585	27.6	70.7	27.7	76
6600	27.6	70.7	27.7	76.1
6615	27.6	70.7	27.6	76.1
6630	27.6	70.7	27.6	76.1
6645	27.6	70.7	27.6	76.1
6660	27.6	70.7	27.6	76.2
6675	27.6	70.7	27.6	76.2
6690	27.6	70.8	27.6	76.2
6705	27.6	70.8	27.6	76.2
6720	27.6	70.8	27.6	76.1
6735	27.5	70.8	27.6	76.3
6750	27.5	70.8	27.6	76.1
6765	27.5	70.9	27.6	76.1
6780	27.5	71	27.6	76
6795	27.6	71	27.6	76
6810	27.6	70.9	27.6	76.1
6825	27.6	70.8	27.6	76
6840	27.6	70.6	27.7	76
6855	27.6	70.4	27.7	75.9
6870	27.6	70.2	27.7	75.6
6885	27.6	70.1	27.7	75.4
6900	27.7	70.1	27.7	75.5
6915	27.7	70.2	27.8	75.3
6930	27.7	70.1	27.9	75.9
6945	27.7	69.9	27.9	75.6
6960	27.7	69.9	28	75.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
6975	27.8	69.9	28	75.2
6990	27.8	69.6	27.9	75
7005	27.8	69.6	27.9	75.4
7020	27.8	69.6	27.9	75.7
7035	27.8	69.6	27.9	76
7050	27.8	69.7	27.9	75.6
7065	27.8	69.9	27.9	75.1
7080	27.8	69.9	28	76.2
7095	27.8	69.7	28	75.9
7110	27.9	69.9	28.1	76
7125	27.9	69.8	28.2	75.9
7140	27.9	70	28.2	77
7155	27.9	70	28.2	76.9
7170	28	70.1	28.2	77.1
7185	28	70.2	28.2	77.3
7200	28	70.3	28.3	77.1
7215	28	70.3	28.3	76.9
7230	28.1	70.1	28.3	76.8
7245	28.1	70.2	28.3	76.6
7260	28.1	70.1	28.3	76.5
7275	28.1	70.2	28.3	76.4
7290	28.1	70.2	28.3	76.4
7305	28.1	70.1	28.3	76.4
7320	28.1	70.2	28.3	76.3
7335	28.1	70.2	28.3	75.9
7350	28.1	70.3	28.3	75.5
7365	28.1	70.3	28.2	75.4
7380	28.1	70.4	28.2	75.4
7395	28.1	70.6	28.2	75.6
7410	28.1	70.7	28.1	75.4
7425	28	70.7	28.1	75.2
7440	28	70.6	28.1	74.9
7455	28	70.6	28.1	74.8
7470	28	70.7	28	74.9
7485	28	70.7	28	75.1
7500	27.9	70.8	28	74.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
7515	27.9	70.8	28	75.1
7530	27.9	70.9	28	75.2
7545	27.9	70.9	28	75.2
7560	27.9	70.9	28	75.2
7575	27.9	71	27.9	75.2
7590	27.9	71	27.9	75.2
7605	27.9	71	27.9	75.2
7620	27.8	71.1	27.9	75.3
7635	27.8	71.1	27.9	75.4
7650	27.8	71.1	27.9	75.4
7665	27.8	71.2	27.9	75.6
7680	27.8	71.2	27.8	75.8
7695	27.8	71.2	27.8	75.9
7710	27.8	71.2	27.8	76
7725	27.8	71.3	27.8	76
7740	27.8	71.3	27.8	76.3
7755	27.7	71.3	27.8	76.4
7770	27.7	71.4	27.8	76.7
7785	27.7	71.4	27.8	76.6
7800	27.7	71.4	27.8	76.6
7815	27.7	71.4	27.8	76.5
7830	27.7	71.5	27.7	76.5
7845	27.7	71.5	27.7	76.6
7860	27.7	71.5	27.7	76.6
7875	27.7	71.5	27.7	76.6
7890	27.7	71.6	27.7	76.6
7905	27.7	71.6	27.7	76.6
7920	27.7	71.6	27.7	76.6
7935	27.7	71.6	27.7	76.7
7950	27.7	71.6	27.7	76.9
7965	27.7	71.6	27.7	76.8
7980	27.7	71.7	27.7	76.9
7995	27.7	71.7	27.7	77
8010	27.7	71.7	27.7	76.9
8025	27.7	71.7	27.7	76.9
8040	27.7	71.7	27.7	76.8

