



ทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีด้วยการใช้วัสดุทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผน ก แบบ ก 2

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีด้วยการใช้วัสดุทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติก  
อะคริลิกเรซิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม แผนก ก แบบ ก 2  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

THE USE OF THERMOPLASTIC ACRYLIC RESIN AS A SUBSTITUTE MATERIAL  
FOR PRESERVING ENAMELED GOLDWARE.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Arts CONSERVATION OF FINE ART  
Silpakorn University  
Academic Year 2023  
Copyright of Silpakorn University



636020005 : อนุรักษ์ศิลป์กรรม แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : เทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน, พาราลอยด์เรซิน, การตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์, เครื่องทองลงยาสี, วัสดุทดแทน

นาย ธีรพงษ์ ภูเขียว: ทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีด้วยการใช้วัสดุทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมจิตร ชุ่มวงศ์

โพลีเมอร์เกรดอนุรักษ์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ประเภทเทอร์โมพลาสติก 4 ชนิด รวมถึงพาราลอยด์ ปี44, ปี48เอ็น,ปี66 และ ปี72 เป็นกรณีการศึกษาเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับการอนุรักษ์เครื่องเคลือบ ในการเริ่มต้นให้ใช้พาราลอยด์เรซินที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมและทำตัวทำละลายโดยการขึ้นรูปฟิล์ม(ที่มีสารเติมแต่งอะคริลิกสีเขียว 10%โดยน้ำหนัก) บนแผ่นทดสอบที่ทำจากโลหะเงินที่มีพื้นผิวจำลองเป็นร่องลึก เนื่องจากฟิล์มที่มีความใสสูงจึงสังเกตได้ยาก สารเติมแต่งอะคริลิกสีเขียว,เครื่องลงยาสีหนึ่งที่ใช้สำหรับพระมหากษัตริย์ เรียกว่า "ราชาวดี" ถูกรวมเข้ากับฟิล์มเพื่อปรับปรุงทัศนวิสัยในการสังเกตฟิล์มที่ก่อตัวบนพื้นผิว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพาราลอยด์เรซินเท่ากับ 20 % โดยน้ำหนัก และใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย ฟิล์มที่ก่อตัวบนพื้นผิว จึงปราศจากฟองอากาศ, ก้อนเรซินที่เหลืออยู่ และสารเติมแต่งเม็ดสีจับตัวเป็นก้อน ฟิล์มพาราลอยด์ แสดงความคมชัดด้วยความโปร่งใสสูงที่ 98-99 %T สำหรับฟิล์มพาราลอยด์ ปี-44,พาราลอยด์ ปี-67 และ พาราลอยด์ ปี-72 และฟิล์มโปร่งแสงที่มี 77.65 %T ของ พาราลอยด์ ปี-48เอ็น นอกจากนี้ ฟิล์มพาราลอยด์แต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะดังนี้ : พาราลอยด์ ปี-44 แสดงความแข็งแรงที่เหนือกว่าด้วยโมดูลัสของ Young ที่  $827.94 \pm 50.87$  MPa ฟิล์มพาราลอยด์ ปี-72 แสดงความยืดหยุ่นสูงสุดด้วยการยืดตัวที่จุดแตกหัก  $22.10 \pm 1.55\%$  ดังที่เห็นในภาพ SEM ซึ่งเผยให้เห็นพื้นผิวที่แตกร้าอย่างชัดเจน พาราลอยด์ ปี-48เอ็น แสดงความหนืดสูงสุด ขณะที่พาราลอยด์ ปี-67 แสดงพื้นผิวแข็งคล้ายแก้วที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเท่ากับ 97.14 นอกจากนี้ เรซินทั้งหมดแสดงประสิทธิภาพความคงตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิห้องสูงในประเทศไทย โดยมีอุณหภูมิการสลายตัวเนื่องจากความร้อนสูงถึง 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเกิน 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ฟิล์มพาราลอยด์ถูกลอกออกอย่างง่ายโดยใช้โทลูอีน,อะซิโตน และไซลีน เนื่องจากสามารถละลายได้ง่าย ไม่ทิ้งคราบเรซินตกค้าง ฟิล์มสามารถลอกออกจากพื้นผิวได้ จากผลการวิจัยนี้ เป็นผลสำเร็จจากการนำเทคนิคทางวิทยาศาสตร์มาใช้คัดกรองฟิล์มพาราลอยด์เรซินให้คงอยู่ตามหน้าที่อันมีประสิทธิภาพในแง่ของลักษณะเฉพาะที่สำคัญ เพื่อนำไปใช้เป็นทางเลือกที่เป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์และเติมเต็มลวดลายของเครื่องทองลงยาในอนาคตโดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย



636020005 : Major CONSERVATION OF FINE ART

Keyword : thermoplastic acrylic resin, Paraloid resin, scientific test, enamel, substitute material for preserving

MR. Teerapong PHUKEAW : The use of thermoplastic Acrylic Resin as a substitute material for preserving enameled goldware. Thesis advisor : Thanomchit Chumwong

Four commercially available conservation-grade polymers of thermoplastic type including Paraloid B44, B48N, B66 and B72 were studied as an alternative material for the conservation of enamel objects. At the beginning, the appropriate concentration of Paraloid resin and solvents were performed by forming film (with 10 %wt of acrylic green additive) on a test plate made of silver metal with a simulated deeply grooved surface. Due to the high transparency of the neat film, it is difficult to observe. The Acrylic green additive, one of the colored enamels used for the King called "Ra cha wa dee", was incorporated into the film to improve visibility for observing the film forming on the surface. It was found that when the concentration of Paraloid resin was 20%wt and toluene was used as a solvent, the film forming on the surface was free from bubbles, residual resin lumps, and pigment additive agglomerates. Paraloid films exhibited clarity with high transparency of 98-99 %T for PB-44, PB-67 and PB-72 films and a translucent film with 77.65 %T of PB-48N). Moreover, each type of Paraloid film displayed unique characteristics: PB-44 exhibited superior strength with Young's modulus of  $827.94 \pm 50.87$  MPa, PB-72 films showed the highest flexibility with an elongation at break of  $22.10 \pm 1.55\%$ , as seen in the SEM image, which revealed an obvious tough character of the fractured surface. PB-48N possessed the highest viscosity, while PB-67 demonstrated a hard glassy surface with hydrophobic properties being  $97.14^\circ$ . In addition, all resins exhibited the performance of thermal stability at high room temperatures in Thailand with thermal degradation temperature up to  $200^\circ\text{C}$  and a glass transition temperature exceeding  $50^\circ\text{C}$ . Furthermore, Paraloid films were easily removed using toluene, acetone and xylene, as they could readily dissolve leaving no residual resin lumps. Films could also be peeled off from the surface. On the basis of this research, the results from scientific technique were successfully used to screen the film of Paraloid resin properties relevant

to its effective function in term of important key characterization to apply the beneficial alternatives for preserving and fulfilling the pattern of enameled goldware in the future especially in tropical climate of Thailand.





## กิตติกรรมประกาศ

ธีรพงษ์ ภูเขียว



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	5
ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย.....	6
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
1. ประวัติศาสตร์ความเป็นมาของงานลงยาสีในต่างประเทศ.....	8
2. ประวัติศาสตร์งานลงยาสีในประเทศไทย.....	13
3. เทคนิคต่าง ๆ ของยาสี.....	18
3.1 ยาสีแบบร้อน (Vitrous Enamel) ("The History of Enamel Jewelry," 2021).....	18

3.2 เทคนิคการลงยาสีแบบเย็น (Cold Enamel) (สรภัทร สาราพฤษ, 2561).....	25
4. กระบวนการผลิตยาสีร้อน (Vistrous Enamel) .....	27
5. ขั้นตอนการผลิตเครื่องทองลงยาราชาวดี.....	30
5.1 การขึ้นรูป .....	30
5.2 การดุนลดลาย.....	31
5.3 การเตรียมสีหรือยาสีต่าง ๆ.....	32
5.4 นำชิ้นงานมาล้างทำความสะอาด.....	32
5.5 การลงยาสี.....	33
5.6 การตรวจงานเก็บความเรียบร้อย.....	35
6. การศึกษาการเสื่อมสภาพของเครื่องทองลงยาราชาวดี.....	36
6.1 การเสื่อมสภาพของทองคำ.....	36
6.2 การเสื่อมสภาพจากแกนภายในพระจุฑามณี.....	41
6.2.1 ปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อม.....	41
6.2.2 อุณหภูมิ.....	45
6.2.3 การกระทำของมนุษย์.....	45
6.3 การเสื่อมสภาพของชิ้น.....	45
6.4 การเสื่อมสภาพของยาสี.....	47
7. การอนุรักษ์งานลงยาสี.....	51
7.1 ความหมายของการอนุรักษ์.....	51
7.2 แนวทางการอนุรักษ์ยาสีที่ผ่านมา.....	52
8. การศึกษาวิเคราะห์หาสารทดแทนยาสี.....	57
8.1 พอลิเมอร์ (Polymer).....	57
8.2 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) หรือพลาสติก (Plastic).....	59
8.3 ประเภทของพลาสติก.....	60

8.3.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic).....	60
8.3.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic).....	61
9. ประเภทของสารอะคริลิกพอลิเมอร์ในการอนุรักษ์.....	62
9.1 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-72.....	62
9.2 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-44 .....	64
9.3 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-48N .....	65
9.4 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-67 .....	65
10. คุณสมบัติของสารละลายที่ใช้กับพาราลอยด์ .....	66
10.1 อะซีโตน (Acetone).....	66
10.2 โทลูอีน (Toluene).....	69
10.3 ไซลีน (Xylene).....	71
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	75
1. กรอบแนวคิดในการศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง.....	75
1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	75
1.2 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง.....	76
2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษางานวิจัย.....	76
2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจและเก็บข้อมูล .....	76
2.2 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัสดุทดแทนยาสี.....	77
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	79
3. วิธีการวิจัย.....	84
3.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพพระจุฑาภรณ์ทองคำลงยา .....	84
3.2 การเตรียมตัวอย่างพาราลอยด์เรซินและตัวทำละลาย .....	85
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพยาสีทดแทน.....	95
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	99

4.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ .....	99
4.2 การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินสภาพวัตถุ .....	109
4.2.1 การวิเคราะห์โลหะในพระจุฑามณีด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD® 510 ยี่ห้อ Fischer ของ Laser Jewelry Center .....	111
4.2.2 การวิเคราะห์โลหะในพระจุฑามณีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3 .....	112
4.3 ทางเลือกและแนวทางในการอนุรักษ์.....	127
4.3.1 การทดสอบวัสดุทางเลือกในงานยาสี .....	127
4.3.1.1 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับการลงยาสีทางเลือก .....	127
4.3.1.2 ลักษณะทางกายภาพและสีพารามิเตอร์.....	129
4.3.1.3 ประสิทธิภาพในการทดแทนการลงยาสี .....	134
4.4 การอนุรักษ์เบื้องต้น .....	138
บทที่ 5 .....	141
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	141
ข้อจำกัดในงานวิจัย .....	142
ข้อเสนอแนะ .....	143
รายการอ้างอิง .....	144
ประวัติผู้เขียน .....	148

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของยาสี .....	29
ตารางที่ 2 การเกิดสีของแก้วจากสารอนินทรีย์ร่วมกับออกไซด์ของโลหะแต่ละชนิด .....	29
ตารางที่ 3 Gold purity chart (รวบรวมจาก <a href="https://www.intergold.co.th/investor_core/what-is-k-gold/">https://www.intergold.co.th/investor_core/what-is-k-gold/</a> ).....	37
ตารางที่ 4 สีของสนิมโลหะแต่ละประเภท.....	44
ตารางที่ 5 แสดงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของซิลิกาและโลหะอื่น ๆ.....	49
ตารางที่ 6 สารพาราลอยด์เรซินที่ใช้ในการวิจัย .....	78
ตารางที่ 7 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	78
ตารางที่ 8 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณี .....	84
ตารางที่ 9 ประเภทของสารที่ทดสอบ.....	86
ตารางที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมสารยาสีทดแทน .....	86
ตารางที่ 11 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-72 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอะซิโตน โทลูอิน และไซลีน.....	87
ตารางที่ 12 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-44 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอะซิโตน โทลูอิน และไซลีน .....	89
ตารางที่ 13 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-48N ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอะซิโตน โทลูอิน และไซลีน .....	91
ตารางที่ 14 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-67 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอะซิโตน โทลูอิน และไซลีน .....	93
ตารางที่ 15 สรุประบวนการทดลองยาสีทดแทน .....	97
ตารางที่ 16 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 1.....	99
ตารางที่ 17 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 2.....	104

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ส่วนผสมของโลหะในพระจุฑาภรณ์ด้วยเครื่อง GOLDSCOPE SD® 510 .111	
ตารางที่ 19 ความหนา การส่งผ่าน และสีของฟิล์มพาราลอยด์ .....	130
ตารางที่ 20 ความคงตัวทางความร้อนของฟิล์มพาราลอยด์ .....	132
ตารางที่ 21 สมบัติเชิงกลของฟิล์มพาราลอยด์ .....	134
ตารางที่ 22 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพาราลอยด์เรซินและความหนืดของสารละลายความเข้มข้น 20%wt โทลูอิน.....	137



## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แหวนทองเก่าแก่จาก Kouklia เทคนิคการลงยาสีแบบ cloisonné อายุราว 1300 ปี ก่อนคริสตกาล .....	9
ภาพที่ 2 Chase with the Crucifixion and Christ in Majesty ศิลปะลงยาแบบ Champlévé บน หีบทองแดง ศิลปะยุคกลางราว ค.ศ. 1180- 1190 .....	11
ภาพที่ 3 Henri d'Albert ราชานแห่ง Navarre, Léonard Limosin ค.ศ. 1556 การลงยาสีแบบ Paint Enamel บนทองแดง .....	12
ภาพที่ 4 นพปฎิมารัตนปางมารวิชัย ที่สร้างจากรัตนชาติ ฐานองค์พระพุทธรูปทองคำลงยาราชาวดี อายุราว พุทธศตวรรษที่ 24 เก็บรักษาที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พระนคร .....	15
ภาพที่ 5 ซองพู่ทองคำลงยาสีชมพูลายช่อดอกกล้วย สำหรับใส่ใบพู่และพู่จิบ จัดทำสีตามพระ ราชนิยมในรัชกาลที่ 5 .....	16
ภาพที่ 6 ลายเส้นที่แสดงเห็นถึงเทคนิคฐานรองรับแบบคิ้วซอนเน่ (ภาพบน) และช่องเปลวเว่ (ภาพล่าง) วาดโดย David Goodger .....	18
ภาพที่ 7 แสดงเส้นลวดที่กันยาสีเทคนิคคิ้วซอนเน่ โดยช่างฝีมือชาวจีน .....	19
ภาพที่ 8 ปลอกแขนสมัยศตวรรษที่ 12 การลงยาแบบ Champlévé พบการชำรุดที่แสดงให้เห็นถึง เทคนิคการแกะโลหะให้เกิดร่อง .....	20
ภาพที่ 9 การตกแต่งแผ่นโลหะเงิน สมัยศตวรรษที่ 14 แบบ Basse-taille .....	21
ภาพที่ 10 ซามเคลือบหลากสีด้วยเทคนิค Sgraffito ยุค Anatolian Seljuk ศตวรรษที่ 13 .....	21
ภาพที่ 11 งานเคลือบเทคนิคเขียนสี แบบ Grisaille, Jean de Court, ค.ศ. 1560 .....	22
ภาพที่ 12 ซามลงยาแบบ plique-a-jour บนฐานเงินลวดลายดอกเบญจมาศลอย .....	23
ภาพที่ 13 การลงยาสีหน้าปัดนาฬิกา ด้วยเทคนิค Flinque .....	23
ภาพที่ 14 ตราเครื่องแบบ The Dunstable Swan Jewel ปี ค.ศ. 1400 เทคนิค Ronde bosse .	24
ภาพที่ 15 แสดงกระบวนการลงยาสี ด้วยเทคนิค Stenciling .....	24
ภาพที่ 16 ภาพ “Casa dolce” โดยศิลปิน Mario Schifano เทคนิค enamel serigraph .....	25



ภาพที่ 17	วัสดุอุปกรณ์การลงยาสีเย็นแบบผง EF Color .....	26
ภาพที่ 18	วัสดุอุปกรณ์การลงยาสีเย็นแบบเหลว .....	26
ภาพที่ 19	การผลิตยาสีร้อน (Vistrous Enamel) .....	27
ภาพที่ 20	ก้อนยาสีที่ผ่านกระบวนการหลอม เป็นส่วนผสมของแก้ว (ซิลิกอนไดออกไซด์) กับสีจากแร่และโลหะออกไซด์ .....	28
ภาพที่ 21	เครื่องมือในการทำเครื่องทอง .....	31
ภาพที่ 22	การดุนลวดลาย .....	31
ภาพที่ 23	โครงโมราสำหรับบดยาสี.....	32
ภาพที่ 24	การเตรียมยาสี.....	33
ภาพที่ 25	การลงยาสี.....	34
ภาพที่ 26	ตะเกียงเป่าแล่น (Blow lamp) ใช้สำหรับเป่าไฟให้ความร้อน และหลอมละลายโลหะ ...	34
ภาพที่ 27	การเผาไฟชิ้นงานบนตะแกรง ด้วยตะเกียงเป่าแล่น.....	35
ภาพที่ 28	ทองคำบริสุทธิ์.....	36
ภาพที่ 29	อัตราส่วนของทอง 18 กะรัต .....	38
ภาพที่ 30	จุดสีแดง (Red sports) ในเหรียญทองที่เกิดจากสิ่งเจือปน .....	39
ภาพที่ 31	คราบสีม่วง (Purple plague or Purple death) ในเหรียญทองเป็นการเปลี่ยนแปลงสีบนหน้าสัมผัสระหว่างทองคำและอลูมิเนียมเมื่อสัมผัสกับอากาศ .....	39
ภาพที่ 32	จี้ทองจากสุสาน Poble Nou ที่แสดงให้เห็นลักษณะแบนของเม็ดไขปลาจากการใช้งานเป็นเวลานาน.....	40
ภาพที่ 33	จี้ทองรูปดาวจาก Les Casetes ที่แสดงให้เห็นรอยถลอกจากการใช้งานและร่องรอยของเม็ดไขปลาที่เกิดจากการหลอมเหลวระหว่างกระบวนการผลิต.....	41
ภาพที่ 34	ภาพเปรียบเทียบการกัดกร่อนของโลหะที่ไม่เสถียร (ภาพบน) และโลหะที่เสถียร (ภาพล่าง) .....	42
ภาพที่ 35	ก้อนชิ้นที่ได้จากยางไม้.....	46
ภาพที่ 36	การอัดส่วนผสมขึ้นชิ้นลงในเครื่องประดับ .....	47

ภาพที่ 37 แสดงลักษณะการเสื่อมสภาพของยาสีที่เรียกว่า weeping.....	48
ภาพที่ 38 แสดงลักษณะการหลุดร่อนและแตกร้าวของยาสี บนถ้วยเงินชุบทองของรัสเซีย.....	49
ภาพที่ 39 การเสื่อมสภาพของยาสี.....	53
ภาพที่ 40 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเรซินและความหนืดของสารละลาย.....	54
ภาพที่ 41 วัตถุประสงค์ก่อนการทำความสะอาด (A) และวัตถุประสงค์หลังการทำความสะอาด (B).....	56
ภาพที่ 42 หลังจากทำความสะอาดพื้นผิวภายนอกและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ขาดหายไป (A) และวัตถุประสงค์หลังการหลังการรักษา (B).....	56
ภาพที่ 43 การจัดเรียงของมอนอเมอร์ในพอลิเมอร์.....	58
ภาพที่ 44 โครงสร้างทางเคมีของพาราโลยด์ B-72.....	63
ภาพที่ 45 ลักษณะของพาราโลยด์ B-72 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company).....	63
ภาพที่ 46 พาราโลยด์ B-44 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company).....	64
ภาพที่ 47 พาราโลยด์ B-48N ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company).....	65
ภาพที่ 48 พาราโลยด์ B-67 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company).....	66
ภาพที่ 49 โครงสร้างและขนาดของโมเลกุลอะซิโตน.....	67
ภาพที่ 50 อะซิโตน.....	69
ภาพที่ 51 โครงสร้างของโทลูอีน.....	70
ภาพที่ 52 โทลูอีน.....	71
ภาพที่ 53 ไซลีนไอโซเมอร์สามตัว: o -xylene, m -xylene และ p -xylene.....	72
ภาพที่ 54 ไซลีน.....	73
ภาพที่ 55 พระจุฑามณีทองคำลงยา (ปีนปักผม) ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น.....	76
ภาพที่ 56 แผ่นโลหะเงินสำหรับการทดลองยาสี.....	77
ภาพที่ 57 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD® 510 ยี่ห้อ Fischer.....	80
ภาพที่ 58 กล้องจุลทรรศน์ Celestron Compound Microscope Labs CB2000CF.....	80

ภาพที่ 59 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3 ศูนย์เครื่องมือ  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร..... 81

ภาพที่ 60 อุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Digital Hardness Tester หรือ Durometer  
Hardness) รุ่น Shore 0-100H(D) ..... 82

ภาพที่ 61 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำหนักตามอุณหภูมิ Thermal Gravimetric  
Analyzer (TGA)..... 83

ภาพที่ 62 เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่าง Differential  
Scanning Calorimeter – DSC..... 84

ภาพที่ 63 การทดสอบความแข็งแบบ Shore (Durometer)..... 96

ภาพที่ 64 การแปลงความแข็ง Durometer..... 96

ภาพที่ 65 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 115

ภาพที่ 66 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 116

ภาพที่ 67 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-h) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 118

ภาพที่ 68 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-h) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 119

ภาพที่ 69 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-g) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 121

ภาพที่ 70 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 122

ภาพที่ 71 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 124

ภาพที่ 72 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 125

ภาพที่ 73 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 126

ภาพที่ 74 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณ  
ภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของ  
ตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ ..... 127

ภาพที่ 75 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพาราลอยด์หลังจากบ่มบนแผ่นทดสอบโลหะเงินที่มีลายนูน  
ลึกบนพื้นผิว ..... 128

ภาพที่ 76 ลักษณะทางกายภาพของ (a) สารละลายโพลีเมอร์ที่ใช้โกลูอินเป็นตัวทำละลายและความ  
เข้มข้น 20 %wt ของพาราลอยด์เรซิน และ (b) ฟิล์มพาราลอยด์ที่ไม่มีสารเติมแต่งสีเขียวหลังการ  
อบแห้งบนกระจก และ (c) ภาพถ่ายเชิงแสงของฟิล์มพาราลอยด์ ด้วยสารเติมแต่งสีเขียว (A) 20%PB-  
44/โกลูอิน, (B) 20%PB-48N/โกลูอิน, (C) 20%PB-67/โกลูอิน และ 20%PB-72/โกลูอิน ..... 129

ภาพที่ 77 พื้นผิวแตกของฟิล์มพาราลอยด์ชนิดต่างๆ (A) 20%PB-44/โกลูอิน, (B) 20%PB-48N/โกลู  
อิน, (C) 20%PB-67/โกลูอิน และ 20%PB- 72/โกลูอิน..... 131

ภาพที่ 78 เส้นโค้ง TGA ของฟิล์มพาราลอยด์ (a) น้ำหนักที่ลดลง และ (b) น้ำหนักอนุพันธ์ของฟิล์ม  
พาราลอยด์..... 132

ภาพที่ 79 (a) ความแข็ง (ฝั่ง D) และ (b) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของฟิล์มพาราลอยด์..... 134

ภาพที่ 80 (a) ความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ของพาราลอยด์เรซินแต่ละชนิด และ  
(b) มุมสัมผัสน้ำของฟิล์มพาราลอยด์ ..... 135

ภาพที่ 81 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มหลังจากลอกออกจากผิวกระจก (a) 20%PB-44/T/G, (b) 20%PB-48N/T/G, (c) 20%PB-67/T /G และ (d) 20%PB-72/T/G ..... 136

ภาพที่ 82 วัสดุเครื่องทองลงยาสี โดยการใช้วัสดุทดแทน Paraliod B-44 20%wt โทลูอิน ชั้นที่ 1139

ภาพที่ 83 วัสดุเครื่องทองลงยาสี โดยการใช้วัสดุทดแทน Paraliod B-44 20%wt โทลูอิน ชั้นที่ 2140



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องทองลงยาสี นับได้ว่าเป็นงานหัตถศิลป์ไทยชั้นสูงที่ต้องใช้ความละเอียดประณีตรวมถึงทักษะความรู้จากช่างผู้ชำนาญการเป็นอย่างสูง เครื่องทองลงยาสีโบราณที่เราพบเห็นมักเกิดจากการสร้างสรรค์โดยช่างหลวงที่รับใช้งานในราชสำนัก ด้วยที่ว่าเครื่องทองลงยานั้นมักเป็นของประดับตกแต่งในเครื่องใช้เครื่องราชูปโภค ตลอดจนเครื่องประดับต่าง ๆ บนวัสดุทองคำ เงิน หรือโลหะอื่น ๆ เพื่อเป็นเครื่องประกอบพระราชอิสริยยศของพระมหากษัตริย์หรือเจ้านายชั้นสูง หรือเครื่องประกอบยศของเหล่าขุนนางในอดีต ครูเอกฉันท จันอุไรรัตน์ ผู้เป็นทายาทครูบุญมี จันอุไรรัตน์ ครูศิลป์ของแผ่นดิน ปี 2561 กล่าวว่าเครื่องลงยาสีเป็นศิลปกรรมที่มีค่าอย่างมากของประเทศไทย เป็นเอกลักษณ์และเป็นอัตลักษณ์ของไทยอย่างแท้จริง เดิมทีเครื่องลงยาสีใช้เฉพาะในราชวังเท่านั้น เราถึงมีคำพูดที่คุ้นเคยว่า "เครื่องลงยาราชาวดี" หมายถึง เครื่องลงยาที่ใช้กับพระมหากษัตริย์หรือพระราชินี โดยแทบจะเป็นหนึ่งเดียวที่ผลิตแบบลงยาร้อน และจะต้องใช้ประสบการณ์เพื่อให้สีทุกสีละลายไปพร้อม ๆ กัน (สำนักข่าวไทย TNAMCOT) ดังนั้นเครื่องลงยาราชาวดีจึงเป็นงานศิลป์ชั้นสูงที่มีความสำคัญอย่างมาก ทั้งในด้านของการใช้งานเป็นเครื่องประดับที่มีความวิจิตรของลวดลาย การสร้างเพื่อบุคคลสำคัญ และยิ่งแสดงออกถึงองค์ความรู้ที่บรรพบุรุษไทยได้สืบทอดมาจากรุ่นสู่รุ่น เป็นเครื่องแสดงออกถึงภูมิปัญญาชั้นสูงของช่างไทยที่ควรอนุรักษ์สืบสานไปให้ดำรงอยู่สืบต่อไป

การลงยาสีเป็นการตกแต่งเครื่องประดับและเครื่องราชูปโภคที่นิยมอย่างมากในสมัยรัตนโกสินทร์ เห็นได้จากเครื่องราชูปโภคที่สร้างขึ้นในสมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราชที่ 1 นิยมทำด้วยเครื่องลงยาราชาวดี เช่น พระมหาพิชัยมงกุฎทองคำลงยาประดับเพชร พานพระชั้นหมากใหญ่ และพระโกศ พระอัฐมเด็จพระปฐมบรมมหาชนก เป็นต้น (กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, 2555 หน้า 5) ยาสีเกิดจากแก้วสังเคราะห์ที่ทำขึ้น แก้วเกิดจากสารซึ่งเป็นทรายจุดหลอมเหลวไม่สูงมีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ผสมสารอื่น เช่น โบรอนออกไซด์ ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ไททานเนียมออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ), ฟลูออไรด์บางชนิด (Fluoride) และออกไซด์ของต่างอัลกาลีเนต ตะกั่ว สังกะสี สีของยาสีทำได้จากการเพิ่มแร่หรือสารอื่น ๆ เข้าไป จำพวกออกไซด์ของโลหะ เช่น โคบอลต์ แร่เพรซีโอดิเมียม (Praseodymium) และนีโอดิเมียม (Neodymium) เป็นต้น (กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, 2555 หน้า 7) เมื่อนำส่วนผสมเหล่านี้มาหลอมจะเกิดเป็นก้อนยาสี การนำมาใช้จะต้อง ละเอียดและนำมาผสมน้ำหยอดลงบนชิ้นงานโลหะที่ได้ดุนลวดลายหรือกั้นช่องสำหรับรองรับยาสี โดยใช้ความร้อนในการหลอมละลายยาสี

เหล่านั้นให้ติดอยู่บนชิ้นงาน เมื่อเย็นตัวยาสีจะเคลือบติดผิวโลหะซึ่งอาจจะเป็นการใช้ตัวยาสีต่าง ๆ ถมระดับบนโลหะแทนการฝังด้วยอัญมณี

เครื่องทองลงยาที่พบในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้นนั้น มีการผสมผสานลักษณะงานช่างไทยหลายสาขา อีกทั้งลักษณะการใช้งานที่แสดงถึงความสำคัญของเครื่องลงยา ดังเช่น เครื่องอิสริยยศอันเป็นทรัพย์สินมีค่าของแผ่นดิน ที่จัดทำด้วยวัสดุมีค่าหลายชนิดโดยช่างฝีมือในราชสำนัก เป็นสิ่งของที่สูงค่าด้วยมูลค่าของวัสดุที่จัดทำ และยังมีคุณค่าต่อจิตใจ อีกทั้งมีคุณค่าต่อประวัติศาสตร์เป็นอย่างมาก เครื่องทองลงยาสีแต่ละชิ้นเป็นของสำคัญที่ต้องอนุรักษ์ให้คงอยู่ตราบนานเท่าที่จะเป็นไปได้ในปัจจุบันพบการชำรุดเสื่อมสภาพของยาสีที่มีปัจจัยมาจากการใช้งานหรือการเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้องหรือเกิดจากการเสื่อมสภาพของยาสี ตัวอย่างเช่น เครื่องทองลงยาที่ผู้วิจัยนำมาศึกษาการเสื่อมสภาพขึ้นนี้คือ พระจุฑามณีทองคำลงยา (เป็นปึกผม) ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น เป็นเครื่องประดับใช้สำหรับปกพระเมมาสีหรือจุกสำหรับเจ้านายก่อนการพระราชพิธีโสกันต์

พระราชพิธีโสกันต์ คือพระราชพิธีโกนจุกของพระราชโอรส พระราชธิดาของพระเจ้าแผ่นดินหรือเจ้านายที่ดำรงพระอิสริยยศชั้นเจ้าฟ้าและพระองค์เจ้าขึ้นไป ถ้าเป็นพระราชพิธีสำหรับเจ้านายชั้นหม่อมเจ้า เรียกว่าพระราชพิธีเกศากันต์ ซึ่งเป็นพระราชพิธีที่สำคัญยิ่งกับเจ้านายในสมัยก่อน การไว้ผมเพื่อเกล้าเป็นจุกไว้บนกระหม่อมของเด็กเป็นความเชื่อว่าการกระหม่อมของเด็กเป็นที่สถิตของขวัญ ซึ่งถ้าขวัญไม่มีที่อยู่และหนีไป ก็จะทำให้เด็กไม่สบายจนอาจถึงแก่ความตายได้ และเชื่อมโยงกับเทพเจ้าในลัทธิพราหมณ์ที่เชื่อว่าการไว้ผมยาวและขมวดมุ่นเป็นมวยไว้กลางศีรษะอย่างเทพเจ้าจะช่วยให้เด็กมีสุขภาพดีและเลี้ยงง่าย เมื่อถึงเวลาอันควรจึงมีการโกนจุกให้สั้นเท่ากันทั้งศีรษะ และเริ่มไว้ผมตามสมัยนิยม ถือเป็นก้าวข้ามผ่านจากชีวิตวัยเด็กเพื่อที่จะนำไปสู่ความเป็นผู้ใหญ่ การโกนจุกจึงเป็นสัญญาณบอกให้เด็กรู้ถึงเวลาเริ่มต้นสู่ความเป็นผู้ใหญ่แล้ว และยังเป็นการแยกเพศหญิงชายให้แต่ละฝ่ายรู้หน้าที่ของตน การโกนจุกโดยปกติแล้วจะทำเมื่อมีอายุระหว่าง 11 – 13 ปี (กรมธนารักษ์, 2557 หน้า 17)

การไว้ผมจุกมักประดับด้วยปิ่นปักผมซึ่งเป็นเครื่องประดับมาแต่สมัยโบราณ ตัวปิ่นอาจทำด้วย ทองคำ ทองเหลือง เงิน นาก หยก และประดับด้วยเพชร พลอย การลงยาสี ฯลฯ ตามแต่ฐานะของผู้ครอบครอง ประวัติของพระจุฑามณีทองคำลงยาขึ้นนี้ แม้นไม่ทราบว่าเป็นของเจ้านายพระองค์ใด หากแต่ความสำคัญของเครื่องทองลงยาและเทคนิคของช่างก็พอจะประมาณความสำคัญได้ว่ามาจากช่างทองหลวงในพระราชสำนัก ตัวปิ่นทำด้วยทองคำ ตัวแกนด้านในเป็นโลหะและชัน ด้านนอกบุด้วยทองคำคุณลายกระจัง ลงยาสีแดง สีเขียว และสีขาว ยอดฝังทับทิม คำว่าจุฑามณีนอกจากแปลว่าปิ่นแล้ว ยังเป็นชื่อของพระธาตุเจดีย์บรรจุพระเกศธาตุของพระพุทธเจ้าที่อยู่ดาวดึงส์ เรียกว่า จุฑามณีเจดีย์ เครื่องประดับชิ้นนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นเครื่องใช้สวย แต่ยังแฝงไปด้วยความสวยงามและทำหน้าที่สื่อความหมายทำให้เครื่องประดับประเภทนี้มีคุณค่ายิ่ง แต่ปัจจุบันพระจุฑามณีทองคำลงยาเกิดการ

เสื่อมสภาพจากการใช้งาน และสภาพของยาสีหลุดล่อน เกิดรอยร้าวเล็ก ๆ ในยาสี ซึ่งที่ผ่านมานวทางการอนุรักษ์เครื่องลงยาสีและเครื่องทองลงยาราชาชาติ จะอนุรักษ์ตามหลักของการป้องกันการเสื่อมสภาพ การจะเติมแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานแต่ละประเภท

ปัญหาของการเติมแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์สำหรับเครื่องทองโบราณ คือไม่สามารถนำชิ้นงานที่ต้องการซ่อมแซมมาลงยาสีเพิ่มเติมหรือลงซ้ำบนบริเวณที่ชำรุด หรือหลุดล่อนด้วยเทคนิคของการลงยาสีแบบร้อนได้ เพราะความร้อนที่ยาสีใช้หลอมละลายซิลิกา (silica) ต้องใช้ความร้อนในอุณหภูมิที่สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเครื่องทองหรือบริเวณผิวชิ้นงานที่เป็นโลหะทองคำและชิ้นส่วนยาสีใกล้เคียงที่เป็นลวดลายเดียวกัน หรือทำให้เกิดการชำรุดเสียหายเพิ่มเติมมากกว่าเดิม จึงจำเป็นต้องหาวัสดุที่ไม่ผ่านขั้นตอนความร้อนในการซ่อมแซมหรือทดแทนให้มีความสมบูรณ์ สวยงามและทรงคุณค่าทางสุนทรียภาพดั้งเดิม

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญคุณค่าของเครื่องลงยาราชาชาติและปัญหาของการฟื้นฟูซ่อมแซมด้วยการเติมเต็มด้วยลวดลายของยาสีว่าควรจะเป็นวัสดุที่สามารถนำออกได้ในภายหลัง (reversible) เมื่อค้นพบวัสดุวิธีการที่เหมาะสมกว่าในอนาคต รวมถึงไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน การกระทบต่อชิ้นงานที่ต้องการอนุรักษ์ จากสภาพปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้ศึกษาจึงมีเป้าหมายที่ศึกษาการค้นคว้าวัสดุที่มีสมบัตินำมาแต่งเติม แทนที่ยาสีที่ชำรุด หลุดล่อน หายไป เพื่อให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์ สวยงาม และทรงคุณค่าดั้งเดิม ซึ่งในปัจจุบันได้มีความก้าวหน้าในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี จึงทำให้มีการผลิตวัสดุสังเคราะห์ใหม่ ๆ เป็นจำนวนมากมาย เพื่อนำมาใช้ทดแทนวัสดุจากธรรมชาติ และจากการศึกษาเบื้องต้นเห็นว่าสมบัติวัสดุสมัยใหม่ที่คาดว่าจะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสี คือ พลาสติกเหลว ประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความโปร่งใส มีสีขาว มีสภาพ คงรูปที่ดี มีแรงยึดเกาะได้ดี สามารถแต่งเติมด้วยสีตามต้องการได้ มีความแข็งแรง คงทน ไม่ดูดซับความชื้น ทำให้เกิดความสวยงามใกล้เคียงกับของเดิมที่มีอยู่ และสามารถนำออกได้ง่ายเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ดีกว่า ซึ่งไม่ขัดต่อหลักการของการอนุรักษ์ โดยการนำเทอร์โมพลาสติกมาทดลองด้วยการผสมสี ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคการลงยาสีแบบยาเย็น และทำการบันทึกเก็บข้อมูล เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาทดสอบถึงคุณสมบัติให้ได้ความใกล้เคียงกับการลงยาสีแบบเดิมได้มากที่สุด และสามารถนำมาสู่การอนุรักษ์ชิ้นงานที่มีความเสื่อมสภาพได้ต่อไป

### ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นมาของเครื่องทองลงยาและลักษณะการเสื่อมสภาพของเครื่องทองลงยาสี กรณีศึกษาพระจุฑาภรณ์ทองคำลงยา ศิลปะรัตนโกสินทร์ตอนต้น จำนวน 2 ชิ้น



1.2.2 เพื่อทดสอบยาสีทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน (Thermoplastic Acrylic Resins) ได้แก่ พาราลอยด์ B-72, พาราลอยด์ B-44, พาราลอยด์ B-48N และพาราลอยด์ B-67 ในอัตราส่วนผสม 10% 20% และ 30% กับสารสีและตัวทำละลาย สำหรับการฟื้นฟูยาสีที่หลุดล่อนของเครื่องทองลงยาสีเดิม

1.2.3 เพื่อเสนอทางเลือกในการอนุรักษ์ฟื้นฟูเครื่องทองลงยาสี ด้วยยาสีทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน

### สมมุติฐานของการศึกษา

เทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน (Thermoplastic Acrylic Resins) สามารถนำมาใช้ทดแทนยาสีร้อน (Vitrous Emamel) ได้ด้วยคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับวัสดุเดิมคือ มีความโปร่งใส มันวาว มีสภาพคงรูปที่ดี มีแรงยึดเกาะได้ดี สามารถแต่งเติมด้วยสีตามต้องการได้ ทำให้เกิดความสวยงามใกล้เคียงกับยาสีเดิมที่มีอยู่ ไม่ทำปฏิกิริยาที่เป็นอันตรายต่อวัสดุตั้งเดิม และสามารถนำออกได้ง่ายเมื่อต้องการปรับเปลี่ยนวัสดุที่มีความเหมาะสมมากกว่าในอนาคต

### ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการเสื่อมสภาพของเครื่องทองลงยาราชาวดี ประเภทพระจุฬามณีทองคำลงยา (ปิ่น) ตัวเรือนเป็นทองคำคุณลดตายและตกแต่งลงยา จำนวน 2 ชิ้น ที่มีอายุสมัยช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้น โดยใช้อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์ CU Smartlens บันทึกสภาพวัตถุและลักษณะของการเสื่อมสภาพลงบนแบบบันทึกที่สร้างขึ้น

ศึกษาทดลองวัสดุทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน ที่ใช้ในการอนุรักษ์คือ พาราลอยด์เรซิน จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ paraloid B-72, paraloid B-44, paraloid B-48N, paraloid B-67 ผลิตโดย The Dow Chemical Company กำหนดความเข้มข้น 10% 20% และ 30% ผสมกับสารสีและตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ อะซิโตน (Acetone), โทลูอิน (Toluene) และ ไซลีน (Xylene) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความแข็งโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Digital Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) รุ่น Shore 0-100H(D) และวิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุทางด้านความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA/DSC)

### วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาข้อมูลด้านเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยรวมแนวคิดทฤษฎี ผลงานทางวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของการเสื่อมสภาพของยาสี การอนุรักษ์งานลงยาสี เพื่อสร้างความเข้าใจในประเด็นการศึกษาและเป็นกรอบแนวคิดอันจะนำไปสู่วิธีการศึกษาที่ถูกต้อง

1.5.2 ศึกษาตัวอย่างของเครื่องลงยาสีพระจุฑามณี ด้วยการค้นหาประวัติ คุณสมบัติของวัสดุ และเทคนิคกระบวนการในการผลิต บันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพวัตถุ (Documentation And Condition Assessment)

1.5.3 วิเคราะห์วัสดุของโลหะในพระจุฑามณีด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD® 510 XRF ยี่ห้อ FISCHER เพื่อนำไปเป็นข้อมูลประกอบกับประวัติและบันทึกลงแบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพวัตถุที่สร้างขึ้น

1.5.4 ศึกษาข้อมูลวัสดุทางเลือกที่จะนำมาใช้ในการอนุรักษ์ฟื้นฟูแทนยาสีที่หลุดล่อน และเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1.5.5 ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของยาสีทดแทน โดยเลือกใช้ พารา ลอยด์เรซิน ที่ผลิตโดย The Dow Chemical Company จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ พาราลอยด์ B-72, พาราลอยด์ B-44, พาราลอยด์ B-48N และ พาราลอยด์ B-67 กำหนดความเข้มข้น 10% 20% และ 30% ผสมกับสารสีและตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ อาซิโตน, โทลูอีน และไซลีน นำสารที่ได้มา หยอดยาสีด้วยเทคนิคลงยาเย็นบนแผ่นกระจกและแผ่นโลหะเงินแบบกลม เพื่อหาตัวทำละลายและความหนืดที่เหมาะสมในการลงยาสี ภายใต้การประเมินด้วยสายตาผ่านกล้องจุลทรรศน์ CU Smartlens

1.5.6 ทดสอบความเสถียรของวัสดุทางด้านความร้อน ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA/DSC) เพื่อวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

1.5.7 ประมวลข้อมูลและวิเคราะห์ผล โดยนำข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพ สูงสุดจากการทดลอง นำมาลงยาบนเครื่องลงยาจำลองที่สร้างขึ้น

1.5.8 นำเสนอแนวทางการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสี

1.5.9 สรุปผลการศึกษา นำเสนอผลการวิจัยเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์และเผยแพร่

### แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาขั้นต้น คือ หนังสือ ตำรา วารสาร บทความ เอกสารวิจัย และเอกสาร ประกอบการสอน โดยสืบค้นจาก

1.6.1 ห้องสมุดมหาวิทยาลัยศิลปากร

1.6.2 หอสมุดแห่งชาติ

1.6.3 ห้องคลังความรู้มิวเซียมสยาม

1.6.4 เอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากแหล่งข้อมูลระบบออนไลน์

1.6.5 แหล่งข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์

### ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะใช้เวลา 1 ปี ตั้งแต่ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566

ขั้นตอน	เดือนมิถุนายน 2565 - พฤษภาคม 2566													
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.		
1. รวบรวมข้อมูลและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←			→										
2. ศึกษาสาเหตุของการเสื่อมสภาพของกลุ่มตัวอย่าง		←				→								
3. ทดลองและจดบันทึกข้อมูล				←			→							
4. ทดสอบคุณสมบัติของยาสีในด้านต่าง ๆ						←		→						
5. ทดสอบยาสีบนงานต้นแบบ								←		→				
6. วิเคราะห์ผล									←		→			
7. สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่ผลงานวิจัย											←		→	

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 การลงยาสี หมายถึง การทำลวดลายสีต่าง ๆ ให้ปรากฏบนพื้นผิวเครื่องเงินและโลหะอื่น ๆ โดยใช้แก้วหรือพลอยป่น ทำให้เกิดสีโดยการใส่ออกไซด์ นำไปผสมกับน้ำหรือกาวแล้วหยอดหรือเขียนบนวัสดุที่พื้นผิวเป็นโลหะมีค่า ซึ่งสีจะปรากฏตามร่องลาย จากนั้นจึงใช้ความร้อนมาหลอมละลายให้แก้วหรือพลอยติดไปกับโลหะ ตามลวดลายที่ได้ออกแบบไว้

1.8.2 เครื่องทองลงยาราชาชาติ หมายถึง เรียกการลงยาชนิดหนึ่งสำหรับเคลือบทองให้เป็นสีต่าง ๆ เช่น เขียว แดง ฟ้ำ ว่า ลงยาราชาชาติ (ราชบัณฑิตยสถาน, พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2554, 998.)

1.8.3 การลงยาสีร้อน (Vitreous Enamel) เป็นการลงยาสี โดยการหลอมผงแก้วหรือสารประกอบจากแร่ธาตุ ๆ ผสมน้ำให้มีลักษณะเหนียวคล้ายแป้งเปียก นำไปทาบนผิวโลหะ จากนั้นนำไปให้ความร้อน โดยอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 750 – 850 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ใช้ (กาญจนาภิเษก ช่างทองหลวง, 2555, 8.)