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
8055	27.6	71.7	27.7	76.8
8070	27.6	71.8	27.7	76.8
8085	27.6	71.8	27.7	76.8
8100	27.6	71.8	27.7	76.7
8115	27.6	71.8	27.7	76.7
8130	27.6	71.7	27.6	76.6
8145	27.6	71.7	27.6	76.5
8160	27.6	71.8	27.6	76.5
8175	27.6	71.8	27.6	76.4
8190	27.6	71.8	27.6	76.3
8205	27.6	71.8	27.6	76.2
8220	27.6	71.7	27.6	76
8235	27.5	71.5	27.6	75.7
8250	27.6	71.3	27.6	75.6
8265	27.6	71.1	27.7	75.3
8280	27.6	70.9	27.7	75.2
8295	27.6	70.9	27.7	74.8
8310	27.6	70.7	27.9	74.9
8325	27.7	70.7	28.1	74.4
8340	27.7	70.7	28.3	73.8
8355	27.8	70.5	28.5	73.2
8370	27.9	70.5	28.5	72.7
8385	28	70.4	28.6	72.3
8400	28.1	70.3	28.6	72.2
8415	28.2	70.3	28.6	72.1
8430	28.2	70.3	28.6	72.1
8445	28.2	70.2	28.6	72.2
8460	28.3	70.2	28.6	72.2
8475	28.3	70.2	28.5	72.3
8490	28.3	70.1	28.5	72.3
8505	28.3	70.2	28.5	72.4
8520	28.3	70.2	28.5	72.4
8535	28.3	70.2	28.5	72.5
8550	28.3	70.2	28.5	72.4
8565	28.3	70.2	28.6	72.4
8580	28.4	70.1	28.6	72.4

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
8595	28.4	70.1	28.6	72.3
8610	28.4	70.1	28.6	72.3
8625	28.4	70.1	28.6	72.4
8640	28.4	70	28.6	72.4
8655	28.4	70	28.6	72.5
8670	28.4	69.9	28.6	72.6
8685	28.4	69.9	28.6	72.6
8700	28.4	69.9	28.6	72.7
8715	28.4	69.9	28.6	72.8
8730	28.4	69.9	28.6	72.8
8745	28.4	69.9	28.6	73
8760	28.4	69.8	28.6	73.1
8775	28.4	69.9	28.6	73.1
8790	28.4	70	28.6	73.2
8805	28.4	70	28.6	73.2
8820	28.4	70.1	28.5	73.2
8835	28.4	70.2	28.5	73.4
8850	28.4	70.1	28.5	73.3
8865	28.4	70.1	28.5	73.3
8880	28.4	70.1	28.5	73.3
8895	28.4	70.2	28.5	73.5
8910	28.4	70.2	28.5	73.6
8925	28.4	70.3	28.5	73.5
8940	28.4	70.4	28.5	72.5
8955	28.4	70.3	28.5	72.4
8970	28.4	70.3	28.5	72.1
8985	28.4	70.4	28.5	72.2
9000	28.4	70.3	28.5	72.2
9015	28.4	70.3	28.5	72.3
9030	28.3	70.3	28.5	72.3
9045	28.3	70.4	28.5	72.3
9060	28.3	70.4	28.4	72.3
9075	28.3	70.4	28.4	72.4
9090	28.3	70.5	28.4	72.6
9105	28.3	70.5	28.4	72.7
9120	28.3	70.7	28.4	73