1.8.4 การลงยาสีเย็น (Cold Enamel) เป็นการลงยาสีโดยใช้สารผสมสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกาวลงบนผิวโลหะ โดยไม่ใช้ความร้อน หรือใช้ความร้อนในระดับต่ำไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส

1.8.5 ออกไซด์ หมายถึง สารประกอบ ที่เกิดจาก ธาตุออกซิเจน ร่วมกับธาตุอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเป็นโลหะหรืออโลหะก็ได้ เช่น  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.9.1 ทำให้ได้ทราบถึงความเป็นมาของเครื่องทองลงยาสีและสาเหตุการเสื่อมสภาพของยาสี
- 1.9.2 ได้ทราบถึงคุณสมบัติของประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิกเรซิน (thermoplastic acrylic resin) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสี
- 1.9.3 ได้ต้นแบบในการพัฒนาวัสดุทดแทน และนำมาใช้ในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีโบราณ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

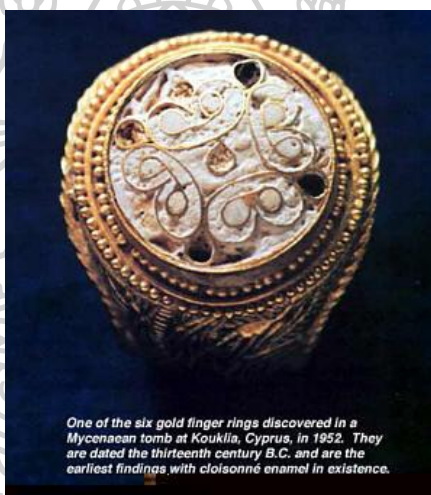
การศึกษาทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาราชาชาติ ด้วยการค้นคว้าวัสดุทดแทนยาสี เพื่อนำมาแต่งเติมซ่อมแซมเครื่องลงยาราชาชาติ ซึ่งเป็นโบราณวัตถุที่ยังต้องใช้งานในการประกอบพระราชพิธีสำคัญ ในปัจจุบันพบการชำรุดของเครื่องลงยาราชาชาติเป็นจำนวนมาก เครื่องลงยาส่วนใหญ่ไม่ได้รับการดูแลและอนุรักษ์ในหลักการที่เหมาะสม โดยเฉพาะในขั้นตอนของการแต่งเติมสีหรือลวดลาย ผู้ศึกษาจึงได้สืบค้นบททวนวรรณกรรมจากเอกสาร อันได้แก่ ความรู้เรื่องประวัติศาสตร์งานลงยาสีในต่างประเทศและงานลงยาสีในประเทศไทย รวมถึงเทคนิคและวิธีการลงยาสีร้อน การลงยาสีเย็น และการศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก เพื่อใช้เป็นกรอบและแนวทางการศึกษาให้ได้มาซึ่งวัสดุทดแทนยาสี และวิธีการอนุรักษ์ที่ถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการ โดยมีแนวคิด ทฤษฎี และผลงานทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

#### 1. ประวัติศาสตร์ความเป็นมาของงานลงยาสีในต่างประเทศ

อีนาเมล (Enamels) คือผงแก้วสี การนำไปใช้ต้องหลอมยาสีที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำระหว่าง 500 ถึง 700 องศาเซลเซียส โดยการนำไปเข้าเตาเผาแบบปิดทึบ มักใช้ในการตกแต่งพื้นผิววัสดุแก้ว เซรามิก โลหะ และตกแต่งกระจกหน้าต่าง กระบวนการเคลือบหรือตกแต่งจะเรียกว่า enamelling หรือ enamelled วัสดุผงยาสีจะถูกละความชื้นหลอมละลายเปลี่ยนสภาพติดกับพื้นผิวโลหะ โดยปกติแล้วใช้แต่งโลหะเช่น ทอง เงิน ทองแดง ทองเหลือง หรือเหล็ก การลงยาสีจึงเทียบเคียงกับคำว่า enamel ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาเยอรมันชั้นสูง คือ “smelzan” หลังจากนั้นจึงมาเป็นคำว่า “esmail” ในภาษาฝรั่งเศสโบราณดังนั้นในปัจจุบันเราจะพบการใช้ศัพท์การลงยาสีในภาษาอิตาลีเรียกว่า “smalto” ฝรั่งเศสและเยอรมันเรียการลงยาสีว่า “émail” ในภาษาอังกฤษใช้คำว่า “enamel” (Vitreous Enamel Association, 2022) งานลงยาสีถือกำเนิดมานาน สันนิษฐานว่ามีมาแต่หลายพันปีก่อนประวัติศาสตร์ ซึ่งคาดว่าได้รับการพัฒนามาจากการทำน้ำยาเคลือบเครื่องปั้นดินเผา รวมทั้งเทคนิคในการฝังอัญมณี เนื่องจากอัญมณีหายากในภายหลังช่างเงินช่างทองจึงใช้หินสีมาประดับแทน และต่อมาก็ใช้แก้วสีแทนอัญมณีอีกครั้ง ในระยะแรก ๆ ของการใช้แก้วสี จะใช้แก้วสีน้ำเงินแทนลาปีสลาซูลี แก้วสีเขียวอมฟ้าแทนเทอร์คอยซ์ แก้วสีน้ำตาลอมแดงแทนคาร์เนเลียนหรือโกเมน โดยใช้วิธีนำแก้วสีไปขัดฝนให้ได้รูปแบบตามต้องการและนำไปยึดติดกับโลหะ ใช้ความร้อนเผาให้แก้วสีละลาย ต่อมาใช้ลวดโลหะทำเป็นช่องเล็ก ๆ สำหรับใส่แก้วสีและนำไปให้ความร้อนจนหลอมละลาย พบหลักฐานที่แสดงว่าชาวเมโสโปเตเมียรู้จักการทำแก้วมาตั้งแต่เมื่อประมาณ 4,000 ปี มาแล้ว และได้พบหลักฐานการหลอมโลหะ เช่น ทอง เงิน ทองแดง สำริด วิธีการบัดกรี ทองและเงิน ซึ่งเป็นเทคนิค

และความรู้พื้นฐานของการทำงานลงยาสี จึงเป็นข้อสันนิษฐานว่าการลงยาสีเกิดขึ้นในแถบนี้และขยายองค์ความรู้ไปสู่แหล่งอารยธรรมอื่น ๆ ต่อไป (สรภัทธ สาราพฤษ, 2561)

ชาวไมเซียเนียร์รู้จักวิธีการลงยาสีหลังจากวิธีทำแก้ว โดยพบหลักฐานเมื่อ 3,000 ปีมาแล้ว ได้ทำเป็นลักษณะเครื่องประดับทอง โดยมีลักษณะเป็นลวดโลหะตัด บัดกรีติดกับทองและใช้แก้วที่ฝนเป็นชิ้นเล็กใส่ลงไป จากนั้นนำไปให้ความร้อนจนหลอมละลาย โดยใช้แก้วสีฟ้าประดับ ต่อมาเครื่องลงยาสีที่ทำด้วยเทคนิคนี้จึงพัฒนาเป็นคิ้วซอนเน่ (Cloisonné) มาจากคำภาษาฝรั่งเศส "cloison" ที่มาจากคำภาษาละตินว่า "clausus" มีเทคนิคการนำเส้นลวดมาตัดเป็นรูปต่าง ๆ ตามต้องการแต่ต้องเป็นลักษณะเป็นช่องเพื่อให้ใส่ยาสีได้และใช้แก้วลงยาสีแทน ซึ่งจะไม่เหมือนกับที่ผ่านมาที่ใช้เศษแก้วนำมาฝน (สรภัทธ สาราพฤษ, 2561)



ภาพที่ 1 แหวนทองเก่าแก่จาก Kouklia เทคนิคการลงยาสีแบบ cloisonné อายุราว 1300 ปีก่อนคริสตกาล

ที่มา : Panicos Michaelides, The Earliest Cloisonne Enamels, accessed December 12, 2021, available from <https://www.ganoksin.com/article/earliest-cloisonne-enamels/>

หลักฐานการลงยาที่เก่าแก่ที่สุด ถูกพบในการขุดค้นสิ่งของโบราณในแถบไซปรัส (Cyprus) เป็นเกาะแห่งหนึ่งในทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันออก (Eaetern Mediteraniun) พบแหวนทองคำจำนวน 6 วง ที่หมู่บ้าน Kouklia และคทาทองคำที่ Kourion ปราบกฏหลักฐานการลงยาแบบใช้ความร้อนหลอมแก้วชิ้นแรก นักวิชาการเชื่อว่าเกาะแห่งนี้ได้รับอิทธิพลมาจากกรีกโบราณ ในยุคอารยธรรมไมซีนี (Mycenae) โดยเทคนิคยาสีนี้ถูกเรียกในภายหลังว่า คิ้วซอนเน่ (Cloisonné) เป็นที่ถกเถียงกันว่าการลงยาสีนั้น เกิดในอียิปต์ช่วง 1,300 ปีก่อนคริสตกาลหรือไม่ เนื่องจากอัญมณีบางชิ้นที่พบในสุสานตุตันคาเมน (Tutankhamun) ดูเหมือนจะเคลือบด้วยยาสี แต่ไม่แน่ใจว่าถูกหลอมรวมเข้ากับ

วัตถุโดยตรงหรือถูกสร้างแยกจากกันและประกอบกันในที่เย็น แต่ไม่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเรื่องนี้ ในอีกด้านหนึ่งอาจเป็นสินค้านำเข้าจากความสัมพันธ์ทางการค้าที่ใกล้ชิดระหว่างอียิปต์และไซปรัสในขณะนั้น หากการเคลือบมืออยู่จริงในงานของไมซินีก็คาดว่าจะได้รับการถ่ายทอดมาจากชาวกรีกและชาวไมซินีจึงถ่ายทอดไปยังส่วนอื่น ๆ ของยุโรป ในปัจจุบันมันมีการคาดเดาว่าเทคนิคลัวซอนเนในยุคแรกอาจมีการเชื่อมโยงกันระหว่างช่างฝีมือในรัสเซียตอนใต้กับช่างฝีมือเชลติกในช่วงศตวรรษที่ 3 ก่อนคริสตศักราช (Enamelwork, 2021) ลัวซอนเนเป็นเทคนิคการเคลือบที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับมากในช่วงยุคกลางที่อาณาจักรไบเซนไทน์ ช่วงศตวรรษที่ 10 -11 จนถึงปลายศตวรรษที่ 13 แต่หลังจากเหตุการณ์กรุงโรมแตก (Sack of Rome) ศิลปะของการเคลือบลัวซอนเน ก็ลดลงอย่างรวดเร็ว ศตวรรษต่อมาเทคนิคนี้ค่อย ๆ ถูกแทนที่ด้วยเทคนิค "champlevé basse-taille" (Stefano R., 2021)

เทคนิคของเปลอเว่ (Champlevé) เป็นกรรมวิธีการทำพื้นด้วยการแกะสลักขุดพื้นผิวให้เกิดร่องโดยใช้เหล็กปลายแหลมหรือสิ่ว และเติมยาสีลงไปในเรื่อง และนำไปให้ความร้อนเพื่อให้ได้พื้นผิวที่เรียบ เทคนิคนี้ถูกใช้โดยชาวเคลต์ (Celts) ตั้งแต่ก่อนศตวรรษที่ 1 ในการตกแต่งเข็มกลัดและกระดุม ชาวโรมันได้เรียนรู้เทคนิคนี้ในคราวที่ยึดครองอังกฤษ ในช่วงหลายศตวรรษที่ผ่านมาเทคนิค "Gallo-Roman" (champlevé on bronze) ได้รับการพัฒนาขึ้น และชาวโรมันมีบทบาทสำคัญในการแพร่กระจายเทคนิคนี้ไปสู่ยุโรปจนเฟื่องฟูไปถึงปลายศตวรรษที่ 11 ของเปลอเว่ที่ผลิตในโคโลญน์ มักมีสีน้ำเงินและเขียวเข้ม การใช้เทคนิคของเปลอเว่จะไม่นิยมใช้กับโลหะมีค่า เพราะจะทำให้เกิดการสูญหายของโลหะ แต่จะนิยมใช้กับโลหะที่ราคาไม่แพง เช่น ทองแดง หรือสำริด เป็นต้น (Stefano R., 2021)

ในฝรั่งเศสและมีโรงเรียนสอนศิลปะการเคลือบยาสีบนทองแดงในเมือง Conques และแพร่หลายไปในอีกหลายเมือง เช่น ลีแอซ (เบลเยียม), โคโลญ (เยอรมนี), ซาโลส (สเปน) และลิโมจส์ (ฝรั่งเศส) โดยใช้ในตกแต่งในข้าวของเครื่องใช้ในทางศาสนาและการประกอบพิธีกรรม ราวปี ค.ศ. 1130 เกิดโรงเรียนสอนศิลปะที่มีชื่อเสียงที่เมือง Limoges ในฝรั่งเศส ได้สร้างผลงานมีคุณภาพถึงระดับที่เทียบได้กับความงามของวัตถุเคลือบลัวซอนเน (ดังแสดงในรูปที่ 5) ต่อมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 14 วิธีของเปลอเว่ได้พัฒนาเทคนิคใหม่ โดยได้รับอิทธิพลจากวิธีลัวซอนเนของอิตาลี เรียกเทคนิคนี้ว่า champlevé basse-taille เทคนิคนี้ประกอบไปด้วยการแกะสลักบนพื้นผิวโลหะที่ไม่ลึกลงมากและใช้ทั้งเคลือบสีและโปร่งแสง การใช้สารเคลือบโปร่งแสงส่วนใหญ่ทำกับวัตถุทองแดงที่เคลือบด้วยชั้นทองหรือเงิน ประมาณปลายศตวรรษที่ 14 เทคนิคนี้แพร่หลายในสเปนและในอิหร่าน ซึ่งวัตถุเหล่านี้เรียกว่า "minakari" (Stefano R., 2021)



ภาพที่ 2 Chalice with the Crucifixion and Christ in Majesty ศิลปะลงยาแบบ Champlévé บน  
หีบทองแดง ศิลปะยุคกลางราว ค.ศ. 1180- 1190

ที่มา : A brief history of porcelain enamel, accessed December 12, 2021, available  
from <https://encyclopedia.pub/revision/11460/v1>

เทคนิคของเปลือเงเริ่มเสื่อมความนิยมเมื่อปลายศตวรรษที่ 14 แต่หลังจากผ่านไป 100 ปี  
ที่เมือง Limoges ตั้งแต่ยุคฟื้นฟูศิลปวิทยาเป็นต้นไปเทคนิคนี้ได้กลับมาอีกครั้งภายใต้รูปแบบ  
ที่แตกต่างออกไป เรียกว่า “enamel paint” และไม่ได้ใช้ในแวดวงทางศาสนาอีกต่อไป ส่วนใหญ่พบ  
เป็นวัตถุตกแต่งที่หรูหราในครอบครัวที่ร่ำรวย มีการลงยาสีเสมือนว่าทาลงบนผ้าใบ มีการพัฒนา  
เทคนิคที่เรียกว่า “grisaille” โดยวิธีแรกใช้เพียงสีขาวดำเท่านั้น อีกวิธีหนึ่งคือการใช้สีต่าง ๆ และ  
เคลือบโปร่งแสง grisaille ซึ่งมีชื่อมาจากคำภาษาฝรั่งเศสว่า "gris" มีกระบวนการคือการเตรียมพื้นชั้น  
เคลือบสีดำ ต่อมาเคลือบด้วยสีขาวที่มีความโปร่งใสเพื่อจะได้ชั้นต่าง ๆ จะได้เฉดสีเทาที่หลากหลาย  
เทคนิคนี้เป็นที่ใช้งานแพร่หลาย ที่ Limoges ในยุคเรอเนซองส์ ตัวอย่างผลงานที่มีชื่อเสียงของการลง  
ยาสี เป็นงานศิลปะจาก Léonard Limosin ซึ่งเป็นจิตรกรลงยาที่สำคัญที่สุดของฝรั่งเศสยุคฟื้นฟู  
ศิลปวิทยา (แสดงอยู่ในรูปที่ 3)





ภาพที่ 3 Henri d'Albert ราชานแห่ง Navarre, Léonard Limosin ค.ศ. 1556 การลงยาสีแบบ Paint Enamel บนทองแดง

ที่มา : A brief history of porcelain enamel, accessed December 12, 2021, available from <https://encyclopedia.pub/revision/11460/v1>

ในศตวรรษที่ 17 อังกฤษใช้งานลงยาสีสำหรับตกแต่งในงานภาพจำลองขนาดเล็ก กล้องโตะ เครื่องแปรงและกลองยานต์ จากศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา ประเทศสวีเดน ออสเตรีย และเยอรมัน เริ่มการลงยาสีบนโลหะอื่น เช่น เหล็ก ทำเป็นภาชนะหุงต้มในครัว การปฏิวัติอุตสาหกรรมทำให้งานลงยาเคลือบผิวเหล็กมีคุณภาพดีขึ้น ไม่เพียงเปลี่ยนจากการใช้งานเพื่อความสวยงามของเครื่องประดับ หรือของใช้สอยเล็ก ๆ เท่านั้น ยังมีผลิตภัณฑ์โลหะเคลือบใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ก่อสร้าง ยานยนต์ วิศวกรรม ทันตกรรม ฯลฯ เป็นต้น นอกจากนี้ยังค้นพบวิธีการลงยาสีบนโลหะทองแดง บรอนซ์ สแตนเลส อลูมิเนียม และโลหะผสมอื่น ๆ รวมถึงการตกแต่งแก้วยาสีบนผิวแก้วด้วย แม้ในศตวรรษที่ 19 งานฝีมือเครื่องประดับลงยาสีร้อน เสื่อมความนิยมลงจากขั้นตอนที่ซับซ้อน ในปี ค.ศ. 1960 เทคนิคนี้ถูกรื้อฟื้นขึ้นมามีชีวิตอีกครั้งหนึ่ง โดยนิยมใช้ตกแต่งบนงานเครื่องประดับและเครื่องตกแต่งในบ้านด้วยเทคนิคการทำที่หลากหลาย (Stefano R., 2021)

สำหรับทางเอเชียการลงยาสีได้รับอิทธิพลมาจากต่างประเทศ ในจักรวรรดิโมกุลในอินเดีย และปาเกีสถาน ช่างศิลป์ได้ประดิษฐ์เครื่องประดับอันวิจิตรด้วยรายละเอียดเคลือบทั้งด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นงาน ในช่วงศตวรรษที่ 16 และ 17 และทางอินเดียได้พัฒนาเทคนิคการลงยาที่เรียกว่า

Pertabghar ประมาณปี ค.ศ. 1870 คือการนำยาสีเขียวร้อน ๆ หนา ๆ มาทาลงบนชิ้นงานทองที่มีลวดลายกดปิดซ้อนทับ ("The History of Enamel Jewelry," 2021)

เอกสารบางแห่งกล่าวว่างานลงยาสีของจีนได้รับการเผยแพร่เทคนิคมาจากไบแซนไทน์จากการติดต่อค้าขาย ในยุคที่ชาวมองโกลเข้ามายึดอำนาจ หลักฐานงานลงยาสีของจีนที่เก่าแก่ที่สุดชิ้นคือตั้งแต่รัชสมัยของจักรพรรดิหมิงซวนเต๋อ (ค.ศ. 1426 – 1435) โดยใช้เทคนิคคล้ายซอนเน่ (Chinese Cloisonné, 2021) ชาวจีนเรียกเครื่องลงยาสีว่า Fo-lang-kang, Fu-lin-ware Fa-lang หรือ Fa-lan มีอีกชื่อหนึ่งที่เรียกเครื่องลงยาที่สันนิษฐานว่าได้รับมาจากชาวอิสลาม คือ Ta-shin yao ในยุคจักรพรรดิซิงไท่ (ค.ศ. 1450 – 1456) มีความสนพระทัยในงานหล่อสำริด ในสมัยนี้ช่างสามารถคิดค้นการทำสีน้ำเงินที่ได้มาจากโคบอลต์ เป็นงานเครื่องลงยาสี ที่เรียกว่า ฟ่าแห่งซิงไท่ (Chinese Cloisonné, 2021)

ในประเทศญี่ปุ่นยังมีหลักฐานแน่ชัดว่าเกิดขึ้นในสมัยใด แต่พบหลักฐานการลงยาสีจากการขุดค้นหลุมฝังศพใกล้เมืองนารา ซึ่งมีอายุราวศตวรรษที่ 7 ในศตวรรษที่ 8 มีการกล่าวถึงวัตถุโลหะที่ตกแต่งลวดลายด้วยแก้ว จนกระทั่งคริสต์ศตวรรษที่ 15 เอกสารโบราณกล่าวถึงเครื่องลงยาสีซึ่งคาดว่าได้รับมาจากจีนในสมัยราชวงศ์หมิง ต่อมาในคริสต์ศตวรรษที่ 16 คนญี่ปุ่นสามารถผลิตเครื่องลงยาได้เอง โดยการใช้ประดับตกแต่งดาบ เกราะและใช้ตกแต่งอาคาร (สรภัทร สาราพฤษ, 2561) บางเอกสารกล่าวถึงเครื่องลงยาสีฟ้า โดยสันนิษฐานว่าชาวญี่ปุ่นเป็นผู้นำเทคนิคคล้ายซอนเน่สีฟ้านี้เข้าสู่ยุโรป ผ่านเส้นทางสายไหมในราว ศตวรรษที่ 13-14 และพัฒนาอย่างมากใน ศตวรรษที่ 14-17 (กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, 2555 หน้า 4)

## 2. ประวัติศาสตร์งานลงยาสีในประเทศไทย

เครื่องลงยาสีของไทยมีมาแต่ครั้งใดไม่มีหลักฐานแน่ชัด มีผู้สันนิษฐานว่ามีแหล่งกำเนิดในตะวันออกกลางและคนไทยคงได้รับอิทธิพลงานช่างนี้ มาจากชาวอาหรับและชาวเปอร์เซียที่เดินทางเข้ามาติดต่อค้าขายกับสยาม ซึ่งศิลปะเก่าแก่นี้อียิปต์และตะวันออกกลางทำมาก่อนบนเครื่องปั้นเผา ส่วนกรีกและโรมันนิยมทำบนแผ่นโลหะ จากนั้นแพร่เข้ายุโรป สู่จีน ญี่ปุ่น ข้อสันนิษฐานอีกข้อหนึ่งคือคนไทยอาจจะรับอิทธิพลงานช่างนี้มาจากชาวจีนอีกต่อหนึ่ง (นิทรรศการพลังแผ่นดิน อัครรยงานศิลป์แผ่นดินสยาม) เครื่องลงยาปรากฏอยู่ในสังคมไทยนับตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา โดยพบว่าเครื่องลงยาสีเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องราชบรรณาการ ที่สมเด็จพระนารายณ์มหาราชพระราชทานให้แก่พระเจ้าหลุยส์ที่ 14 แห่งฝรั่งเศส และยังพบเครื่องลงยาที่ใช้เป็นเครื่องประดับ และเครื่องราชูปโภคของพระมหากษัตริย์ ในสมัยกรุงศรีอยุธยามีเครื่องใช้เครื่องประดับที่ลงยาจำนวนมาก ระบุว่า ในพุทธศักราช 2184 รัชกาลพระเจ้าปราสาททอง “เถลิงเดือน 10 กำป็นอลิมมัตหว่าลูกค้าเมืองเทศ บรรทุกพรรณผ้าและได้ม้าเทศสูง 2 ศอก 3 นิ้ว เข้ามาถวายสองม้ากับกันหย่นฝักดำถมยา

**ราชาศัพท์**ระดับนพรัตน์เล่มหนึ่ง สิ่งของนอกนั้นเป็นอันมาก” (พินิจนันทมาศ (เจิม)) หรือ **พระตำราเครื่องต้น** สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระดำรงราชานุภาพ ทรงสันนิษฐานว่าแต่งขึ้นในรัชกาลพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราช รัชกาลที่ 1 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ โดยสอบถามจากผู้เคยทำราชการครั้งกรุงศรีอยุธยา กล่าวถึงพระเครื่องต้นที่พระเจ้าแผ่นดินทรงเวลาเสด็จพระราชทานพระกฐินว่า ทองพระกร และรองพระบาท ตกแต่งด้วยลงยาราชาชาติประดับพลอย (กรมศิลปากร, 2539 หน้า 55-56 , 57-59)

ในสมัยรัตนโกสินทร์การทำเครื่องลงยาสีได้รับความนิยมมาก เห็นได้จากเครื่องราชูปโภคที่สร้างขึ้นในสมัยพระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราช รัชกาลที่ 1 นิยมทำด้วยเครื่องลงยาราชาชาติ เช่น พระมหาพิชัยมงกุฎทองคำลงยาประดับเพชร (เป็นหนึ่งในห้าเครื่องเบญจราชกกุธภัณฑ์อันเป็นเครื่องทรงแสดงถึงความเป็นพระมหากษัตริย์) พานพระชั้นหมากใหญ่ พานพระศรีพระแสงดาบ พระแสงกระบี่ นอกจากนี้ยังพบเครื่องลงยาในเครื่องประดับ เช่น สร้อยสังวาลทองคำลงยาประดับเครื่องทรงพระพุทธรูปหิ้งค์ เครื่องทองลงยาดอกแต่งบนฐานพระพุทธรูปหิน พระอัมรินทร์นพรัตน์ เครื่องลงยาราชาชาติบนไม้ประดับคัมภีร์ใบลานกะไหล่ทอง (กะไหล่ เป็นกรรมวิธีเคลือบสิ่งที่เป็นโลหะด้วยเงินหรือทองเป็นต้น โดยใช้ปรอทละลายเงินหรือทองให้เป็นของเหลว แล้วทาลงบนโลหะที่ต้องการเคลือบ จากนั้นไล่ปรอทออกโดยใช้ความร้อน บางครั้งก็เรียกว่า กะไหล่) (ราชบัณฑิตยสถาน, 2556 หน้า 101)

ในสมัยก่อนงานลงยาสีราชาชาติ เป็นสิ่งที่ต้องห้ามสำหรับใช้ในราชวงศ์และชนชั้นกษัตริย์นั้น เนื่องจากในธรรมเนียมราชสำนักไทย พานหมากสวย พระเต้า และบัวนพระโอษฐ์ทองคำลงยาราชาชาติ จะเป็นเครื่องอุปโภคประกอบพระราชอิสริยยศที่สงวนสำหรับขัตติยราชสกุลตั้งแต่พระองค์เจ้าต่างกรมชั้นสมเด็จพระยาขึ้นไป สำหรับพระบรมวงศานุวงศ์ชั้นรองลงมาเครื่องราชอิสริยยศที่เป็นทองคำลงยาราชาชาติจะมีเฉพาะหีบหมากสวยและผอบปรักลงยาเครื่องประกอบภายในพานหมากสวย ส่วนข้าราชการนั้นหากมีบรรดาศักดิ์ยศชั้นเจ้าพระยาจะได้รับพระราชทานผอบปรักลงยาเป็นเครื่องประกอบภายในพานหมากทองคำจำหลัก และหีบหมากลงยาราชาชาติ (มีตราตำแหน่งที่ฝาหีบ) (กรมศิลปากร, 2560 หน้า 135)

อนึ่งคำว่า “ลงยาราชาชาติ” ปัจจุบันจะมีความหมายถึงการลงยาลากสี ซึ่งงานลงยาส่วนใหญ่จะใช้เพียงสีแดงและสีเขียว แต่งานลงยาราชาชาติมักจะพบการลงยาสีฟ้าหรือสีน้ำเงินเพิ่มเติม ปัจจุบันนักวิชาการด้านภาษาศาสตร์กล่าวกันว่า มาจากคำว่า Lajward (ลาจญ์วรรต) ในภาษาเปอร์เซีย หมายถึงรัตนชาติ กิ่งสูงค่าสีน้ำเงินสด (ลาพิสลาซูลี – Lapis lazuli) และเมื่ออาหรับรับคำนี้ไปเสียงเพี้ยนเป็น Lajward หรือ Lazaward และเมื่อเข้าสู่อินโดนีเซียพระเจ้าแผ่นดินชาวองค์หนึ่งทรงแปลงเสียงเป็น Royowerdi แปลว่า สี (werdi) พระราชา (royo) นักวิชาการบางท่านเสนอว่าการลงยาด้วยสีฟ้า นั้น ช่างไทยอาจจะเลียนแบบเครื่องประดับของจีนในสมัยราชวงศ์หมิงตอนปลาย ที่

นิยมประดับบนนกกินปลาหรือนกกระเต็น (Kingfisher) บนเครื่องประดับ สีนี้นี้เป็นสีฟ้าแบบหินเทอค วอยซ์ ซึ่งหินชนิดนี้ชาวจีนนำมาประดับเครื่องใช้ต่าง ๆ ตั้งแต่สมัยราชวงศ์ซาง (1057 – 503 ปีก่อน พุทธศักราช) โดยใช้ประดับทั้งบนสำริดและหยก (กรมศิลปากร, 2560 หน้า 132)



ภาพที่ 4 นพปฎิมารัตนปางมารวิชัย ที่สร้างจากรัตนชาติ ฐานองค์พระพุทธรูปทองคำลงยาราชาวดี อายุราว พุทธศตวรรษที่ 24 เก็บรักษาที่พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พระนคร  
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

ในสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 พระเจ้าบรมวงศ์เธอกรมขุนวรจักรธรานุภาพ ได้รับการแต่งตั้งให้ทรงเป็นผู้กำกับราชการช่างแขนงนี้ เครื่องราชูปโภค เครื่องประกอบยศของเจ้านายและขุนนางต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องประกอบสมณศักดิ์ของพระภิกษุสงฆ์ในสมัยนั้นเป็นเครื่องลงยาราชาวดีเสียเป็นส่วนใหญ่ (กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, 2555 หน้า 5) ต่อมาในสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ (พ.ศ. 2411 – 2453) เป็นยุคที่กระแสวัฒนธรรมตะวันตกเข้ามามีอิทธิพลต่อศิลปวัฒนธรรมไทยในสมัยนั้น ตลอดจนส่งผลมายังราชสำนักไทยด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการพระราชทานเครื่องราชอิสริยาภรณ์แทนการพระราชทานเครื่องราชอิสริยยศที่เคยมีมาแต่โบราณ ปัจจุบันมีการพระราชทานเครื่องประกอบอิสริยยศแก่เจ้านายหรือพระบรมวงศานุวงศ์ชั้นสูงเฉพาะในโอกาสสำคัญที่มีการเลื่อนพระอิสริยยศให้สูงขึ้นและพระราชทานให้ผู้ได้รับพระราชทานเครื่องราชอิสริยาภรณ์จุลจอมเกล้าถ่ายภาพไว้เป็นเกียรติยศเท่านั้น ดังเช่นการพระราชทานเครื่องราชูปโภคเป็นเครื่องประกอบอิสริยยศสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งสำคัญและสูงสุดของเจ้านายชั้นเจ้าฟ้าฝ่ายในที่ไม่เคยปรากฏในรัชกาลก่อน โดยสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีทรงได้รับ

พระราชทานเครื่องประกอบพระราชอิสริยยศตามโบราณราชประเพณีจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในคราวสถาปนาพระราชอิสริยยศและพระราชอิสริยยศศักดิ์ให้สูงขึ้น ในการพระราชพิธีเฉลิมพระชนมพรรษา เมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ตามประวัติกล่าวว่าเครื่องลงยาสีชมพูนี้สร้างขึ้น ในสมัยรัชกาลที่ 5 และเคยโปรดเกล้าฯ พระราชทานประกอบพระราชอิสริยยศสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี พระบรมราชินี ในรัชกาลที่ 7 มาก่อน (สุริยวุฒิ สุขสวัสดิ์, 2539 หน้า 81-82) ลักษณะเครื่องราชูปโภคทองคำลงยาสีชมพู ในเครื่องประกอบพระราชอิสริยยศสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นเครื่องราชูปโภคทองคำลงยาสีชมพูที่มีความสวยงามเฉพาะตัว ลวดลายที่ใช้ในการลงยา มี 3 แบบ ได้แก่ ลายเครือเถาดอกกรำเพยและผลทับทิม ลายเถาดอกไม้ใบไม้ และลายก้านต่อดอกไม้ใบเทศ

ที่มาของการลงยาสีชมพูมาจากความต้องการเพิ่มสีสันให้กับเครื่องทองแทนการประดับอัญมณี ซึ่งก่อนสมัยอยุธยาใช้อัญมณีประดับตกแต่งโดยการขึ้นกระเปาะรูปก่อนฝังอัญมณีหรือหินสีที่เครื่องทอง แต่เนื่องจากอัญมณีเป็นของหายากมีราคาสูง ในสมัยอยุธยาเมื่อมีการติดต่อค้าขายกับต่างชาติอาหรับและเปอร์เซียจึงนำเทคนิคการลงยาสีมาใช้ในการประดับเครื่องทองแทน โดยพบหลักฐานเก่าที่สุดในสมัยอยุธยาตอนต้น จากกรุเครื่องทองวัดมหาธาตุ ในระยะแรกเริ่มอาจใช้หินสีมีค่าหรือกึ่งมีค่า แต่ต่อมามีราคาแพงจึงเปลี่ยนมาใช้แก้วสีต่าง ๆ มาบดละเอียดแล้วความร้อนจากการเผาไฟช่วยหลอมละลายมาประดับบนลวดลายให้เกิดความสวยงาม กลายเป็นงานเครื่องทองลงยา โดยสีแดงและสีเขียวเป็นสีที่นิยมใช้ในระยะแรก ต่อมามีสีขาว สีน้ำเงินและสีฟ้าหรือที่เรียกว่าลงยาสีราชาวดี ซึ่งเป็นสีที่เกิดขึ้นและนิยมในสมัยต้นรัตนโกสินทร์ (พิพิธภัณฑ์เหรียญษาปณารักษ์ โดยกรมธนารักษ์)



ภาพที่ 5 ซองพลุทองคำลงยาสีชมพูลายช่อดอกกรำเพย สำหรับใส่ใบพลุและพลุจีบ จัดทำสีตามพระราชนิยมในรัชกาลที่ 5

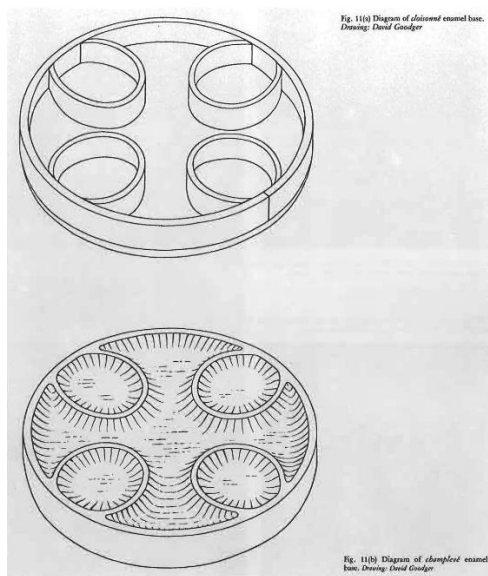
ที่มา : กรมธนารักษ์, ทรัพย์สินมีค่าของแผ่นดินในพระราชพิธีโสกันต์, 2557, 141.

สำหรับยาสีชมพูน่าจะมาจากยาสีแดงผสมกับยาสีขาว จึงทำให้ยาสีออกเป็นสีชมพู ซึ่งยาสีชมพูมักพบในเครื่องทองที่มีประวัติว่าสร้างขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 หรือเครื่องทองที่มีอิทธิพลจากตะวันตก สันนิษฐานว่าเครื่องทองลงยาสีชมพูเป็นที่นิยมในรัชสมัยนั้นและถูกจำกัดใช้ในราชสำนักเท่านั้น โดยพระราชทานเป็นเครื่องประกอบอิสริยยศเจ้านายในระดับชั้นเจ้าฟ้าหรือเจ้านายชั้นสูงมาตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาสืบเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนอาจเป็นสีที่ทรงโปรดปราน ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในงานศิลปกรรมที่สร้างขึ้นในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เนื่องจากเป็นสีประจำวันอังคารซึ่งเป็นวันพระบรมราชสมภพ ถือว่าเครื่องทองลงยาสีชมพูเป็นเอกลักษณ์ของเครื่องทองสมัยรัตนโกสินทร์ที่เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 ทั้งยังสะท้อนให้เห็นถึงพัฒนาการของงานช่างทองในราชสำนักสยาม และแสดงให้เห็นการรับอิทธิพลตะวันตกเข้ามาปรับใช้ในงานช่างศิลป์ของไทยได้อย่างลงตัว (ราชบัณฑิตยสถาน, 2541)

เครื่องโลหะลงยาในสมัยโบราณที่พบในประเทศไทยนั้น สามารถเทียบเคียงกับเทคนิคการลงยาของตะวันตกและจีนได้ 2 เทคนิค คือ

**1. คลัวซอนเน่ (Cloisonné)** คือ กรรมวิธีการลงยาโดยใช้เส้นทองหรือทองแดงเดินลายพื้นโลหะไว้ก่อน แล้วหยอดน้ำยาแต่ละสีลงตามร่อง นำไปอบแล้วฉูดผิวจนเห็นเส้นสันขอบโลหะ วิธีลงยาแบบนี้นิยมทำในสมัยจักรวรรดิไบแซนไทน์ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2541 หน้า 104) ต่อมาศิลปะนี้แพร่เข้ามาในจีนสมัยราชวงศ์หยวน ในพุทธศตวรรษที่ 20 แล้วเจริญขึ้นอย่างมากในสมัยราชวงศ์หมิง เข้าใจว่าในสมัยกรุงศรีอยุธยาคงจะใช้เครื่องลงยาแบบนี้ด้วย เพราะมีการพบชิ้นน้ำลงยาแบบคลัวซอนเน่ในแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แต่ส่วนใหญ่ชำรุด ตัวยาที่ถมไว้กระเทาะออกหมด จึงพบแต่ตัวภาชนะที่ยังมีเส้นลวดขดติดอยู่ (ณัฐภัทร จันทวิช, หน้า 166)

**2. ของเปลอเว่ (Champlevé)** คือ กรรมวิธีการลงยาโดยการทำแผ่นพื้นโลหะให้เป็นร่องบุกลงไป แล้วหยอดน้ำยาลงในร่องเหล่านั้นเป็นสีต่าง ๆ ตามลวดลายแล้วนำไปอบ หลังจากนั้นถึงฉูดผิวลงยาที่แข็งนูนออกทีละน้อยจนเห็นเส้นขอบโลหะของเดิม (กรมศิลปากร, 2560 หน้า 131)



ภาพที่ 6 ลายเส้นที่แสดงให้เห็นถึงเทคนิคฐานรองรับแบบคล้ายช้อนเน้ (ภาพบน) และช่องเปลวเว่ (ภาพล่าง) วาดโดย David Goodger

ที่มา : David Buckton, Enamelling on Gold : A Historical Perspective, The British Museum, London, U.K., 108.

### 3. เทคนิคต่าง ๆ ของยาสี

การลงยาสีเป็นการตกแต่งผิวชิ้นงานบนเครื่องประดับ หรือข้าวของเครื่องใช้ที่ทำด้วยโลหะต่าง ๆ เช่น ทองคำ เงิน ทองแดง การลงยาสีที่ใช้ในอดีตจนถึงปัจจุบันแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ การลงยาสีร้อน (Vitreous Enamel) และยาสีเย็น (Cold Enamel) โดยปกติแล้วยาสีแบ่งการใช้งานเป็นสองลักษณะ คือยาสีสำหรับการลงยารองพื้นหลัง ตัวยาสีมีกาผสมอยู่เพื่อให้ยึดติดกับผิวโลหะเป็นตัวกลางระหว่างเนื้อยาเคลือบผิวหน้ากับเนื้อโลหะ และยาสีสำหรับเคลือบผิวหน้าติดผิวโลหะโดยไม่ต้องใช้ยาสีรองพื้น ซึ่งการรวบรวมเทคนิคการลงยาสีจะจำแนกได้ ดังนี้

#### 3.1 ยาสีแบบร้อน (Vitreous Enamel) ("The History of Enamel Jewelry," 2021)

ยาสีร้อน (Vitreous Enamel) คำนี้มีความหมายถึงการหลอมผงแก้วที่ทำขึ้น ผสมน้ำให้มีลักษณะเหนียวคล้ายแป้งเปียก นำไปทาหรือพ่นทั่วผิวโลหะ จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $500^{\circ}\text{C}$ – $1400^{\circ}\text{C}$  ขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่ใช้ โดยทั่วไปในท้องตลาดมักพบยาสีที่ใช้ความร้อนในการหลอมอยู่ระหว่าง  $750^{\circ}\text{C}$  –  $850^{\circ}\text{C}$  หรือ  $1,382^{\circ}\text{F}$  และ  $1,562^{\circ}\text{F}$  จุดหลอมเหลวของยาสีต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะ แก้วจะไหลเคลือบบนผิวโลหะจนเต็มชิ้นงาน เมื่อแข็งตัวมีผิวเรียบเนียนเป็นเนื้อแก้วหลอมชั้นเดียวหรือหลายชั้นได้ ทั้งนี้การหลอมละลายที่สมบูรณ์ของเนื้อยาสีแต่ละสี มีความ

แตกต่างกันและสีที่ได้แต่ละครั้งมีโอกาสแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ เพราะสารที่ผสมอยู่ในเนื้อยาสีบางตัวเกิดในธรรมชาติจึงไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้

ยาสีร้อน มีเทคนิคการลงยาสีบนชิ้นงานอย่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับแนวคิดและวัตถุประสงค์ของการ สร้างสรรค์ชิ้นงาน ในปัจจุบันการลงยาสีเทคนิคต่าง ๆ มีชื่อเรียกต่างกันมากกว่า 25 เทคนิค ช่วงที่เชี่ยวชาญต้องผ่านประสบการณ์ทดลองหาอุณหภูมิที่ถูกต้องในการหลอมละลายยาสี เนื่องจากยาสีร้อนใช้ระยะเวลาในการหลอมละลายไม่เท่ากัน การอบยาสีหรือการเผายาสี เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของงานยาสี ผู้ลงยาสีจำเป็นต้องศึกษายาสีว่าเป็นชนิดแข็ง (ไฟสูง) หรืออ่อน (ไฟกลางหรือไฟต่ำ) และต้องคำนึงถึงความหนาของโลหะที่ใช้กับขนาดของชิ้นงาน เทคนิคการลงยาสีร้อนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีหลักการตกแต่งชิ้นงานโลหะที่แตกต่างไป เทคนิคที่นิยมกันมี 10 เทคนิค ดังนี้

**3.1.1 เทคนิคลัวซอนเน่ (Cloisonné)** คือ การนำเส้นลวดโลหะกั้นขอบช่องสี เชื่อมเป็นลวดลายบนผิวหน้าชิ้นงานที่จะลงสีและริมขอบขอบชิ้นงาน ซึ่งเป็นเทคนิคที่เก่าแก่ที่ใช้เส้นลวดทองแดงชนิดกลมหรือแบน ที่มีความสูงความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ตัดเป็นลวดลายตาม ที่ออกแบบไว้ ตัดลงบนชิ้นงานโลหะที่ลงยาสีแล้วด้วยการชนิดเข้มข้น งานลงยาสีลัวซอนเน่ มีลักษณะความนูน 3 แบบ ได้แก่ แบบผิวเว้า คือการยาสีในแต่ละช่องมีผิวตรงกลางต่ำกว่าลวดกั้นลาย แบบผิวนูน คือการยาสีในแต่ละช่องนูนสูงกว่าขอบลวดกั้นช่อง ทำให้รู้สึกคล้ายงานปั้น งานของไทยและจีนใช้วิธีนี้นักันมาก และแบบผิวเรียบคือ เทคนิคผิวเรียบเป็นที่นิยมที่สุดเป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากในยุโรป ตะวันออกกลางและเอเชีย ตะวันออก หลังเผายาสีใช้หินขัดให้ผิวยาสีมีระนาบเดียวกับลวดกั้นช่องลาย มีกรรมวิธีขัดผิวขั้นสุดท้าย 3 วิธี ได้แก่ ผิวด้าน ขัดด้วยกระดาษทรายน้ำให้พื้นผิวเนียนแบบซาติน เคลือบด้วยซีฟิ่ง พบในงานยาสีเยอรมัน ผิวกึ่งเงาขัดหินแล้วเจียรระโนและขัดเงาด้วยผงขัดละเอียดกรรมวิธีเดียวกับการเจียรระโนพลอยหลังเป็ย และผิวมันเงาจากการเผาชั่วแวบ (Flash firing) หลังขัดหินนำชิ้นงานมาเผาให้ขึ้นเงาอีกครั้งอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 7 แสดงเส้นลวดที่กั้นยาสีเทคนิคลัวซอนเน่ โดยช่างฝีมือชาวจีน



ที่มา : Chinese Cloisonne, a Unique Art Form in China, accessed March 29, 2022, available from <https://www.chinaexpeditiontours.com/blog/chinese-cloisonne-a-unique-art-form-in-china/>

**3.1.2 เทคนิคของเปลอเว่ (Champlevé)** เป็นภาษาฝรั่งเศส เป็นการลงยาลงบนฐานโลหะที่แกะสลัก เซาะลายเป็นร่อง ให้มีลักษณะเป็นหลุมเพื่อใส่ยาสีชนิดโปร่งแสง ยาสีมีน้ำหนักสีไม่เท่ากันบนชิ้นงานตามความลึกของลวดลายที่ทำไว้ ยุโรปยุคกลางเชี่ยวชาญเทคนิคนี้ เป็นเทคนิคการลงยาสีลงในช่องลายที่เกิดจากการเคาะขึ้นรูป การตอกลาย การแกะลาย การใช้สิ่วสกัดแผ่นโลหะให้พื้นยุบลง หรือการกัดกรด เติมยาสีโปร่งใสและทึบแสงช่องให้เสมอกัน ซึ่งหากต้องการให้แต่ละลายลงยาสีที่มีสีต่างกัน ต้องใช้เส้นลวดโลหะเส้นบาง ๆ กันแบ่งช่องไว้ นำไปอบให้ความร้อน



ภาพที่ 8 ปลอกแขนสมัยศตวรรษที่ 12 การลงยาแบบ Champlevé พบการชำรุดที่แสดงให้เห็นถึงเทคนิคการแกะโลหะให้เกิดร่อง

ที่มา : <http://www.visual-arts-cork.com/definitions/champleve.htm>

**3.1.3 เทคนิคบาสเต-ทอลล์ (Basse-taille)** มาจากรากศัพท์ภาษาฝรั่งเศสแปลว่าตัดต่ำ คล้ายเทคนิคของเปลอเว่ ต่างกันที่การลงยาสีจะเคาะขึ้นรูปโลหะเป็นลักษณะงานนูนต่ำ การแกะเส้นใช้สิ่วสกัดแกะสลัก ตอกพิมพ์ กัดกรด สลักดุน หรือใช้หลายเทคนิคประกอบกัน จากนั้นลงยาสีชนิดโปร่งแสง หรือ โปร่งใส เคลือบทั่วพื้นผิวบาง ๆ แล้วเผา ทำซ้ำจนได้ยาสีทับกันหลายชั้น ยาสีไหลจากส่วนนูนสูง ด้านบนลงลึกเข้าไปในรอยสลัก เกิดน้ำหนักสีแก่อ่อนสร้างมิติของสีให้กับงาน



ภาพที่ 9 การตกแต่งแผ่นโลหะเงิน สมัยศตวรรษที่ 14 แบบ Basse-taille

ที่มา : <https://scammellauctions.com.au/basse-taille-a-technique-to-mystify/>

**3.1.4 เทคนิคสกราฟิตโต (Sgraffito)** การขูดขีดลาย หลังการเผาयाสีเป็นพื้นหลัง โรยผงยาสีทับสีที่ขีดขูด เป็นสีตรงข้ามหรือสีตัดกัน ใช้เหล็กปลายแหลม ขูดเบา ๆ ทำลวดลายบนผิวหน้าผงยาสี ขจัดส่วนเกินออก จากนั้นจึงนำไปเผา