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
9135	28.3	70.7	28.4	73.2
9150	28.3	70.9	28.4	73.3
9165	28.3	70.9	28.4	73.4
9180	28.2	70.9	28.3	73.6
9195	28.2	70.9	28.3	73.6
9210	28.2	71	28.3	73.9
9225	28.2	71	28.3	74
9240	28.2	71	28.3	74.2
9255	28.1	71.1	28.2	74.4
9270	28.1	71.1	28.2	74.5
9285	28.1	71.1	28.2	74.6
9300	28.1	71.1	28.2	74.7
9315	28.1	71.1	28.2	74.7
9330	28	71.2	28.2	74.7
9345	28	71.2	28.1	74.8
9360	28	71.2	28.1	74.9
9375	28	71.3	28.1	74.9
9390	28	71.3	28.1	74.8
9405	28	71.3	28.1	74.9
9420	28	71.4	28.1	74.9
9435	27.9	71.4	28	74.9
9450	27.9	71.5	28	75
9465	27.9	71.5	28	75.2
9480	27.9	71.5	28	75.3
9495	27.9	71.5	28	75.4
9510	27.9	71.5	27.9	75.4
9525	27.8	71.5	27.9	75.5
9540	27.8	71.5	27.9	75.5
9555	27.8	71.6	27.9	75.5
9570	27.8	71.5	27.9	75.5
9585	27.8	71.6	27.9	75.6
9600	27.7	71.7	27.9	75.7
9615	27.7	71.6	27.9	75.7
9630	27.7	71.7	27.8	75.8
9645	27.7	71.7	27.8	75.9
9660	27.7	71.8	27.8	75.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
9675	27.7	71.8	27.8	76
9690	27.7	71.8	27.8	76
9705	27.7	71.8	27.8	75.9
9720	27.7	71.6	27.8	75.9
9735	27.7	71.4	27.8	75.9
9750	27.7	71.2	27.9	75.9
9765	27.7	71.1	27.9	75.8
9780	27.7	71	27.9	75.7
9795	27.8	71	27.9	75.6
9810	27.8	71	27.9	75.5
9825	27.8	71	28	75.5
9840	27.8	70.9	28	75.6
9855	27.8	70.8	28	75.5
9870	27.8	70.8	28	75.5
9885	27.8	70.9	28	75.9
9900	27.8	70.9	27.9	75.8
9915	27.8	70.8	27.9	75.9
9930	27.8	70.9	27.9	76.1
9945	27.8	70.9	27.9	76.3
9960	27.8	70.9	27.9	76.3
9975	27.8	71	27.9	76.3
9990	27.8	71	27.9	76.3
10005	27.8	71	27.9	76.4
10020	27.8	71.1	27.9	76.5
10035	27.8	71.1	27.9	76.5
10050	27.8	71.2	27.9	76.7
10065	27.8	71.1	27.9	76.9
10080	27.8	71.2	27.9	76.9
10095	27.8	71.3	27.9	76.9
10110	27.8	71.3	27.9	77
10125	27.8	71.3	27.9	76.8
10140	27.8	71.4	27.9	77
10155	27.8	71.4	27.9	76.9
10170	27.8	71.5	27.9	77
10185	27.8	71.5	27.9	77
10200	27.8	71.6	27.9	77.2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
10215	27.8	71.7	27.9	77.3
10230	27.8	71.8	27.9	77.2
10245	27.8	71.9	27.9	77.3
10260	27.8	72	27.9	77.4
10275	27.8	72.1	27.9	77.5
10290	27.8	72.2	27.9	77.5
10305	27.8	72.3	27.9	77.4
10320	27.8	72.3	27.8	77.3
10335	27.8	72.3	27.8	77.2
10350	27.8	72.4	27.8	77.3
10365	27.8	72.5	27.8	77.3
10380	27.7	72.5	27.8	77.3
10395	27.7	72.6	27.8	77.3
10410	27.7	72.6	27.8	77.3
10425	27.7	72.6	27.8	77.4
10440	27.7	72.7	27.8	77.5
10455	27.7	72.7	27.8	77.4
10470	27.7	72.7	27.8	77.3
10485	27.7	72.8	27.7	77.3
10500	27.7	72.7	27.7	77.3
10515	27.7	72.8	27.7	77.4
10530	27.7	72.8	27.7	77.3
10545	27.7	72.8	27.7	77.4
10560	27.7	72.8	27.7	77.4
10575	27.7	72.8	27.7	77.4
10590	27.7	72.8	27.7	77.3
10605	27.7	72.9	27.7	77.3
10620	27.7	72.9	27.7	77.2
10635	27.7	72.9	27.7	77.2
10650	27.7	72.8	27.7	77.1
10665	27.7	72.8	27.7	77
10680	27.7	72.8	27.7	77
10695	27.7	72.8	27.7	76.8
10710	27.6	72.8	27.7	76.8
10725	27.6	72.8	27.7	76.8
10740	27.6	72.8	27.7	76.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
10755	27.6	72.8	27.7	76.7
10770	27.6	72.8	27.7	76.7
10785	27.6	72.8	27.7	76.7
10800	27.6	72.8	27.6	76.6
10815	27.6	72.8	27.6	76.6
10830	27.6	72.8	27.6	76.7
10845	27.6	72.9	27.6	76.6
10860	27.6	72.8	27.6	76.6
10875	27.5	72.8	27.6	76.6
10890	27.5	72.8	27.6	76.6
10905	27.5	72.8	27.6	76.6
10920	27.5	72.8	27.6	76.6
10935	27.5	72.8	27.6	76.6
10950	27.5	72.8	27.6	76.6
10965	27.5	72.8	27.5	76.7
10980	27.5	72.8	27.5	76.8
10995	27.5	72.8	27.5	76.8
11010	27.5	72.8	27.5	76.8
11025	27.5	72.8	27.5	76.7
11040	27.5	72.9	27.5	76.7
11055	27.5	72.9	27.5	76.7
11070	27.5	72.9	27.5	76.7
11085	27.5	72.9	27.5	76.5
11100	27.5	72.7	27.5	76.4
11115	27.5	72.5	27.6	76.3
11130	27.5	72.4	27.6	76.1
11145	27.5	72.3	27.6	76.1
11160	27.5	72.2	27.6	76.1
11175	27.5	72.2	27.7	76.2
11190	27.6	72.2	27.7	76.2
11205	27.6	71.8	27.7	76.2
11220	27.6	71.8	27.8	76.2
11235	27.6	71.7	27.8	76.1
11250	27.7	71.8	27.9	76.2
11265	27.7	71.8	28	76
11280	27.7	71.8	28	75.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
11295	27.7	71.8	28.1	75.7
11310	27.8	71.8	28.2	75.5
11325	27.8	71.7	28.2	75.4
11340	27.9	71.7	28.2	75.5
11355	27.9	71.6	28.2	75.6
11370	27.9	71.6	28.2	76
11385	27.9	71.6	28.2	76.1
11400	27.9	71.5	28.2	76.1
11415	27.9	71.5	28.2	76
11430	28	71.5	28.2	76
11445	28	71.5	28.2	76
11460	28	71.6	28.2	75.9
11475	28	71.5	28.3	75.9
11490	28	71.5	28.3	75.8
11505	28	71.5	28.3	75.7
11520	28	71.5	28.3	75.6
11535	28.1	71.5	28.3	75.6
11550	28.1	71.5	28.4	75.6
11565	28.1	71.5	28.4	75.7
11580	28.1	71.6	28.4	75.8
11595	28.1	71.6	28.4	75.9
11610	28.1	71.6	28.4	75.9
11625	28.2	71.6	28.4	75.9
11640	28.2	71.6	28.4	76
11655	28.2	71.7	28.4	76.1
11670	28.2	71.9	28.4	76.1
11685	28.2	71.9	28.4	76.2
11700	28.2	72	28.4	76.3
11715	28.2	71.9	28.4	76.4
11730	28.2	71.9	28.3	76.5
11745	28.2	71.9	28.3	76.5
11760	28.2	72	28.3	76.5
11775	28.1	72.1	28.3	76.7
11790	28.1	72.2	28.3	76.8
11805	28.1	72.2	28.3	76.9
11820	28.1	72.3	28.3	76.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
11835	28.1	72.4	28.3	76.9
11850	28.1	72.4	28.2	76.9
11865	28.1	72.4	28.2	76.9
11880	28.1	72.5	28.2	76.9
11895	28.1	72.5	28.2	76.8
11910	28.1	72.6	28.2	76.8
11925	28.1	72.6	28.2	76.8
11940	28.1	72.6	28.2	76.8
11955	28.1	72.7	28.2	76.8
11970	28.1	72.6	28.2	76.7
11985	28.1	72.7	28.2	76.7
12000	28	72.7	28.2	76.7
12015	28	72.8	28.2	76.7
12030	28	72.7	28.1	76.6
12045	28	72.8	28.1	76.6
12060	28	72.8	28.1	76.6
12075	28	72.8	28.1	76.5
12090	28	72.9	28.1	76.5
12105	28	72.9	28.1	76.5
12120	28	73	28.1	76.5
12135	28	72.9	28.1	76.4
12150	28	73	28.1	76.5
12165	28	73	28.1	76.4
12180	28	73	28	76.5
12195	27.9	73	28	76.5
12210	27.9	73	28	76.5
12225	27.9	73.1	28	76.5
12240	27.9	73.1	28	76.6
12255	27.9	73	28	76.6
12270	27.9	73.1	28	76.6
12285	27.9	73.1	28	76.5
12300	27.9	73.1	28	76.5
12315	27.9	73.1	28	76.5
12330	27.9	73.1	28	76.6
12345	27.9	73.2	28	76.6
12360	27.9	73.1	28	76.6