ภาพที่ 10 ชามเคลือบหลากสีด้วยเทคนิค Sgraffito ยุค Anatolian Seljuk ศตวรรษที่ 13

ที่มา : <https://archaeotravel.eu/war-and-peace-of-ur/> Osama Shukir Muhammed Amin FRCP(Glasg)

**3.1.5 เทคนิคงานเขียนสี (Painted enamel)** หรือการลงยาสีแบบลิโมจส์ (Limoges enamel) ซึ่งเป็นชื่อเมืองศูนย์กลางงานยาสีแก้วของยุโรปที่อยู่ในฝรั่งเศส เชี่ยวชาญงานลงยาแบบเขียนสีลงบนผิวโลหะที่เรียบเนียน เเผาเคลือบโลหะทั้งแผ่นเป็นพื้นด้วยยาสี จากนั้นใช้ยาสี

ละเอียดสูง ขนาด 325 เมช ขึ้นไป ผสมน้ำมันกฤษณาแล้วเขียนบนชิ้นงานที่ลงพื้นไว้แล้ว แล้วนำไปเผา คล้ายการวาดบนแก้วหรือดินเผา เหมือนการระบายสีภาพด้วยสีน้ำ ทั้งนี้ต้องเผาก่อนลงยาสีชั้นใหม่เพิ่มที่ละชั้นจึงนำเข้าเตาอบอีกครั้งหนึ่ง แยกออกเป็นชั้น ๆ

- กริเซลล์ (Grisaille) ภาษาฝรั่งเศสหมายความว่า เป็นสีเทา เผาลงยาสีพื้นหลังด้วยสีดำ หรือสีน้ำเงิน ใช้สีสีขาวโปรงแสงความละเอียดสูง ขนาด 325 – 400 เมช ผสมเข้ากับน้ำมันบางชนิด (น้ำมันกฤษณา) จากนั้นใช้ฟู่กันขนละเอียดอย่างดีระบายยาสีเป็นชั้นบาง ๆ วาดลวดลายโทนสีเดียว มิติของแสงเงาเกิดจากความหนาบางของเนื้อสี เนื้อหนา ขึ้นแสงถึงแสงสว่างขึ้น กริเซลล์ และลิโมจส์ เป็นศัพท์เฉพาะของการเขียนสีบนโลหะ



ภาพที่ 11 งานเคลือบเทคนิคเขียนสี แบบ Grisaille, Jean de Court, ค.ศ. 1560

ที่มา : <https://collections.lacma.org/node/229424>

**3.1.6 เทคนิคพลิก กาจู (Plique-à-jour)** ภาษาฝรั่งเศส หมายถึง เปิดสู่แสงตะวัน หรือแสงแห่งวัน เป็นการลงยาสีโปรงใสหรือโปรงแสง ในช่องแบบเดียวกับที่ทำลวดชอนเน่ แต่ไม่มีพื้นรองรับด้านหลังของบริเวณที่ลงยาสี ทำให้แสงส่องผ่านได้ เหมือนกับงานกระจกสีสแตนกลาส ยาสีที่ใช้ต้องเป็นชนิดโปรงแสง หรือโปรงใสเท่านั้น เป็นการลงยาสีบนลวดลายที่เกิดจากการฉลุเจาะและนำไปอบให้ความร้อน ในญี่ปุ่นใช้แผ่นทองแดงรองด้านหลังแล้วใช้กรดกัดทองแดงออกให้ด้านหลังโปรง เพื่อให้แสงทะลุผ่านได้



ภาพที่ 12 ชามลงยาแบบ pique-a-jour บนฐานเงินลวดลายดอกเบญจมาศลอย

โดย Namikawa Sosuke ยุคเมจิ ค.ศ. 1900

ที่มา : <https://art.thewalters.org/detail/29146/bowl-with-chrysanthemum-blossoms/>

**3.1.7 เทคนิคฟลินเก้ (Flinque)** เทคนิคขูดขีดลวดลายสม้าเสมอเป็นรูปแบบซ้ำ ๆ เช่นลายเรขาคณิต ลายน้ำ ลายคลื่น และอื่น ๆ บนพื้นผิวชิ้นงานโลหะ ด้วยมือหรือเครื่องจักรก่อนนำไปเคลือบด้วยยาสีชนิดโปร่งแสงหรือโปร่งใส



ภาพที่ 13 การลงยาสีหน้าปัดนาฬิกา ด้วยเทคนิค Flinque

ที่มา : A Quick Guide to Enamel Dials used in Watchmaking, accessed March 30, 2022, available from <https://watchtime.me/the-knowledge/article/1423/a-quick-guide-to-enamel-dials-used-in-watchmaking>

**3.1.8 เทคนิครอง-โบสส์ (Ronde bosse)** ภาษาฝรั่งเศส แปลว่าห่อหุ้มโดยรอบ เป็นการลงยาลักษณะสามมิติ บนชิ้นงานทั้งชิ้นหรือบางส่วน



ภาพที่ 14 ตราเครื่องแบบ The Dunstable Swan Jewel ปี ค.ศ. 1400 เทคนิค Ronde bosse  
ที่มา : [https://www.britishmuseum.org/collection/object/H\\_1966-0703-1](https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1966-0703-1)

**3.1.9 เทคนิคสแตมป์ (Stenciling)** เจาะช่องตามลายบนแบบกระดาษ วางแบบบนโลหะ โรยผงยาสีผ่านตะแกรงให้ทั่วผิวด้านหน้า (ใช้ยาสีผงแห้ง) หลังจากนั้นยกกระดาษลายขึ้น ยาสีติดบนผิวชิ้นงาน กำจัดยาสีส่วนเกินออกก่อนนำไปเผา หลังการเผาเนื้อยาสีมีความนูนขึ้นจากพื้นหลังเล็กน้อย



ภาพที่ 15 แสดงกระบวนการลงยาสี ด้วยเทคนิค Stenciling  
ที่มา : Enameling Tutorial III: Stencils, accessed March 30, 2022, available from <http://copperheartdesigns.blogspot.com/2008/09/enameling-tutorial-iii-stencils.html>

**3.1.10 เทคนิคเซริกกราฟ (Serigraph)** ลงยาสีเป็นลวดลายด้วยการปาดยาสีผ่านผ้าไหมช่องความถี่ 60-70 mesh เหมือนเทคนิคซิลค์สกรีน ยาสีมีความละเอียดมากเป็นพิเศษ



ภาพที่ 16 ภาพ “Casa dolce” โดยศิลปิน Mario Schifano เทคนิค enamel serigraph  
ที่มา : Mutualart, accessed March 30, 2022, available from <https://www.coinstree.com/listing/mario-schifano-1934-1998-casa-dolce1997/11843>

### 3.2 เทคนิคการลงยาสีแบบเย็น (Cold Enamel) (สรภัทร สารภาพุช, 2561)

การลงยาสีแบบเย็น (Cold Enamel) เป็นการลงยาสีโดยยาเย็นที่มากับรูปแบบผงหรือของเหลวโดยใช้สารผสมของสารอะคริลิก มีคุณสมบัติคล้ายกาวที่เรียกว่า อีพอกซี ผสมสารสีต่าง ๆ บนโลหะ โดยใช้ความร้อนเพียงเล็กน้อยคือ  $50^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$  หรือไม่ใช้ความร้อนเลย แบบผงเช่น Ecolor ทำงานในลักษณะเดียวกันกับการเคลือบแบบดั้งเดิม แต่ต้องใช้ความร้อนต่ำในการหลอมเท่านั้น สีมืดความแข็งแรงมากและไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการให้ความร้อน น้ำยาเคลือบเย็นมักจะทำมาจากอีพอกซีเรซินและประกอบด้วยฐานสีและสารเพิ่มความแข็งที่แยกจากกัน ซึ่งเมื่อผสมเข้าด้วยกันจะเกิดเป็นชั้นทึบ สารเคลือบชนิดนี้ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้แห้ง และจะแห้งสนิทภายในเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ต้องใช้ความระมัดระวังเช่นเดียวกับเรซินทั้งหมด และบางชนิดอาจมีควันที่เข้มข้นออกมา ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี อีพอกซีอีนาเมลมีอยู่มากมายในท้องตลาด สามารถสร้างเอฟเฟกต์ต่าง ๆ ได้อย่างไม่จำกัด โดยตัวยาสีเย็นทุกสีจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีคล้ายกัน มีทั้งลักษณะทึบแสง โปร่งแสงและโปร่งใส สามารถควบคุมสีที่ได้อย่างสม่ำเสมอไม่ยากนัก ยาสีเย็นมีคุณภาพแตกต่างกันหลายระดับ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ใช้ สำหรับเทคนิคการติดแผ่นแก้วด้วยกาวซีเมนต์บนของใช้หรือเครื่องประดับ นับเป็นอีกวิธีหนึ่งของการลงยาสีเย็น

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับงานลงยาสีเย็น ต่างจากการลงยาสีร้อน การทำงานบางขณะต้องสวมถุงมือ (ยางพารา) ป้องกันผิวหนังสัมผัสกับน้ำยาอะซิโตนที่เป็นตัวทำละลาย และป้องกันการสัมผัสกับชิ้นงานซึ่งอาจจะทำให้เป็นรอยหรือเป็นคราบไขมัน สำหรับอุปกรณ์ในการหยอด

ยาสีสามารถใช้พู่กัน เข็มฉีดยา หรือก้านไม้แต่งปลายให้เหมาะกับขนาดชิ้นงานในการหยอดยาสี และอุปกรณ์ในการซั่ง ตวง วัดปริมาณน้ำยาให้พอเหมาะตามปริมาณที่กำหนดสำหรับการผสมสี ใช้ไม้พาย ขนาดเล็กคนส่วนผสมไปในทิศทางเดียวกัน ระวังการเกิดฟองอากาศในขณะที่คนส่วนผสมให้เข้ากัน และความหนืดของน้ำยาที่มากเกินไปจะทำให้ผิวหน้ายาสีเป็นคลื่นได้

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงและเป็นหลักปฏิบัติในการทำงานลงยาสี คือ ความสะอาด เริ่มจาก ห้องที่ทำงานลงยาสี ต้องเป็นห้องเฉพาะมีแสงสว่าง ระบายอากาศได้ดี มีความสะอาดมาก ไม่มีฝุ่น ละออง ภาชนะ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือรวมถึงชิ้นงานและยาสีต้องจัดเก็บอย่างสะอาดและเป็นระเบียบ ระบายอากาศได้ดี ไม่ทำงานร่วมกับห้องขึ้นรูปหรืองานอื่น ๆ



ภาพที่ 17 วัสดุอุปกรณ์การลงยาสีเย็นแบบผง EF Color

ที่มา : The Bench From Cooksongold, เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2565, เข้าถึงจาก <https://www.cooksongold.com/blog/learn/focus-on-enamelling/>



ภาพที่ 18 วัสดุอุปกรณ์การลงยาสีเย็นแบบเหลว

ที่มา : เรซินเอสเจไทยแลนด์, เข้าถึงเมื่อ 30 มีนาคม 2565, เข้าถึงจาก <https://resinsjthailand.com/products>

#### 4. กระบวนการผลิตยาสีร้อน (Vistrous Enamel)

ยาสีเกิดจากสารซึ่งเป็นทรายมีจุดหลอมเหลวไม่สูง มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ผสมสารอื่น เช่น โบรอนออกไซด์ ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ไททาเนียมออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ), ฟลูออไรด์บางชนิด (Fluoride) และออกไซด์ของต่างอัลคาไลน์ ตะกั่ว สังกะสี สีของยาสีทำได้จากการเพิ่มแร่หรือสารอื่น ๆ เข้าไป จำพวกออกไซด์ของโลหะ เช่น โคบอลต์ แร่เพรซีโอดีเมียม (Praseodymium) และนีโอโดเมียม (Neodymium) เป็นต้น (กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, 2555)



ภาพที่ 19 การผลิตยาสีร้อน (Vistrous Enamel)

ที่มา : La fabrication des émaux soyer, accessed April 30, 2022, available from <https://www.emaux-soyer.com/fr/presentation/societe.html>

การผลิตยาสี ทำได้จากการนำส่วนผสมประกอบผสมในอัตราส่วนตามสูตร ใส่เข้าหลอมให้ความร้อนสูงที่ อุณหภูมิ 2,200 °F (1,205 °C) ราวสองสามชั่วโมง จะได้แก้วเหลวหลอมละลายเหนียวข้น ซ็อกแก้วด้วยการเทลงในน้ำเย็นหรือบนแท่นเหล็กกล้าทันที แก้วแข็งตัวแล้วแตกเป็นก้อน บดก้อนแก้วด้วยลูกกลิ้งเหล็กกล้าให้เป็นผงละเอียดก่อนนำมาใช้งาน ยาสีผงละเอียดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน วัดขนาดผงยาสีด้วยการร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานสหรัฐอเมริกา มีหน่วยความละเอียดเท่ากับ 80 เมช (0.0070 นิ้วหรือ 177 ไมครอน) ผงยาสีปรกติมี 3 ขนาด ได้แก่ 80 เมช, 150 เมช และ 325 เมช ซึ่งเป็นขนาดสำหรับงานจิตรกรรมเขียนสี





ภาพที่ 20 ก้อนยาสีที่ผ่านกระบวนการหลอม เป็นส่วนผสมของแก้ว (ซิลิกอนไดออกไซด์) กับสีจากแร่ และโลหะออกไซด์

ที่มา : Introduction to vitreous enamel, accessed April 30, 2022, available from <https://enamelworkshop.com/introduction/>

เราไม่สามารถผสมยาสีต่างสีเพื่อทำให้เกิดสีใหม่เหมือนสีเขียนภาพ เนื่องจากหลังการเผา จะได้จุดสีละเอียดของทั้งสองสีผสมกัน แม้การบดจนเป็นผงละเอียดเป็นแป้ง อาจหลอกสายตาได้ก็ตาม ปัจจุบันยาสีเคลือบมีการควบคุมความหนากับการขยายตัวให้เข้ากันได้กับโลหะ ความคงทนถาวรทำให้ เหมาะกับการใช้งานหลายรูปแบบ ยาสีร้อนมีคุณสมบัติที่น่าสนใจคือ มีผิวสวยงามเรียบเนียน สีไม่ซีดด้วยรังสียูวี ช่วยป้องกันผิวโลหะจากการกร่อน มีความแข็ง คงทนต่อการขีดข่วนได้ถึงระดับ 5 - 6 โมห์สเกล ทนสารเคมี ทำความสะอาดง่าย ไม่ไหม้ไฟ ข้อดีของยาสีคือ แดงง่าย กระแทง่ายเมื่อถูกกระแทกบดหรืออ

ชนิดของยาสีร้อน มีทั้งแบบมีสีและไม่มีสี โดยเนื้อของยาสี สามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ

1. ยาสีชนิดโปร่งใส (Transparents) หมายถึงยาสีมีความใสมากจนเห็นพื้นหลังของโลหะที่รองรับอยู่
2. ยาสีชนิดโปร่งแสง (Translucides) หมายถึง ยาสีมีความใส แสงส่องผ่านแต่ไม่สามารถมองเห็นผิวที่รองรับด้านหลัง
3. ยาสีชนิดทึบแสง (Opacues) ยาสีมีความมันวาวเฉพาะผิวหน้าและไม่สามารถมองเห็นเนื้อยาสีได้เลย หรือ เหลือบสีรุ้ง

ข้อมูลจากโครงการศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้งานยาสี กาญจนานิเชกวิทยาลัย ช่างทองหลวง (2555) กล่าวถึง อุณหภูมิการหลอมเหลวที่ต่างกันของยาสี แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ผู้วิจัยได้รวบรวมทำเป็นตาราง ดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของยาสี

ชนิดยาสี	อุณหภูมิ	หมายเหตุ
ยาสีเผาไฟสูง (Hard-fusing enamels)	816 °C – 843 °C (1,500 °F – 1,550 °F)	ส่วนใหญ่เป็นแก้วใสไม่มีสี
ยาสีเผาไฟกลาง (Medium-fusing enamels)	788 °C – 816 °C (1,450 °F – 1,500 °F)	กลุ่มนี้มียาสีให้เลือกใช้มากที่สุดในตลาดยาสี
ยาสีเผาไฟอ่อน (Soft-fusing enamels)	760 °C – 788 °C (1,400 °F – 1,450 °F)	
ยาสีเผาไฟต่ำ (Low-fire enamels)	510 °C – 566 °C (950 °F – 1,050 °F)	ยาสีชนิดนี้ผลิตเพื่อใช้กับอลูมิเนียม เงิน สเตอร์ลิง เหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็ก สเตนเลสและทองเหลือง

สรภัทร สารภาพุช (2561) กล่าวถึง เครื่องลงยาสีพบว่าได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย มีหลายบริษัทที่ผลิตยาสีและมีเฉดสีที่หลากหลายมากขึ้นกว่าในสมัยโบราณ ดังนั้นในการแบ่งเฉดสีก็มักจะถูกกำหนดในลักษณะเบอร์ หรือตัวเลข เช่น สีแดงเบอร์ 30 สีเขียว เบอร์ 41 เป็นต้น ชิ้นงานที่เป็นลักษณะรูปแบบไทยดั้งเดิมสีที่มักจะถูกใช้ก็จะเป็นสีตามแบบฉบับโบราณ นั่นคือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีฟ้า สีขาวขุ่น และสีชมพูขุ่น ยาสีที่พบในเครื่องโลหะไทยโบราณ ไม่สามารถระบุเบอร์ของสีแบบเจาะจงได้ว่าสีโบราณใช้สีเบอร์อะไรบ้าง เหตุเพราะยาสีของโบราณได้ผ่านกาลเวลามาเป็นร้อยปี สีที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเหล่านั้นก็อาจเป็นสีที่ผิดเพี้ยนไป ซึ่งยาสีสามารถหาซื้อได้จากแหล่งที่นำเข้ายาสีจากต่างประเทศ เช่น ย่านวัดเกาะ ย่านบ้านหม้อ หรือย่านวงเวียนใหญ่

สำหรับการเกิดสีในยาสี อ้างจาก ปฐมาภรณ์ ประพิศพงศวานิช (2557: 29) ว่าการเกิดสีที่อยู่ในแก้วเกิดจากการเติมสารอนินทรีย์ในกลุ่มออกไซด์ของโลหะลงไปในปริมาณที่มากหรือน้อย หรืออาจเติมเพียงสารชนิดเดียวหรืออาจหลายชนิดก็ได้ แล้วนำมาหลอมรวมกัน ก็จะได้สีที่อยู่ในแก้ว (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเกิดสีของแก้วจากสารอนินทรีย์ร่วมกับออกไซด์ของโลหะแต่ละชนิด

สารอนินทรีย์ที่ใช้	สีที่ปรากฏ
โลหะเงิน (Ag)	สีเหลือง
ทองแดงออกไซด์ (CuO)	สีเขียวและสีน้ำเงิน
ทองแดง (Cu)	สีแดงทับทิม
แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)	สีเหลือง

แคดเมียมซัลไฟด์ผสมซีลีเนียม (CdS & Se)	สีแดงสดและสีส้ม
โลหะซีลีเนียม (Se)	สีชมพู แดง และน้ำตาลแดง
โลหะไทเทเนียมและซีเรียมออกไซด์ (Ti & Ce)	สีเหลือง
กำมะถัน (S)	สีเหลืองอำพัน
กำมะถันกับตะกั่ว (Pb)/เหล็ก (Fe)/นิกเกิล (Ni)/โคบอลต์ (Co)	สีดำเข้ม
เหล็กออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	สีน้ำเงิน เขียวและเหลืองอำพัน
แมงกานีสออกไซด์ (MnO <sub>2</sub> )	สีเหลืองอำพัน
โครเมียมออกไซด์ (CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	สีเขียว
นิกเกิลออกไซด์และโคบอลต์ออกไซด์ (NiO, Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> & CoO, Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	สีน้ำตาล ม่วง และน้ำเงินเข้ม

ข้อมูลตาราง (ปฐมภรณ์ ประพิศพงค์วานิช, 2557, 29)

## 5. ขั้นตอนการผลิตเครื่องทองลงยาราชาวดี

เครื่องลงยาสีและเครื่องลงยาราชาวดี เป็นงานประณีตศิลป์ชั้นสูง มีค่า มีราคาแพงและมีกระบวนการที่ซับซ้อน ประกอบไปด้วยวัสดุทองคำและการตกแต่งด้วยยาสี โดยผงหินสีที่ได้จากแร่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ กรรมวิธีการลงยาสีนั้นช่างไทยได้รับแบบแผนมาจากชาวต่างชาติที่มาติดต่อค้าขายหรือมาตั้งถิ่นฐานในไทยตั้งแต่สมัยอยุธยา สืบทอดเรื่อยมาจนถึงรัตนโกสินทร์ ด้วยความชำนาญในการขึ้นรูปโลหะต่าง ๆ ของช่างไทยที่มีความประณีตและมีความรู้ความเข้าใจในการปรับเทคนิคที่ได้รับมาจากชาวต่างชาติ จนนำมาสร้างสรรค์งานมีอัตลักษณ์รูปแบบเฉพาะตน ในขั้นตอนของการทำเครื่องลงยาราชาวดี มีกรรมวิธีคล้ายเครื่องถม ใช้แร่หรือวัสดุสีบางชนิด มาบดห่อมละลายแล้วเคลือบหรือทาลงในช่องที่แกะลวดลาย ทำลงบนโลหะได้มากกว่างานถม คือได้ทั้งบนเนื้อเงิน ทองคำ ทองแดง และนาก เป็นต้น เทคนิคในการผลิตเครื่องทองลงยาราชาวดี มีกระบวนการขั้นตอนพอสังเขป ดังนี้คือ (โครงการสืบสานมรดกวัฒนธรรมไทย, 2552 หน้า 435-443)

**5.1 การขึ้นรูป** คือ การนำโลหะมาหลอมละลายและรีดเป็นแผ่น ตัดแผ่นโลหะ เพื่อนำมาขึ้นรูป ให้ได้รูปแบบและรูปทรงของภาชนะตามที่ต้องการและวาดลวดลายบนแผ่นโลหะ

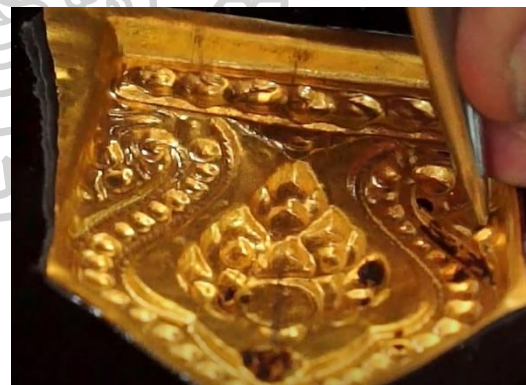


ภาพที่ 21 เครื่องมือในการทำเครื่องทอง  
 ที่มา : สุเนตร ชุตินธรานนท์, เยาวนุช เวศร์ภาค และ ภูวดล สุวรรณดี. เครื่องทองกรุงศรีอยุธยา..  
 อมตะศิลป์แผ่นดินสยาม, 2546, 140-141.