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
12375	27.9	73.2	28	76.6
12390	27.9	73.2	28	76.6
12405	27.9	73.2	28	76.7
12420	27.9	73.2	27.9	76.7
12435	27.9	73.2	27.9	76.6
12450	27.9	73.2	27.9	76.6
12465	27.9	73.2	27.9	76.7
12480	27.9	73.2	27.9	76.7
12495	27.8	73.1	27.9	76.5
12510	27.9	72.9	27.9	76.5
12525	27.9	72.8	28	76.6
12540	27.9	72.7	28	76.2
12555	27.9	72.6	28	76.7
12570	27.9	72.7	28.1	76.7
12585	27.9	72.6	28.1	76.7
12600	27.9	72.5	28.2	76.6
12615	28	72.4	28.2	76.6
12630	28	72.4	28.4	76.5
12645	28.1	72.5	28.5	76.3
12660	28.1	72.4	28.5	75.9
12675	28.2	72.4	28.7	75.6
12690	28.3	72.3	28.9	75.2
12705	28.4	72.2	29	74.9
12720	28.5	72.1	29.1	74.7
12735	28.5	72	29.2	74.4
12750	28.6	71.9	29.3	74.2
12765	28.6	71.8	29.3	74.1
12780	28.7	71.7	29.3	73.9
12795	28.7	71.8	29.3	73.9
12810	28.8	71.8	29.3	74
12825	28.8	71.8	29.3	74
12840	28.8	71.8	29.3	74
12855	28.8	71.8	29.3	74
12870	28.8	71.9	29.3	74
12885	28.9	71.9	29.3	73.9
12900	28.9	71.9	29.3	73.9

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
12915	28.9	71.9	29.3	73.9
12930	28.9	71.9	29.3	73.9
12945	28.9	71.9	29.3	73.9
12960	28.9	71.9	29.3	73.8
12975	28.9	71.9	29.3	73.8
12990	28.9	72	29.3	73.8
13005	29	72	29.3	73.8
13020	29	71.9	29.3	73.7
13035	29	72	29.3	73.6
13050	29	71.9	29.3	73.6
13065	29	71.9	29.3	73.6
13080	29	71.9	29.4	73.7
13095	29	71.9	29.4	73.6
13110	29	71.9	29.4	73.6
13125	29	71.9	29.4	73.6
13140	29	71.9	29.4	73.6
13155	29	71.9	29.3	73.7
13170	29	71.9	29.3	73.8
13185	29	71.9	29.3	73.9
13200	29	71.8	29.3	74
13215	29	71.8	29.2	74.2
13230	29	71.8	29.2	74.3
13245	29	71.9	29.2	74.4
13260	29	72	29.2	74.6
13275	29	72	29.2	74.8
13290	28.9	72.1	29.2	74.8
13305	28.9	72.2	29.1	74.9
13320	28.9	72.2	29.1	75
13335	28.9	72.3	29.1	75.1
13350	28.9	72.3	29.1	75.2
13365	28.9	72.4	29.1	75.2
13380	28.9	72.4	29.1	75.3
13395	28.9	72.4	29.1	75.4
13410	28.9	72.5	29.1	75.5
13425	28.9	72.5	29.1	75.5
13440	28.9	72.5	29.1	75.6