5.2 การดุนลวดลาย คือ การนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วมาเข้าชั้น เพื่อทำการดุนลวดลายตามแบบที่กำหนด โดยใช้วิธีดุนเหยียบพื้นทรายเฉพาะส่วนที่จะลงยาสี เสร็จแล้วนำชิ้นงานออกจากชั้นโดยการเผา แล้วทิ้งให้เย็น นำไปแช่ในกรดเจือจางสักครู่หนึ่ง จึงนำออกมาขัดล้างทำความสะอาดด้วยแปรงลวดเพื่อขจัดคราบไขมันที่เกาะบนผิวงาน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 22 การดุนลวดลาย

(ก) การร่างแบบลงบนชิ้นงาน (ข) การดุนลวดลายตามแบบร่าง

ที่มา : รายการ “ร้อยเรื่องเมืองไทย” ตอน “เครื่องลงยา” เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565, เข้าถึงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=PtUe2vS8UR8&t=2s>

**5.3 การเตรียมสีหรือยาสีต่าง ๆ** มีวิธีการคือนำยาสีใส่โกร่ง ครกโมรา หรือครกเหล็กบดให้ละเอียดเป็นผงขนาดเล็ก ผสมกับน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่นกวนยาสีในโกร่งให้น้ำชุ่ม แล้วค่อย ๆ เทน้ำออกขณะที่กำลังชุ่นอยู่ ออกโสีโกร่งขนาดใหญ่กว่า เก็บไว้ ทำซ้ำจนเต็ม ปล่อยให้แห้งสนิทจนน้ำแห้งสนิท กวนน้ำใส ๆ ทิ้ง คงเหลือแต่เนื้อสีที่มีความละเอียดเนียนคล้ายแป้งเปียก พร้อมทั้งจะนำไปใช้งานยาสีจะต้องทำวิธีเดียวกันนี้กับสีทุกสีที่จะใช้ไว้ให้พร้อม การเตรียมยาสีต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของน้ำและเนื้อยาสี การวัดความเปียกชื้นของยาสีไม่มีสูตรสำเร็จ ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของช่าง หากน้ำน้อยเกินไปจะทำให้ผิวหน้ายาสีไม่เรียบเนียน หากน้ำมากเกินไปเวลาเผาจะทำให้น้ำระเหยออกมาทำให้เกิดรูโหว่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย หากมีน้ำมากเกินไปใช้ผ้าขาวเนื้อบางหรือกระดาษซับน้ำออก โดยแต่จะมีให้สัมผัสกับผิวหน้ายาสี

**5.4 นำชิ้นงานมาล้างทำความสะอาด** โดยวิธีการเป่าไฟ แซะกรด และล้างด้วยน้ำประคำดีควาย เป่าให้แห้ง เพื่อขจัดคราบไขมันที่ติดอยู่ออกให้หมด น้ำของลูกประคำดีควายเป็นสารชำระล้างคราบไขมันที่ไม่มีสารเคมี ซึ่งคนไทยนำมาใช้เป็นสารชะล้างแทนสบู่เพื่อชำระล้างร่างกาย สระผม หรือนำไปใช้ซักผ้า หรือใช้ทำความสะอาดข้าวของเครื่องใช้ต่าง ๆ ตั้งแต่อดีต สำหรับในปัจจุบันสามารถใช้สบู่เหลวหรือน้ำยาล้างจานสำหรับล้างชิ้นงานให้สะอาดก่อนนำไปลงยาสี



ภาพที่ 23 โกร่งโมราสำหรับบดยาสี

ที่มา : กาญจนานิเชกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, การศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้งานยาสี, 2555, 37.

**5.5 การลงยาสี** เป็นการลงยาสีต่าง ๆ ลงไปตามตำแหน่งและลวดลายที่ได้คุ้นไว้ตามแบบที่กำหนด สำหรับอุปกรณ์ในการลงยาสีคือ อุปกรณ์เหล็กปลายแหลม หรือพู่กันสำหรับจุ่มสี ใช้พวยขนาดเล็กปาดหน้ายาสีให้เรียบเสมอกัน ใช้คีมสำหรับจับชิ้นงานแทนการสัมผัสด้วยมือเพื่อป้องกันคราบไขมันติดบนชิ้นงาน สถานที่สำหรับลงยาสีต้องมีความสะอาด ไม่มีฝุ่นละออง มีแสงสว่างเพียงพอ ควรมีกระดาษรองบนชิ้นงานขณะลงยาสีเพื่อเก็บยาสีที่หลุดร่วง และเพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ไม่ควรทำงานลงยาสีร่วมกับงานขึ้นรูปและงานอื่น ๆ เมื่อลงยาสีเสร็จให้นำชิ้นงานวางลงตะแกรงที่มีขาตั้ง นำไปให้ความร้อนด้วยตะเกียงเป่าแผ่น หรือเข้าเตาอบ (โดยปกติช่างไทยนิยมการใช้ตะเกียงเป่าแผ่นมากกว่าเตาอบ) เเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 750 – 850 องศาเซลเซียส หรือน้อยหรือมากกว่านี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโลหะที่ใช้ โดยอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ยาสีเป็นชนิดแข็ง (ไฟสูง) หรืออ่อน (ไฟกลาง หรือไฟต่ำ) ความหนาของโลหะ และขนาดชิ้นงาน เป็นต้น ควรศึกษาจากคู่มือยาสีของแต่ละยี่ห้อ และต้องแน่ใจว่าน้ำยาสีนั้นหลอมละลายประสานติดเนื้อโลหะแน่นสนิทเรียบร้อยจึงนำชิ้นงานลงจากขาตั้ง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 24 การเตรียมยาสี

(ก) การบดยาสี

(ข) การรินน้ำส่วนเกินออก

ที่มา : รายการ “ร้อยเรื่องเมืองไทย” ตอน “เครื่องลงยา” เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565, เข้าถึงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=PtUe2vS8UR8&t=2s>



ภาพที่ 25 การลงยาสี

ที่มา : รายการ “ร้อยเรื่องเมืองไทย” ตอน “เครื่องลงยา” เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565, เข้าถึงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=PtUe2vS8UR8&t=2s>



(ก)



(ข)

ภาพที่ 26 ตะเกียงเป่าแล่น (Blow lamp) ใช้สำหรับเป่าไฟให้ความร้อน และหลอมละลายโลหะ

(ก) ตะเกียงเป่าแล่นแบบปั๊มลม (ข) ตะเกียงเป่าแล่นแบบขาตั้ง

ที่มา : กาญจนานิเชกวิทยาลัย ช่างทองหลวง, การศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้งานยาสี, 2555, 36.



(ก)

(ข)

ภาพที่ 27 การเผาไฟชิ้นงานบนตะแกรง ด้วยตะเกียงเป่าแล่น

(ก) การให้ความร้อนยาสี (ข) ยาสีถูกหลอมละลายและเคลือบติดชิ้นงาน

ที่มา : รายการ “ร้อยเรื่องเมืองไทย” ตอน “เครื่องลงยา” เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565, เข้าถึงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=PtUe2vS8UR8&t=2s>

**5.6 การตรวจงานเก็บความเรียบร้อย** ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายและเป็นขั้นตอนสำคัญตอนหนึ่งภาษาช่างจะเรียกกันว่า การถา นั่นคือ การขัด ถู เพื่อให้ชิ้นงานที่ทำมีความเรียบกับพื้นลายเน้นให้เห็นลวดลายเด่นชัดขึ้น เมื่อเสร็จสิ้นทุกกระบวนการนำชิ้นงานที่ได้ไปแช่กรดอ่อน เป่าให้แห้งเพื่อขจัดคราบไขมันที่ติดอยู่ออกให้หมด และล้างชิ้นงานให้สะอาด

การลงยาสีหรือลงยาราชาวดีที่มีลวดลายประณีต และมีพื้นที่ของช่องลงยาสีบริเวณกว้างหรือช่องลงยามีขนาดเล็กมากจะต้องใช้เทคนิคการลงยาที่ละเอียดซับซ้อนมากกว่าตัวอย่างที่ยกมานี้ ในสมัยโบราณพบข้อมูลว่ามีการเติมกาวที่ได้จากธรรมชาติมาช่วยในการยึดเกาะยาสี เช่น เมือกจากเมล็ดแมงลักผสมในยาสี เพราะมีความเหนียวพอแก่การทำให้ติดลงในร่องหรือเนื้อที่เล็ก ๆ ได้ง่าย หลังจากนั้นใช้ชายผ้าเปียกจุ่มลงไปเพื่อดูดซับน้ำออก แล้วให้ความร้อนซึ่งจะทำให้ตัวยาละลายเยิ้มติดกับพื้นสิ่งของนั้น ทิ้งไว้ให้เย็นจึงขัดด้วยหินไฟเพื่อให้เรียบเสมอเนื้อโลหะ การขัดนี้จะทำให้ตัวยาสีหมองไม่ใส ต้องใช้ความร้อนโอบหรืออบอีกครั้งเพื่อให้ตัวยากลับเป็นเงาวับและสดใสขึ้นอีก (กนกวรรณ ทองตะโก, 2552. อ่างใน สารานุกรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถานเล่ม 25) นอกจากนี้ในต่างประเทศจะใช้น้ำของเมล็ดมะตูมที่แช่ไว้ข้ามคืน (quince seeds) ในการเติมให้ยาสีมีเนื้อเป็นกาวยางหนืด (gum) เพื่อยึดผงยาสีไม่ให้ไหลออก และขัดตกแต่งขั้นสุดท้ายด้วยเศษหินหรือทราย ซึ่งเป็นหินพิเศษสำหรับขัดเงาเรียกว่า "tripoli" เรียกอีกอย่างว่า "Rotten stone" หลังจากการขัดครั้งแรกนำชิ้นงานกลับเข้าไปในเตาเผาและให้ความร้อนอย่างช้า ๆ จนตัวยาเป็นเงา (Ashbee, 1967)



## 6. การศึกษาการเสื่อมสภาพของเครื่องทองลงยาราชาชาติ

เครื่องทองลงยาราชาชาติพระจุฬามณี เป็นเครื่องประดับของชนชั้นสูงที่ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีค่าและใช้ฝีมือที่มีความชำนาญ มีวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักในเครื่องทองลงยา ได้แก่ ทองคำ อัญมณี ยาสี และแกนด้านในที่เป็นโลหะทองแดงหุ้มชั้น วัสดุต่าง ๆ มีสาเหตุการเสื่อมสภาพจากเหตุปัจจัยต่าง ๆ ผู้ศึกษาได้ค้นหาข้อมูลของวัสดุและลักษณะของการเสื่อมสภาพของงานประเภทนี้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 6.1 การเสื่อมสภาพของทองคำ

ทองคำ (Gold) เป็นโลหะมีค่าที่ใช้ในการขึ้นรูปเครื่องลงยา เป็นวัสดุหลักในการเป็นตัวเรือน ที่รองรับยาสี ทองคำมีสัญลักษณ์ของเคมี คือ Au (มาจากภาษาละตินว่า Aurum) และเลขอะตอม 79 เลขธาตุหมู่ 11 เป็นโลหะทรานซิชันสีสว่างสีเหลืองและอมส้มเล็กน้อย มันวาว เนื้อแน่นเหนียว มีความอ่อนตัวสามารถยืดและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ทองคำเป็นแร่ธาตุตามธรรมชาติซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยมาก (~ 0.007 ppm) มีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง จึงทนต่อการผุกร่อนไม่เกิดออกซิไดซ์กับอากาศ สามารถเก็บรักษาโดยคงรูปลักษณะดั้งเดิมอันสวยงามไว้ได้นานไม่มัวหมอง ทำให้ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาใช้ทำเป็นเครื่องประดับ วัสดุทางทันตกรรม หรือบางส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทองมีน้ำหนักอะตอม 196.966 amu ความถ่วงจำเพาะ 19.33 g/cc มีจุดหลอมเหลว 1,064 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,970 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง (Hardness) ~ 2-2.5 (เพชร = 10) หน่วยของน้ำหนักทองคำที่ใช้ทั่วไปคือ กรัม สำหรับประเทศไทยนิยมใช้หน่วยเป็นบาท มีค่าเท่ากับ 15.2 กรัม (IRON4Raw Idener)



ภาพที่ 28 ทองคำบริสุทธิ์

ที่มา : James St.John, เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2565, จาก

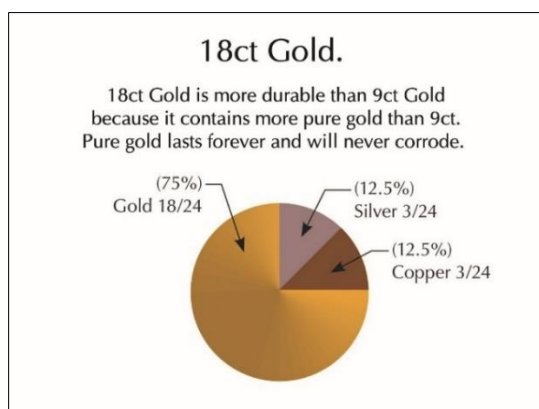
<https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/16848647509/>

ทองคำเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี สะท้อนความร้อนได้ดี ทองคำสามารถสะท้อนความร้อนได้ดี ได้มีการนำทองคำไปฉาบไว้ที่หน้ากากหมวกของนักบินอวกาศ เพื่อป้องกันรังสีอินฟราเรด ทองคำมักนำมาทำเป็นโลหะผสม (Alloy) กับโลหะชนิดอื่น เช่น เงิน นิกเกิล ทองแดง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทนทานและ/หรือปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ (เช่น สี จุดหลอมเหลว เป็นต้น) เช่น ทองกะรัต (Karat Gold) ได้จากการผสมทองคำบริสุทธิ์กับเงินและทองแดง ทองคำขาว (White Gold) ได้จากการผสมทองคำบริสุทธิ์กับแพลาเดียม นิกเกิลและสังกะสี และทองสีชมพู (Pink Gold) ได้จากการผสมทองคำบริสุทธิ์กับเงินและทองแดง (ในสัดส่วนทองแดงที่มากขึ้น) (ทองคำ (Au))

กะรัตของทอง (K) เป็นหน่วยวัดส่วนผสมของทองในส่วนต่อ 1000 หรือ 100% ทองคำ 1 กะรัต เท่ากับ 1/24 ของทองคำบริสุทธิ์ส่วนหนึ่ง คำว่ากะรัตมาจากเมล็ด carob ซึ่งใช้ในตลาดโบราณ เพื่อวัดน้ำหนักของทองคำ ทองคำบริสุทธิ์คือ 24 กะรัต ทองคำ แต่ยังมีสิ่งเจือปนอยู่ ทองคำแท่งที่ Fort Knox เป็นทองคำ 24 กะรัต มีความบริสุทธิ์ 99.95% ทองคำบริสุทธิ์สูงนั้นนิ่มและมีรอยขีดข่วน และเสียรูปได้ง่าย เพอร์เซ็นต์ที่เหลือของโลหะในทองคำกะรัตมักจะเป็นเงิน ทองแดง แพลตตินัม นิกเกิล เหล็ก หรือแคดเมียม เพื่อเพิ่มความแข็งแรง (Science notes) จากข้อมูลของอินเตอร์โกลด์ (2561 : ออนไลน์) กล่าวถึงความนิยมของทองเคและเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ ของทองคำ และผู้วิจัยได้รวบรวมทำเป็นตาราง ดังนี้ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 Gold purity chart (รวบรวมจาก [https://www.intergold.co.th/investor\\_core/what-is-k-gold/](https://www.intergold.co.th/investor_core/what-is-k-gold/))

Karat	Gold %	Hallmark	Popularity
8K, 8ct	33.3%	333	ประเทศในกลุ่มประเทศยุโรป
9K, 9ct	37.5%	375	ประเทศอังกฤษและออสเตรเลีย
10K, 10ct	41.6%	416	ประเทศสหรัฐอเมริกา
12K, 12ct	50%	500	ส่วนใหญ่จะเป็นนาฬิกาเก่า ไม่นิยมนำมาทำเครื่องประดับ
14K 14ct	58.5%	585	ตลาดเอเชีย และตลาดต่างประเทศรวมถึงในประเทศสหรัฐอเมริกา
18K, 18ct	75%	750	เป็นที่นิยม และเป็นมาตรฐานทองชั้นต่ำสำหรับขายในอิตาลี
22K, 22ct	91.6	916	คนไทยเรียกทอง 90 นิยมทำแหวน กรอบพระต่าง และเครื่องประดับต่าง ๆ
24K, 24ct	99.9% or higher	999	อ่อนเกินไปสำหรับการผลิตเครื่องประดับ



ภาพที่ 29 อัตราส่วนของทอง 18 กะรัต

ที่มา : What is the difference between 9ct and 18ct gold?, accessed April 1, 2022, available from <https://malenyjewellers.com.au/blog/index.php/2021/07/23/9ctvs18ctgold/>

ทองคำบริสุทธิ์เป็นโลหะมีค่าสูงและทำปฏิกิริยาน้อยที่สุดในบรรดาโลหะทั้งหมด การเสื่อมสภาพของเครื่องทองมักเกิดขึ้นน้อย ทองคำบริสุทธิ์ทนต่อการผุกร่อนและไม่เกิดสนิม อย่างไรก็ตาม สีน้าและเครื่องประดับที่ผลิตด้วยทองคำเกือบทั้งหมดไม่ได้บริสุทธิ์ 100% จึงอาจเกิดสนิมเมื่อเวลาผ่านไป ทองคำไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เช่น คลอรีน ฟลูออรีน น้ำประสานทอง ทองสามารถทนต่อกรด ส่วนใหญ่ แม้ว่าละลายในกรดกัดทอง (ส่วนผสมของกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก) ทำให้เกิด ไอออนเตตระคลอโรอโรอเรต ที่ละลายน้ำได้ (ศุภาวิตา จรรยา 2563) ทองคำบริสุทธิ์จะทนต่อสภาพแวดล้อม ไม่สึกกร่อน แต่การทำเป็นวัตถุมักพบว่ามีสนิมเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะมีการใช้โลหะอื่นผสมกับทอง เพื่อให้แข็งแรงขึ้น การผสมด้วยเงิน หรือทองแดง ถ้ามีเงินผสมจะทำให้สีซีดลง ซึ่งถ้าผสมมากก็จะซีดลงมาก สัดส่วนของโลหะที่ใช้ในการผสมทองมีผลอย่างมากต่อความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ทองแดง เงิน และสังกะสีเพิ่มความแข็งแรงให้กับทองคำแต่โลหะเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจน กำมะถัน ความชื้นในอากาศ และอื่น ๆ ทำให้ทองมีความหมองสูญเสียความแวววาว โลหะผสมของทองและเงินเรียกว่าอิเล็กตรัม (electrum) ในสมัยโบราณใช้ทองและอิเล็กตรัมในการทำเหรียญและเครื่องประดับกันมาก หากอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมโลหะที่ผสมกับทองจะเป็นสนิม ซึ่งเป็นเหตุให้วัตถุทองเปราะได้ (ชมพูนุช ประศาสน์เศรษฐ์, 2547 หน้า 105-106)



ภาพที่ 30 จุดสีแดง (Red spots) ในเหรียญทองที่เกิดจากสิ่งเจือปน

ที่มา : Does Real Gold Tarnish? A Closer Look at Marks and Spots on Gold, accessed July 5, 2022, available from <https://www.kjc-gold-silver-bullion.com.au/blog/2019/09/18/does-real-gold-tarnish-a-closer-look-at-marks-and-spots-on-gold/>

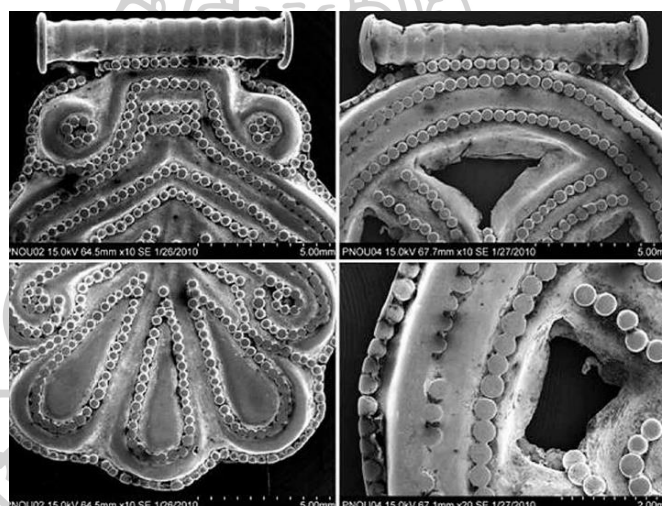


ภาพที่ 31 คราบสีม่วง (Purple plague or Purple death) ในเหรียญทองเป็นการเปลี่ยนแปลงสีบนหน้าสัมผัสระหว่างทองคำและอลูมิเนียมเมื่อสัมผัสกับอากาศ

ที่มา : Does Real Gold Tarnish? A Closer Look at Marks and Spots on Gold, accessed July 5, 2022, available from <https://www.kjc-gold-silver-bullion.com.au/blog/2019/09/18/does-real-gold-tarnish-a-closer-look-at-marks-and-spots-on-gold/>

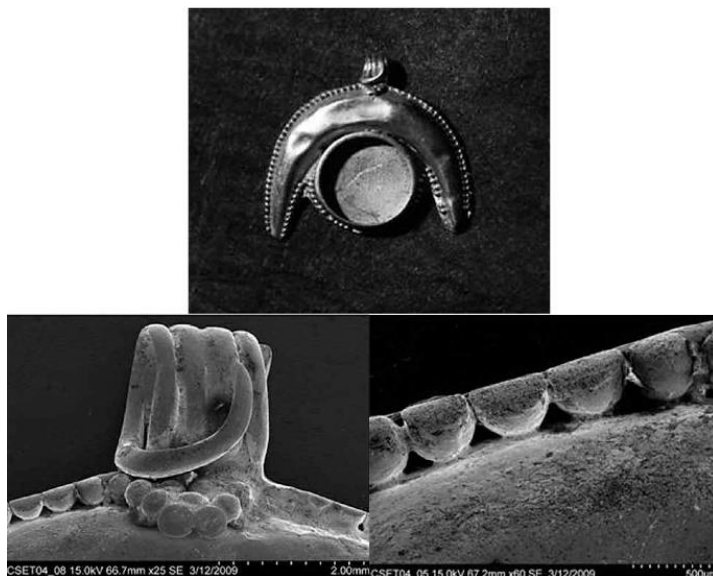
Alicia Perea และ Oscar García-Vuelta นักวิจัยชาวสเปน ได้เขียนบทความเรื่อง Gold usage: wear marks and/or deterioration in site conditions (Alicia Perea) การวิจัยนี้อยู่ภายใต้ “Project Au” กล่าวถึงการเสื่อมสภาพของทองคำจากการใช้งาน และได้รวบรวมเอกสาร

เกี่ยวกับผลกระทบของการสึกหรอที่ผิวของเครื่องทอง และปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการเสื่อมโทรมจากสภาพของสถานที่ฝังศพจากแหล่งต่าง ๆ ในคาบสมุทรไอบีเรีย โดยวัดปริมาณความสึกหรอของทองคำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อสังเกตพื้นผิววัตถุทองคำ พบว่าทองคำเป็นโลหะที่อ่อนตัว เกิดการสึกหรอและเสีรูปร่างเมื่อถูกเสียดสีกับผิวหนัง ผ้า หรือโลหะอื่น ๆ ทำให้เกิดการสึกหรอแบบที่ไม่สม่ำเสมอ ในสมัยโบราณโลหะผสมทองคำจะประกอบด้วย ทองคำ (Au) เงิน (Ag) และทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบหลัก ด้วยเหตุนี้เองที่ทำให้ทองโบราณมีความอ่อนไหวต่อการสูญเสียรูปร่างอย่างยิ่งเมื่อใช้มาหลายชั่วอายุคน ในตลาดเครื่องประดับโลหะผสมทองคำจึงมีองค์ประกอบของธาตุอื่น ๆ เพิ่มเติมในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อให้ทองมีความแข็งและทนต่อการ สึกหรอมากขึ้น สาเหตุของการเสื่อมสภาพอย่างที่สองคือสภาพแวดล้อมของวัตถุทองเหล่านั้นได้รับการเสียดสีจากทรายและน้ำทะเลตลอดเวลา และประการที่สามคือร่องรอยที่เกิดจากข้อบกพร่องระหว่างกระบวนการผลิต



ภาพที่ 32 จีทองจากสุสาน Poble Nou ที่แสดงให้เห็นลักษณะแบนของเม็ดไขปลาจากการใช้งานเป็นเวลานาน

ที่มา : Gold usage: wear marks and/or deterioration in site conditions, accessed July 24, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/346096819\\_Gold\\_usage\\_wear\\_marks\\_andor\\_deterioration\\_in\\_site\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/346096819_Gold_usage_wear_marks_andor_deterioration_in_site_conditions)



ภาพที่ 33 จี้ทองรูปดาวจาก Les Casetes ที่แสดงให้เห็นรอยถลอกจากการใช้งานและร่องรอยของเม็ดไข่ปลาที่เกิดจากการหลอมเหลวระหว่างกระบวนการผลิต

ที่มา : Gold usage: wear marks and/or deterioration in site conditions, accessed July 24, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/346096819\\_Gold\\_usage\\_wear\\_marks\\_andor\\_deterioration\\_in\\_site\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/346096819_Gold_usage_wear_marks_andor_deterioration_in_site_conditions)

## 6.2 การเสื่อมสภาพจากแกนภายในพระจุฑามณี

แกนด้านในของพระจุฑามณีมีลักษณะเป็นโลหะแท่งยาว ใช้เป็นแกนภายในช่วยทำให้เครื่องประดับมีความแข็งแรง มนุษย์นำโลหะมาใช้โดยขบวนการถลุงแร่ ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นการเพิ่มพลังงาน เช่น ความร้อน ฯลฯ เข้าไปเพื่อบังคับเปลี่ยนให้ธาตุโลหะซึ่งรวมตัวอยู่กับธาตุอื่น ๆ ในสภาพสารประกอบในแร่ อันเป็นสภาพที่เสถียรตามธรรมชาติ กลายมาเป็นโลหะโดด ๆ ซึ่งเสถียรน้อยกว่า (พลังงานสูงกว่า) ดังนั้นโดยธรรมชาติแล้ว โลหะจึงมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนกลับคืนไปสู่สภาพตามธรรมชาติซึ่งเสถียรมากกว่า ปัญหาการเสื่อมสภาพของโลหะเกิดได้จากหลายสาเหตุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ (ชมพูนุช ประศาสน์เศรษฐ์, 2547 หน้า 99)

### 6.2.1 ปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อม

เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพอันได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และมลพิษในอากาศรอบ ๆ ตัววัตถุ และในการเกิดสนิมนั้นมักมีความชื้นเป็นปัจจัยเสมอ เกิดเป็นการกัดกร่อน (Corrosion) เป็นลักษณะของการเสื่อมสภาพที่ส่งผลต่อวัตถุที่เป็นโลหะ เกิดขึ้นจากโลหะที่ไม่เสถียรทำปฏิกริยากับสภาพแวดล้อมทำให้โลหะกลับคืนสู่สภาพที่เสถียรขึ้น คือ เปลี่ยนสภาพจากโลหะไปเป็นสารประกอบที่เคยอยู่ในแร่ เช่น โลหะทำปฏิกริยากับ

ออกซิเจนในอากาศ แล้วเปลี่ยนจากธาตุโลหะไปเป็นโลหะออกไซด์ การกัดกร่อนอาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสกับน้ำ กรด ด่าง เกลือ น้ำมัน (รวมถึงสิ่งที่มีอนุมูลออกซิเจน) วัสดุที่เป็นก๊าซ (พลาสติกที่ย่อยสลายได้) มลพิษ (สิ่งสกปรก เหม่า และฝุ่น) และสารเคมีต่าง ๆ การกัดกร่อนอาจเกิดขึ้นเป็นชั้นบาง ๆ ชัดเจน หรือเป็นคราบ หรือการสะสมขนาดใหญ่ที่แข็งหรือเป็นผง เป็นสาเหตุทั่วไปของการเสื่อมสภาพของโลหะ (Causes of Metals deterioration)

ความผูกกร่อนส่วนมากเกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ซึ่งทำให้โลหะเปลี่ยนสภาพและสูญเสียความแข็งแรงไป ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีแตกต่างจากปฏิกิริยาเคมีทั่วไป คือ ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากโลหะไปสู่สิ่งแวดล้อมและมีการเปลี่ยนแปลงธาตุเป็น ion หรือ ion เป็นธาตุ การเสื่อมสภาพของโลหะเกิดจากปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม ดังนี้ (Causes of Metals deterioration)

- ปฏิกิริยาของโลหะกับสิ่งแวดล้อมโดยปราศจากความชื้น เช่น ปฏิกิริยากับออกซิเจนกับก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen sulphide) ฯลฯ แล้วเกิดเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวโลหะ (Surface film) คือเกิดเป็น Metallic oxide และ Metallic sulphide

- ปฏิกิริยาของโลหะกับสิ่งแวดล้อมโดยมีความชื้นอยู่ด้วย เช่น โลหะที่ถูกฝังอยู่ใต้ดิน นอกจากนี้ อัตราเร็วของการเสื่อมสภาพจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของดิน รุพารูของดินและปริมาณ Soluble salt (เกลือซึ่งละลายน้ำได้) ในดิน ถ้าสิ่งเหล่านี้มีปริมาณสูงการผูกกร่อนของโลหะก็จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เมื่อโลหะเริ่มผูกกร่อนเป็นสนิมที่ผิวแล้ว สนิมมีรูพรุนจะเป็นที่เก็บกักความชื้นและเกลือ ซึ่งจะยิ่งเร่งการผูกกร่อนให้เร็วขึ้น การผูกกร่อนเกิดขึ้นเมื่อสิ่งแวดล้อมของโลหะมีสารที่นำไฟฟ้าได้ (electrolyte) เช่น น้ำ สารละลายเกลือ โลหะจะละลายลงใน electrolyte มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และมีกระแสไฟฟ้าไหล ทั้งหมดนี้จะทำให้การผูกกร่อนของโลหะดำเนินไปเรื่อย ๆ



ภาพที่ 34 ภาพเปรียบเทียบการกัดกร่อนของโลหะที่ไม่เสถียร (ภาพบน) และโลหะที่เสถียร (ภาพล่าง)

ที่มา : Recognizing Active Corrosion – Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 9/1, accessed July 24, 2022, available from <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/recognizing-active-corrosion.html>

โลหะแต่ละชนิดจะสึกกร่อนในสารละลายที่นำไฟฟ้ามากน้อยไม่เท่ากัน โดยการทดลองเอาโลหะต่างชนิดกันสัมผัสกันทีละคู่ จุ่มลงในสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เช่น สารละลายเกลือ พบว่า โลหะมีการสึกกร่อนไม่เท่ากันและสามารถจัดเรียงโลหะตามความคงทนต่อการเสื่อมสภาพหรือความมีตระกูล (nobleness) ได้ดังนี้ อะลูมิเนียม สังกะสี เหล็ก ดีบุก ตะกั่ว ทองแดง เงิน และทอง การเรียงลำดับนี้เป็นการเรียงลำดับตามค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะ (Standard electrode potential series of metals) โลหะที่อยู่ลำดับหลังจะเป็นโลหะที่มีตระกูลกว่าโลหะที่อยู่ลำดับแรก ซึ่งไว (active) ต่อการเสื่อมสภาพมากกว่า เมื่อโลหะสองชนิดนี้สัมผัสกันและอยู่ในสารละลายที่นำไฟฟ้า โลหะที่อยู่ในอันดับแรกจะผุกร่อนไปก่อนโลหะที่อยู่ในลำดับหลัง ดังนั้นจึงมีกรณีที่พบดาบหรือมีดเหล็กซึ่งมีทองแดงฝังอยู่ ส่วนที่เป็นทองแดงยังดีอยู่ แต่ส่วนที่เป็นเหล็กจะเป็นสนิมไปก่อน

- เนื่องจากสิ่งแวดล้อมที่มี Sulphate-reducing bacteria เช่น ในดินที่บักเตรีพวกนี้ ซึ่งจะเปลี่ยน Sulphate ในดินให้เป็น Sulphide แล้ว Sulphide จะทำปฏิกิริยากับโลหะแล้วทำให้โลหะเป็นสีดำ และนอกจากนี้บักเตรีพวกนี้ยังช่วยให้ปฏิกิริยาของการผุกร่อนดำเนินต่อไปด้วย

สนิมของโลหะจะมีสีต่าง ๆ กัน จากการสังเกตสีของสนิมพอจะสันนิษฐานได้ว่าโลหะนั้น ๆ เป็นโลหะอะไร เช่น

การกัดกร่อนของเหล็กมักอยู่ในรูปของสนิม ซึ่งเป็นคำที่ใช้อธิบายออกไซด์ของเหล็ก หรือแร่ธาตุที่ก่อตัวเมื่อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไอน้ำ ทำให้เกิดเปลือกที่อาจเป็นเฉดสีน้ำตาล น้ำตาลแดง เหลือง หรือส้ม ในดินที่มีปริมาณฟอสเฟตสูง vivianite (เหล็กฟอสเฟตสีน้ำเงิน) สามารถก่อตัวบนเหล็กได้ วัตถุเหล็กที่ถูกเผาอาจมีชั้นของเฮมาไทต์สีแดงเข้ม (ไอรอนออกไซด์) อยู่เหนือโลหะโดยตรง แมกนีไทต์ (เช่น เหล็กออกไซด์) อาจปรากฏเป็นชั้นสีเข้มบาง ๆ ที่เชื่อมโยงกันโดยตรงบนเหล็ก แมกนีไทต์บนเหล็กดูเหมือนคราบสีเข้มที่เกิดบนทองแดงมาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเหล็กที่สึกกร่อนเล็กน้อยเป็นแม่เหล็กและไม่ใช่ทองแดง เหล็กทั้งสองจึงสามารถแยกแยะความแตกต่างได้ง่ายด้วยแม่เหล็ก

การกัดกร่อนของทองแดงมักประกอบด้วยเปลือกโลกที่แตกต่างกันไปในเฉดสีฟ้าและสีเขียว (copper carbonates, azurite, and malachite) ที่วางซ้อนกับชั้นสีเข้มที่มีลักษณะเป็นผงสีแดงหรือสีเข้ม อาจมองเห็นจุดการกัดกร่อนสีเขียวอ่อนที่นุ่มนวลกว่าในชั้นต่าง ๆ โลหะผสมทองแดงและทองแดงอาจมีการสึกกร่อนเล็กน้อยโดยมีคราบสีเข้มบาง ๆ ทองเหลือง (โลหะผสมของทองแดง



และสังกะสี) อาจมีสีขาวของการกัดกร่อนของสังกะสี แม้ว่าอาจจะไม่ค่อยพบเห็นในทองเหลืองทางโบราณคดีเนื่องจากการกัดกร่อนของสังกะสีจะละลายในการฝัง เหลือไว้แต่พื้นผิวที่อุดมไปด้วยทองแดง ทองแดงที่มีตะกั่วสูงอาจมีจุดของตะกั่วคาร์บอนเนตสีขาวซึ่งตะกั่วแยกออกเป็นหยดเล็ก ๆ

การกัดกร่อนบนตะกั่ว ซึ่งมักจะเป็นตะกั่วคาร์บอนเนตสีขาว ก่อตัวเป็นชั้นที่อ่อนนุ่มและยึดติดได้ค่อนข้างสม่ำเสมอเหนือพื้นผิวโลหะ เป็นไปได้ที่จะพบตะกั่วออกไซด์สีแดงบนวัตถุทางโบราณคดีแต่สิ่งนี้พบได้ยาก พิวเตอร์ (Pewter) คือโลหะผสมดีบุกกับตะกั่วที่มีปริมาณดีบุกสูง และโลหะบริทาเนีย (Britannia) คือโลหะที่ผสมดีบุก พลวง ทองแดง ที่มีปริมาณดีบุกสูง ที่ใกล้เคียงกับพิวเตอร์มาก จะเกิดการกัดกร่อนหรือทำให้เป็นชั้นหนา แตก และแข็งเสียหาย และเมื่อตะกั่วสัมผัสกับดินจะทำให้ชั้นการกัดกร่อนด้านนอกของตะกั่วบริสุทธิ์และโลหะผสมดีบุกเปลี่ยนสี

การกัดกร่อนของเงินอาจปรากฏเป็นสีเงินเมื่อขูดครั้งแรก อย่างไรก็ตาม เมื่อสัมผัสกับแสง พื้นผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเทาอมม่วงเนื่องจากมีซิลเวอร์คลอไรด์ที่ไวต่อแสง ซึ่งพบจากการผุกร่อนทั่วไปในแร่เงินทางโบราณคดี ทั้งเงินและทองมักผสมกับทองแดงซึ่งก่อให้เกิดการกัดกร่อนสีเขียวหรือสีแดง เป็นตัวบ่งชี้ว่าโลหะมีค่าเสื่อมคุณภาพ

สีของโลหะเป็นตัวบ่งชี้ถึงองค์ประกอบของโลหะ แต่อาจไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นควรตรวจสอบสีของโลหะเฉพาะเมื่อมีพื้นผิวที่เปิดเผยเท่านั้น อย่าขีดข่วนโดยการกัดกร่อนเพราะอาจทำให้วัตถุเกิดรอยถาวร การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเป็นวิธีที่แม่นยำที่สุด มักใช้ X-Ray Energy Spectrometry (XES) หรือ Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX) เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายซึ่งพื้นผิว หรือการวิเคราะห์การกระตุ้นด้วยนิวตรอน (NAA) ถูกใช้เพื่อตรวจสอบสิ่งประดิษฐ์ทองแดงและโลหะผสมทองแดงจากอเมริกาเหนือ เทคนิคนี้มีความแม่นยำมากพอที่จะแยกความแตกต่างระหว่างสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากทองแดงโลหะจากแหล่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (ทองแดงพื้นเมือง) และทองแดงที่หลอมจากแร่ (Identifying Archaeological Metal)

ตารางที่ 4 สีของสนิมโลหะแต่ละประเภท

ประเภทของโลหะ	สีของสนิมโลหะ
เหล็ก (Fe)	สีน้ำตาล น้ำตาลแดง เหลือง หรือส้ม ดำ
ทองแดง (Cu) หรือโลหะผสมทองแดง	สีแดงเข้ม ดำ เขียวอมฟ้า น้ำเงิน
ตะกั่ว (Pb)	สีขาว สีเทา
ซิน (ตะกั่วผสมดีบุก)	สีเทา
เงิน (Ag)	สีขาว เทา ม่วง ดำ
ดีบุก (Sn)	สีเทา ขาว

ความชื้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โลหะเกิดสนิม ฉะนั้นในการเก็บโลหะวัตถุ ควรเก็บในสถานที่ที่แห้งที่สุด และมีความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 45% แต่หากวัตถุมีสนิมที่เป็นอันตราย เช่น มีลักษณะเป็นผง หรือลักษณะเยิ้มแฉะ ควรเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 35% จนกว่าจะได้รับการอนุรักษ์ที่ถูกต้อง ควรห่อวัตถุด้วยกระดาษนิมปราศจากกรด บางครั้งสนิมที่เกิดขึ้นเป็นสนิมที่อยู่ตัวไม่ทำปฏิกิริยากับเนื้อโลหะต่อไป และเป็นสนิมบางเรียบ สีสวย ควรเก็บรักษาไว้ แต่หากสิ่งแวดล้อมมีเกลือ เช่น คลอไรด์ในดิน ในน้ำ หรือไอเกลือในบรรยากาศ ทำให้โลหะเกิดสนิมกัดกร่อน ซึ่งอาจไม่ได้รับการอนุรักษ์อย่างถูกต้องทันที่ กว่าจะลุกลามทำให้โลหะผุกร่อนหมดได้

**6.2.2 อุณหภูมิ** แม้ว่าระดับอุณหภูมิสำหรับการเก็บโลหะจะไม่ใช่ว่าเรื่องสำคัญมาก แต่อุณหภูมิจะมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วของการเสื่อมสภาพ เพราะในกรณีที่อยู่ในปริมาตรที่มิดชิด เช่น อยู่ในตู้ หรือห้องที่ปิด เมื่ออุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น และหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการเสื่อมสภาพให้เร็วขึ้น ฉะนั้นหากได้มีการจัดการรักษาระดับอุณหภูมิในที่เก็บโลหะไว้แล้ว ก็ควรรักษาระดับนั้นไว้อย่าให้มีการเปลี่ยนแปลงมาก หรือเปลี่ยนอย่างกะทันหันในช่วงกว้าง เพราะโลหะจะขยายและหดตัวทำให้เกิดแรงดันในเนื้อโลหะ ซึ่งอาจทำให้รอยร้าวละเอียดเล็ก ๆ ที่มีอยู่เดิมในเนื้อโลหะขยายตัวเพิ่มได้ (สรภัทร สาราพฤษ, 2561)

**6.2.3 การกระทำของมนุษย์** อันตรายอีกอย่างหนึ่งที่จะเกิดขึ้นกับวัตถุประเภทโลหะ คือมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การหยิบยกที่ไม่ระมัดระวัง อุบัติเหตุจากการเคลื่อนย้าย การไม่ระมัดระวังในการบรรจุหรือจัดเก็บ และการอนุรักษ์ด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม สาเหตุเหล่านี้อาจทำให้วัตถุเกิดรอยขีดข่วน บุปสลายมากขึ้น อีกทั้งการหยิบจับวัตถุโลหะที่ไม่สวมถุงมือป้องกันอาจก่อให้เกิดรอยนิ้ว คราบสกปรกติดบนวัตถุได้ เพราะในมือมีไขมันและเกลือจากเหงื่อ จะทำให้โลหะเป็นสนิมได้ ฉะนั้นจึงควรระมัดระวังหาทางป้องกันก่อนสัมผัสวัตถุ

### 6.3 การเสื่อมสภาพของชัน

ชัน คือ ยางไม้ในพืชในตระกูลยาง เป็นของปาลอย่างหนึ่งที่มีลักษณะเป็นสารเหลว (Liquid) ที่ไหลออกมาจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ เช่น เปลือกไม้หรือเนื้อไม้ ชันและยางไม้เกิดจาก “น้ำมันหอมระเหย” (Volatile oil หรือ Essential oil) ซึ่งมีกลิ่นและรสเฉพาะตัวได้ระเหยออกไปแล้ว เมื่อกระทบกับอากาศ สารเหลวที่เป็นยางนี้จะค่อย ๆ แข็งเป็นก้อนหรือเป็นแท่ง (Solid) เรียกว่า “ชัน” (Hard Resin) ภาคอีสานเรียกว่า “ซีซี” หากสารเหลวที่ไหลออกมายังคงมีลักษณะเป็นของเหลวชันอยู่ จะเรียกว่า “ยาง” หรือ “ครึ่งชันครึ่งยาง” (Oleo-resin)

การเกิดขึ้นของชัน มาจากป่าเต็งรังส่วนใหญ่เป็นพืชในตระกูลยาง มีแมลงที่เป็น ศัตรูพืชของป่าไม้มาก โดยเฉพาะแมลงในอันดับโคเลออปเทอรา (Order : Coleoptera) ได้แก่พวก ตัวงและแมลงปีกแข็ง (Beetles) ตัวงเหล่านี้จะเจาะไชจากบริเวณเปลือกไม้ที่แตกที่มีรูเข้าไปเพื่อกิน เนื้อไม้สดในบริเวณแก่นของกิ่งไม้หรือลำต้นทำให้เกิดรอยแผล แผลเป็นรูยาวลึกเข้าไปตามเส้นทาง ที่ตัวงกัดกินพืช จำเป็นต้องหลั่งยาแก้พิษหรือน้ำยางออกมาเพื่อรักษาแผล และหุ้มเนื้อเยื่อที่ถูกทำลาย ไป ทำให้ตัวงไม่สามารถกินเนื้อไม้เดิมต่อไปได้อีก

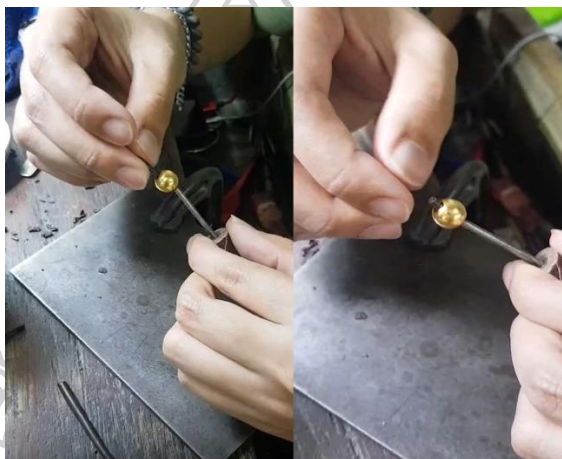
คุณสมบัติของชันคือเมื่อแห้งแล้วจะมีความแข็ง เหนียว ทนทานและไม่ละลายน้ำ ชาวบ้านจึงนิยมใช้ผงชันผสมกับน้ำมันยางและปูนแดงนำมาയാแนวเรือเพื่อปิดอุดรอยรั่ว ปิดช่อง รอยต่อของแผ่นไม้ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบกันเป็นตัวเรือ สำหรับช่างทองใช้ประโยชน์จากชันในการขึ้น รูปเครื่องประดับ เช่น งานสลักคุน งานตอกสลักลวดลาย วิธีการใช้คือ ผสมขี้ผึ้ง ผงชัน น้ำมันยาง เคี้ยวส่วนผสมลงในหม้อให้ความร้อนละลายส่วนผสมต่าง ๆ ให้เข้ากันดี และผสมผงอิฐปนละเอียด สำหรับอัตราส่วนจะขึ้นอยู่กับช่างว่าจะนำไปใช้งานประเภทไหน หากต้องการให้มีความนิ่มให้ผสม น้ำมันยางมากขึ้น หากต้องการให้ชันมีความแข็งให้เติมผงอิฐและลวดสีดส่วนน้ำมันลง เรียกว่าชันเพชร (ธเนศ ต้นแข่ง. 2565: สัมภาษณ์) บางสูตรผสมผงชันบดละเอียดและน้ำมันพืช เคี้ยวในหม้อและเติมผง อิฐแดงหรือดินเผาบดละเอียด เมื่อชันเย็นตัวลงให้ปั้นเป็นแท่งอัดลงในช่องว่างของเครื่องประดับ และ ใช้ความร้อนในการอุ่นให้ชันไหลเข้าแทนที่ช่องว่างที่ขึ้นรูปไว้ สำหรับเครื่องประดับที่มีช่องกว้างพอจะ ใช้การเทส่วนผสมในขณะที่ยังเป็นของเหลวลงในช่องว่าง หรือปั้นเป็นแผ่นอัดลงไปแล้วประกอบตัว เรือน เช่น ใช้ชันในการเป็นไส้ค้ำในของเครื่องทรงพระ (จิยุทธ กนกพจนานนท์. 2565: สัมภาษณ์)