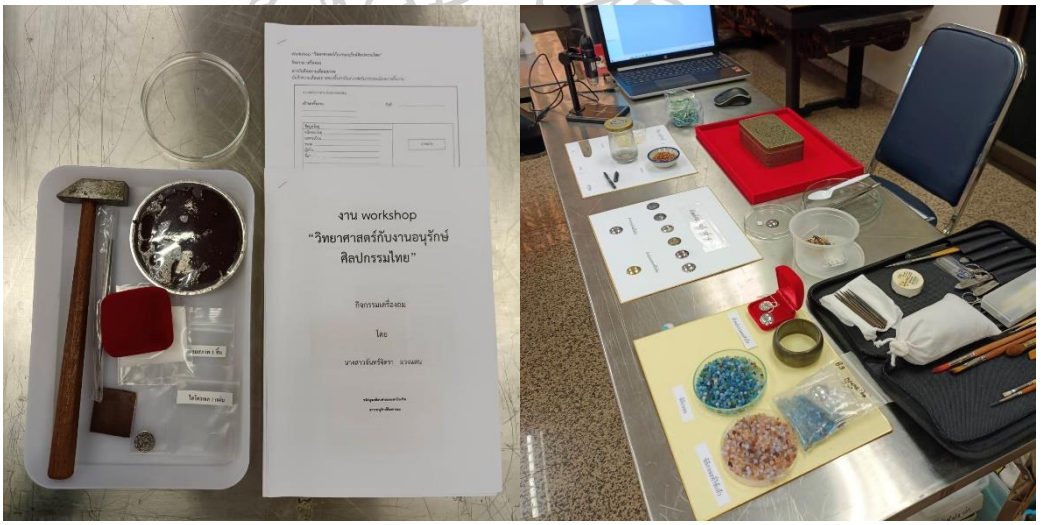
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
13455	28.9	72.6	29.1	75.8
13470	28.8	72.7	29	75.5
13485	28.8	72.8	29	75.5
13500	28.8	72.8	29	75.8
13515	28.8	72.8	29	75.8
13530	28.8	72.9	29	75.8
13545	28.8	73	28.9	75.8
13560	28.7	73	28.9	76
13575	28.7	73.1	28.9	76.1
13590	28.7	73.1	28.9	76
13605	28.7	73.1	28.8	76.1
13620	28.7	73.1	28.8	76.2
13635	28.6	73.2	28.8	76.2
13650	28.6	73.2	28.8	76.3
13665	28.6	73.2	28.8	76.3
13680	28.6	73.2	28.8	76.3
13695	28.6	73.3	28.7	76.4
13710	28.6	73.3	28.7	76.5
13725	28.6	73.2	28.7	76.6
13740	28.5	73.3	28.7	76.6
13755	28.5	73.4	28.7	76.6
13770	28.5	73.3	28.7	76.7
13785	28.5	73.4	28.7	76.8
13800	28.5	73.4	28.6	76.8
13815	28.5	73.5	28.6	76.9
13830	28.5	73.5	28.6	76.9
13845	28.5	73.5	28.6	77
13860	28.5	73.5	28.6	77
13875	28.5	73.5	28.6	77
13890	28.5	73.5	28.6	77.1
13905	28.5	73.6	28.6	77.1
13920	28.5	73.6	28.5	77.1
13935	28.5	73.6	28.5	77.2
13950	28.5	73.6	28.5	77
13965	28.5	73.5	28.6	76.8
13980	28.5	73.4	28.6	76.6

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ในตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ในตู้)	อุณหภูมิ (นอกตู้)	ความชื้นสัมพัทธ์ (นอกตู้)
13995	28.5	73.2	28.6	76.5
14010	28.5	73	28.6	76.4
14025	28.5	72.9	28.7	76
14040	28.5	72.8	28.8	76.2
14055	28.5	72.7	28.8	76.1
14070	28.5	72.7	28.9	75.8

ร่วมจัดกิจกรรมเผยแพร่ความรู้ด้านงานอนุรักษ์ “วิทยาศาสตร์กับงานอนุรักษ์ศิลปกรรมไทย ”

การจำลองเครื่องถมจุฑาธุชที่มีความเสื่อมสภาพโดยใส่ในโถ่ความชื่นเพื่อให้เกิดสนิม และนำไปให้ผู้เข้าร่วมอบรมได้ส่องกล้องขยายดูสนิทที่เกิดขึ้นบนเครื่องถม

วัสดุ – อุปกรณ์ ที่ใช้ในการอบรมและใบงานประกอบความรู้เรื่องเครื่องถม



ภาพกิจกรรมภายในงาน “ วิทยาศาสตร์กับงานอนุรักษ์ศิลปกรรมไทย ” 5-6 พฤษภาคม 2556 ณ วัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

ภาพผู้เข้าร่วมอบรมกำลังฝึกปฏิบัติการทำชิ้นงานเครื่องถม

ภาพผู้เข้าร่วมอบรมพร้อมผลงานเครื่องถมสำเร็จ

ประวัติผู้จัดทำ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจันทร์จิตรา แวงแสน
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	หลักสูตรวิชาอาชีพช่างฝีมืองานศิลปกรรมไทยโบราณ(ช่างเขียน) โรงเรียนช่างฝีมือในวัง(ชาย) ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) กาญจนาภิเษกวิทยาลัยช่างทองหลวง ศิลปบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (กาจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง) ศึกษาต่อปริญญามหาบัณฑิต สาขาอนุรักษ์ศิลปกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผลงานตีพิมพ์	ประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 12 เรื่อง “บัณฑิตวิจัยสร้างสรรค์ และนวัตกรรม : การขับเคลื่อนสังคมเข้าสู่ยุคปกติใหม่ด้วยองค์ความรู้” ในหัวข้อการศึกษาความเสื่อมสภาพและการหาแนวทางการอนุรักษ์เครื่องถม : กรณีศึกษาของวัดราชาธิวาสวิหาร กรุงเทพมหานคร

มหาวิทยาลัยศิลปากร