ภาพที่ 35 ก้อนชันที่ได้จากยางไม้

ที่มา : [www.plazathai.com](http://www.plazathai.com), เข้าถึงเมื่อ 31 สิงหาคม 2565, เข้าถึงได้จาก <http://savarose.plazathai.com/show1002133/>

ชั้นและส่วนผสมของซีฟิ่งชั้น จัดอยู่ในประเภทของวัสดุอินทรีย์ (Organic Materials) คือวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน เป็นวัสดุที่มีจุดเริ่มต้นมาจากพืชและสัตว์ วัสดุประเภทนี้จะไวต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดูดและคายความชื้นได้ง่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นรอบ ๆ วัสดุ หรือเมื่อความชื้นในบริเวณนั้นสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป อาจทำให้องค์ประกอบภายในเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (ชมพูนุช ประศาสน์เศรษฐ์, 2547 หน้า 1) นอกจากนี้ซีฟิ่งและชั้นยังไวต่ออุณหภูมิที่สูง เมื่อได้รับความร้อนมาก ชั้นและซีฟิ่งสามารถละลายเป็นของเหลว และทำให้เครื่องประดับเสียรูปทรงได้เมื่อมีการกระทบกับของแข็ง



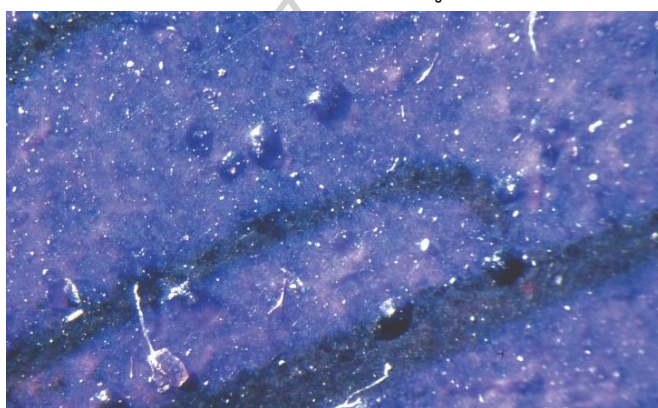
ภาพที่ 36 การอัดส่วนผสมซีฟิ่งชั้นลงในเครื่องประดับ

ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

#### 6.4 การเสื่อมสภาพของยาสี

ยาสีเป็นแก้วซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายซิลิกา ซึ่งหมายความว่าอะตอมของซิลิกอนล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนสี่อะตอม โดยที่ออกซิเจนทั้งหมดจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างอะตอมของซิลิกอนสองอะตอม ซึ่งก่อให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง (Kunicki-Goldfinger, 2008, p. 50) ยาสีร้อนทำมาจากแก้ว ซึ่งในสมัยโบราณแก้วผลิตจากส่วนผสมของซิลิกา (ทราย) ปูนขาวและออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์ (alkali metal oxide) โดยหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำให้เย็นลงจนแข็งเป็นแก้ว โดยไม่มีการเกิดผลึก ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์ ที่ใช้ในสมัยก่อนได้จากขี้เถ้าจากการเผาต้นไม้ หากเผาขี้เถ้าจากป่าจะได้ขี้เถ้าโปแตช (potash) หากเผาต้นไม้จากบ่อเกลือจะให้โซดาไฟ ออกไซด์ของโลหะจะช่วยลดอุณหภูมิของการหลอมเหลวลง ที่ประมาณ  $900^{\circ}\text{C}$  และช่วยลด

ความหนืดของแก้วที่หลอม แก้วที่เสื่อมสภาพจะเรียกว่า “sick glass” ปัญหาเกิดจากการใช้ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์มากเกินไป และสัดส่วนของปูนขาวลดลง ส่วนนี้จะดูความชื้นในบรรยากาศทำให้ผิวแก้วเกิดเป็นหยดน้ำลื่น ๆ ที่เรียกว่า “weeping” หรือ “sweating glass” และปัญหาที่ตามมาคือ แก้วจะมีลักษณะขุ่นเป็นฝ้าเรียกว่า “crizzling glass” หากมีการสูญเสียน้ำ จะเกิดเป็นรอยร้าวละเอียดขึ้นที่เนื้อแก้ว จะทำให้คุณสมบัติความคงทนของแก้วลดลง และหากเก็บในบรรยากาศที่ไม่เหมาะสม กระบวนการเสื่อมสภาพนี้จะเกิดซ้ำซาก ทำให้ปัญหารุนแรงขึ้น ผิวแก้วจะเป็นผงหลุดร่อนได้ (สรภัทร สารภาพุช, 2561 หน้า 121) ฉะนั้นปัญหาในกระบวนการผลิตแก้วสีสำหรับยาสีหากมีอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมทำให้แก้วแตกเปราะ สามารถนำไปสู่การเสื่อมสภาพที่เร็วขึ้นได้



ภาพที่ 37 แสดงลักษณะการเสื่อมสภาพของยาสีที่เรียกว่า weeping

ที่มา : The early painted enamels of Limoges in the Walters Art Museum : Historical context and observations on past treatments, accessed April 29, 2022, available from <https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic42-02-007.html>

Canadian Conservation Institute (2007) กล่าวถึงการเสื่อมสภาพวัตถุประเภทแก้วและการดูแลรักษาวัสดุประเภทนี้ว่า แก้วเป็นของแข็งอสัณฐาน (ไม่มีโครงสร้างผลึก) ซึ่งประกอบไปด้วยซิลิกาและองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ฟลักซ์ (fluxes) และสารคงตัว ปกติซิลิกาละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าโลหะที่เราใช้มาก (ผู้วิจัยได้รวบรวมอุณหภูมิของการละลาย ซิลิกาเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 4) การเติมฟลักซ์จะช่วยลดจุดหลอมเหลวของซิลิกา การเติมฟลักซ์โดยทั่วไป คือ การเติมโซดา (โซเดียมออกไซด์) และโปแตช (โพแทสเซียมออกไซด์) หรือส่วนผสมของทั้งสองอย่าง สารทำให้คงตัว เช่น การเติมแคลเซียมออกไซด์ ใช้เพื่อทำให้แก้วแข็งแรงและไม่ละลายในน้ำ ตะกั่วออกไซด์จะส่งผลให้แก้วมีความชัดเจนเป็นประกาย ลดอุณหภูมิหลอมเหลวทำให้ง่ายต่อการหลอมขึ้นรูป อย่างไรก็ตามการเติมตะกั่วออกไซด์ทำให้แก้วมีความทนทานต่ำและมีรอยขีดข่วนได้ง่าย สัดส่วนของสารทำให้คงตัวภายในแก้วเป็นตัวกำหนดความเสถียรทางเคมี

ตารางที่ 5 แสดงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของซิลิกาและโลหะอื่น ๆ

ประเภทวัสดุ	จุดหลอมเหลว
ซิลิกา (SiO <sub>2</sub> )	1710°C
ทองแดง (Cu)	1085°C
ทอง (Au)	1064°C
เงิน (Ag)	961.8°C

วัสดุที่เป็นแก้วอาจแตกบิ่น ร้าว หรือขีดข่วน ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อาจส่งผลกระทบต่อแก้วน้อย แต่การดูดซึมน้ำของสารเคมี เช่น เกลือ อาจทำให้วัสดุไม่เสถียรในความชื้นสัมพัทธ์ที่ผันผวนได้ และความเสียหายอาจมาจากการจัดการและการทำความสะอาดที่ไม่ถูกต้อง โดยปกติแล้วแก้วเป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุนจะไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำในระยะสั้นมากนัก อย่างไรก็ตามน้ำก็มีส่วนทำให้ยาสีเชื่อมสภาพในระยะยาว ในด้านของฝุ่นและสิ่งสกปรกที่จับบนผิววัสดุ อาจจะทำให้ขจัดออกได้ยากหากมีลวดลายและซอกเล็ก ๆ จะต้องระมัดระวังในการทำทำความสะอาด ฝุ่นและคราบสกปรกเป็นตัวดึงดูดความชื้นในบรรยากาศสู่พื้นผิวซึ่งสาเหตุให้วัสดุแก้วเสื่อมสภาพได้ แสงและรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณมากเป็นเหตุให้สีของวัสดุแก้วเปลี่ยนสี แก้วในส่วนใหญ่ที่มีความเสถียรสามารถจัดเก็บได้อย่างปลอดภัยที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40–50 % ควรหลีกเลี่ยงความผันผวนของความชื้นสัมพัทธ์ หากต่ำเกินไปจะทำให้แก้วเกิดรอยแตกเล็ก ๆ เรียกว่า "crizzling" และไม่สามารถแก้ไขย้อนกลับได้ ฉะนั้นควรดูแลสภาพแวดล้อมในการจัดเก็บหรือจัดแสดงให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม และระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบให้เกิดการตกหล่น ป้องกันการกระแทกของตัวโลหะที่ส่งผลถึงโครงสร้างและแก้วสี ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันคราบไขมันและความเค็มจากมือไปสัมผัสกับวัตถุโดยตรง (Caring for ceramic and glass objects)



ภาพที่ 38 แสดงลักษณะการหลุดร่อนและแตกร้าวของยาสี บนถ้วยเงินชุบทองของรัสเซีย

ที่มา : The early painted enamels of Limoges in the Walters Art Museum : Historical context and observations on past treatments, accessed April 29, 2022, available from <https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic42-02-007.html>

Rika Smith and Other (1987) ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของแผ่นเคลือบยาสีแบบ Limoges enamels จำนวน 58 ตัวอย่างจากพิพิธภัณฑ์ ซึ่งวัตถุมีอายุราว ค.ศ. 1470-1530 โดยใช้วิธีดูด้วยตาเปล่าพบว่ามีอาการเสื่อมสภาพเป็นรอยร้าวที่เรียกว่า "crizzling" และผิวจะเกาะหลุดร่อน และเลือกวัตถุ 7 ชิ้นมาตรวจสอบด้วยวิธี X-ray fluorescence (XRF) เป็นเทคนิคแบบไม่ทำลายสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิว และเก็บอนุภาคแก้วที่หลุดร่อนจากสารเคลือบมาวิเคราะห์โดย Electron beam microprobe พบว่าบริเวณที่เป็นสีน้ำเงินและสีม่วงมัลเบอร์รี่มีการเสื่อมสภาพมากที่สุด แต่สีอื่น ๆ อันได้แก่ สีม่วง สีเขียว สีน้ำตาล สีเหลือง และสีดำ ก็มีความเสี่ยงเช่นกัน ส่วนโทนสีขาวและเนื้อเป็นสีเดียวที่มีความเสถียร การวิเคราะห์ธาตุในยาสี พบธาตุโพแทสเซียมเป็นสารหลักมีสภาพเป็นต่าง และออกไซด์ของโลหะแมงกานีส เหล็ก ทองแดง และโคบอลต์เป็นสารแต่งสี พบสารประกอบของแร่ดีบุก และตะกั่วอยู่ในส่วนผสมของยาสี สารแต่งสีอื่น ๆ ไม่มีความสัมพันธ์กันกับการเสื่อมสภาพ ยกเว้นโทนสีขาวและเนื้อพบสารตะกั่วปริมาณเข้มข้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วที่เพิ่มขึ้นสามารถปรับปรุงความเสถียรของแก้วบางชนิดได้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าตะกั่วช่วยการลดปริมาณการดูดซับน้ำจากบรรยากาศ (Rika S. and other, 1987)

Martí Beltrán (2020) ศึกษาวิเคราะห์กลไกและการสลายตัวของยาสีกริเซลล์ อีนาเมล (grisailles enamels) และกระจกสีเสตนกลาส มีอายุราวปลายศตวรรษที่ 19 และช่วงต้นศตวรรษ ที่ 20 จากเมืองบาร์เซโลนา เพื่อค้นหาสาเหตุการเสื่อมสภาพของยาสี โดยวิธีการ Laser Ablation Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS), X-Ray Diffraction (XRD) และ UV-Vis-NIR spectroscopy เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและวัดคุณสมบัติทางความร้อนวัดโดย Differential Scanning Calorimetry (DSC) และกล้องจุลทรรศน์ระยะร้อน (HSM) พบว่า ยาสีอีนาเมลในสมัยก่อนทำจากแก้วบอโรซิลิเกตตะกั่ว-สังกะสี ที่มีองค์ประกอบระหว่าง 2:3 ถึง 2:1,  $B_2O_3 : SiO_2$  การเติมสารประกอบที่แตกต่างทำให้ได้สีของยาสีที่หลากหลาย มีการเผาด้วยอุณหภูมิต่ำในขณะที่ยาสียังทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและการกัดกร่อนของน้ำ อุณหภูมิการเผายาสีที่ค่อนข้างแคบจำเป็นต้องเติมฟลักซ์ชนิดบอโรซิลิเกตที่มีตะกั่วสูง เพื่อช่วยในการยึดเกาะที่ดี การเพิ่มปริมาณตะกั่วในอีนาเมลทำให้ใช้อุณหภูมิการเผาผลลดลงและยังทำให้ยาสีมีความเสถียร ฉะนั้น ในกระบวนการผลิตยาสีมีผลต่อการเสื่อมสภาพของยาสี สารเคลือบสีน้ำเงินและสีเขียวในวัตถุตัวอย่างมีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพมากขึ้นเมื่อได้รับผลกระทบจากความชื้นที่เกิดจากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้น (Martí Beltrán, 2020)

จากบทความข้างต้นสามารถสรุปสาเหตุการเสื่อมสภาพของยาสีร้อน ได้ว่ายาสีเกิดการเสื่อมสภาพได้จากหลายปัจจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. สาเหตุจากปัจจัยภายใน หมายถึง กระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของสารเคมีในตัวแก้วเอง เมื่อองค์ประกอบของวัสดุมีลักษณะเป็นต่างมากเกินไปและแคลเซียมไม่เพียงพอ ทำให้ยาสีไม่เสถียร หรืออาจเกิดจากการปนเปื้อนตั้งแต่การผลิตจึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ แม้จะไม่มีสาเหตุจากปัจจัยภายนอกมากกระทำ ทำให้ยาสีดูดความชื้นในบรรยากาศมากกว่าปกติเรียกว่า “weeping” และเกิดรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “crizzling” ทำให้ยาสีเป็นฝ้า และหากมีการจัดเก็บรักษา หรือควบคุมสภาพแวดล้อมไม่ดีก็จะยิ่งส่งผลให้ยาสีเกิดการเสื่อมสภาพจากภายในเร็วขึ้น

2. สาเหตุปัจจัยภายนอก หมายถึง กระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดการถูกรบกวนที่ส่งผลจากสภาพแวดล้อม เช่น มลภาวะ คราบสกปรก แสง ความชื้น และอุณหภูมิ ที่ทำให้ยาสีและวัสดุรองรับยาสียืดหดขยายตัว และการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการใช้งาน การเก็บรักษาไม่ถูกวิธี การสัมผัสกับสารเคมี และการทำความสะอาดหรือการอนุรักษ์ที่ไม่ถูกต้องในก่อนหน้า

การดูแลรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับวัสดุมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยยับยั้งกระบวนการเสื่อมสภาพได้ เนื่องจากยาสีมีความไวต่ออุณหภูมิสูง ระดับอุณหภูมิที่แนะนำอยู่ในช่วง  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (สำหรับในประเทศไทยแนะนำ  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ที่แนะนำคือ  $50 \pm 10\%$  ระดับแสงที่แนะนำสูงสุด 300 Lux แสงที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนและส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพ ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่ควรเกิน 200 wlm/lumen สำหรับวัสดุทองที่เป็นตัวรองรับยาสี ไม่ได้มีความไวต่อแสงเช่นยาสี ระดับอุณหภูมิที่แนะนำอยู่ในช่วง  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  (สำหรับในประเทศไทยแนะนำ  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ที่แนะนำคือ น้อยกว่า 35% ระดับแสงที่แนะนำสูงสุด 300 Lux ซึ่งโลหะที่อ่อนเกินไปมีแนวโน้มที่จะเสียหายทางกายภาพ และหากมีความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง วัสดุยาสีและโลหะมีการขยายตัวต่างกัน เป็นเหตุให้ยาสีเสื่อมสภาพและหลุดร่อน (South East Conservation & Restoration, 2011)

## 7. การอนุรักษ์งานลงยาสี

### 7.1 ความหมายของการอนุรักษ์

7.1.1 อนุรักษ์ (Conservation) หมายถึง การกระทำที่มุ่งเน้นการชะลอการชำรุดเสื่อมสภาพของมรดกทางศิลปวัฒนธรรม การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซ่อมแซมหรือเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงให้วัตถุนั้นคงสภาพอยู่ได้ หรือแก้ปัญหาและดำเนินการป้องกันการเสื่อมสภาพ การกระทำทุกขั้นตอนต้องอาศัยความรู้ด้านการอนุรักษ์มรดกทางศิลปวัฒนธรรม (จิราภรณ์ อรัณยนาก, 2558, 5.)



7.1.2 นักอนุรักษ์ (Conservator) หมายถึง บุคลากรที่มีความรู้ด้านการอนุรักษ์ ซึ่งทำหน้าที่คล้ายแพทย์ ในการรักษาคนไข้และป้องกันโรค ตลอดจนปรับปรุงวิธีการอนุรักษ์ให้เหมาะสมแต่ละกรณี และพัฒนาวิธีการอนุรักษ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (จิราภรณ์ อรัณยนาท, 2558, 6.)

7.1.3 การอนุรักษ์เชิงป้องกัน (Preventive Conservation) เป็นกระบวนการป้องกัน และดูแลรักษาวัตถุให้ปลอดภัยจากอันตรายที่อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อม และจากการกระทำของมนุษย์

7.1.4 การอนุรักษ์เชิงสงวนรักษา (Curative Conservation) เป็นการปฏิบัติการต่อวัตถุ เพื่อกำจัดปัจจัย หรือสาเหตุของการเสื่อมสภาพและยับยั้งไม่ให้วัตถุเสื่อมสภาพต่อไป

7.1.5 การบูรณะซ่อมแซม การฟื้นฟู (Restoration) หมายถึง การพยายามทำให้วัตถุคืนสู่สภาพเดิม (ก่อนการเสื่อมสภาพ) อาจมีการเพิ่มเติมส่วนที่ชำรุดเสียหายไป ซึ่งจะทำเฉพาะในกรณีที่รู้รูปแบบดั้งเดิมอย่างแน่นอน และเมื่อถึงจุดที่สงสัยหรือคาดเดา ต้องหยุดทำการต่อเติมซ่อมแซม และในการซ่อมแซมต้องพยายามทำให้สีของส่วนที่ซ่อมแซมคล้ายของเดิม เพื่อให้เป็นรูปแบบที่มองดูแล้วครบถ้วนและไม่ขัดตา และในการบูรณะซ่อมแซมมีความหมายรวมถึงการทำให้วัตถุนั้นกลับสู่สภาพที่ใช้งานได้ หรือทำให้วัตถุแข็งแรงขึ้นด้วย แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างส่วนที่เป็นของเดิม และส่วนที่ต่อเติมใหม่ (ชมพูนุท ประศาสน์เศรษฐ์, 2547, 2 – 3.)

## 7.2 แนวทางการอนุรักษ์ยาสีที่ผ่านมา

Arletta T. & Alina T. (2011) ได้ศึกษาเรื่องการฟื้นฟูเครื่องลงยาบนวัสดุทองแดงและโลหะผสมที่เสื่อมสภาพ ณ พิพิธภัณฑ์ประจำภูมิภาคในทอรูณ และพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติในพอซนาน พบว่าสาเหตุหลักของเครื่องลงยาสีเกิดการเสื่อมสภาพคือ ตัววัสดุเกิดการหดตัว ยาสีแตกร่อน เกิดรอยร้าวจากการที่โลหะเปลี่ยนรูปทรง ทำให้คุณค่าความงามทางสุนทรียภาพของวัตถุลดลง พวกเขาจึงได้เลือกวัสดุที่สอดคล้องกับมาตรฐานในการอนุรักษ์เพื่อมาซ่อมแซมยาสี โดยทดลองใช้วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกเรซิน (thermoplastic resins)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 39 การเสื่อมสภาพของยาสี

(ก) รอยแตกของยาสีคิ้วซอนเน่ (ข) ความเสียหายจากการยุบตัวของโลหะ

ที่มา : The Consolidation Of Mechanically Destroyed Enamel Decoration On Copper And Its Alloys, accessed April 30, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/280938067\\_The\\_Consolidation\\_Of\\_Mechanically\\_Destroyed\\_Enamel\\_Decoration\\_On\\_Copper\\_And\\_Its\\_Alloys](https://www.researchgate.net/publication/280938067_The_Consolidation_Of_Mechanically_Destroyed_Enamel_Decoration_On_Copper_And_Its_Alloys)

การอนุรักษ์เครื่องเคลือบและเครื่องลงยาสีในอดีต ตั้งแต่ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 นักอนุรักษ์ได้ใช้สารเคลือบหลายตัว เช่น สารเคลือบเรซินจากธรรมชาติ หรือสารเคลือบพอลิเมอร์สังเคราะห์ โดยเริ่มแรกใช้สาร โพลีไวนิลอะซิเตท และตั้งแต่ปี 1980 เป็นต้นมา ใช้สารประกอบหลายตัว เช่น ไมโครคริสตัลลิน เรซินอะคริลิก ไฮโคลเฮกซาโนนเรซิน และอีพอกซีเรซิน ในการซ่อมรอยแตกและรอยแยกในชั้นเคลือบสี ในปลายศตวรรษที่ 20 มีการใช้ ORMOCER ที่เรียกว่า ORMOCERs (ORganically Modified CERamics) ซึ่งรวมถึงส่วนผสมของ Glas-ORMOCER หรือ Bronze-ORMOCER และเรซิน Paraloid B-72 สามารถนำไปซ่อมในส่วนของพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายโดยใช้แปรงหรือท่อ และสามารถลบสารส่วนเกินออกได้ด้วยตัวทำละลาย

ในการศึกษาครั้งนี้เห็นปัญหาของสารเคลือบวัตถุที่ผ่านการซ่อมแซมมาก่อนหน้านี้ไม่เสถียร ไม่เพียงพอต่อการปกป้อง และยังเปลี่ยนสีเมื่อเวลาผ่านไป พื้นผิวจะเปราะ แตก และยุบอีกครั้ง ความเสียหายทางกลต่อวัตถุที่อยู่ระหว่างศึกษาอาจเกิดจากการกระแทกโดยไม่ได้ตั้งใจ และเกิดร่วมกับการกัดกร่อนของชั้นเคลือบของยาสี การเลือกใช้สารที่จะนำมาเคลือบยาสีมีหลักเกณฑ์ คือ ต้องมีความโปร่งใสและไม่มีสี มีแรงยึดเกาะดี มีความยืดหยุ่น กันน้ำ ไม่กัดกร่อน การทนต่อรอยขีดข่วน มีความง่ายต่อการใช้งาน มีความหนืดและสามารถนำออกได้ในภายหลัง สารพอลิเมอร์จึงถูกเลือกมาใช้ในการเคลือบยาสีตามคุณสมบัติข้างต้น สารเทอร์โมพลาสติกเรซินสามกลุ่มที่ใช้ในการทดลองได้แก่ Paraloid A-10S, A-101, A-21, B-44, B-48N, B-67, B-72, B-99N, F -10, NAD-10V, Beva 371 และ Plexisol P550 นำมาทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มเรซินและความหนืดของสารละลายตามหลักเกณฑ์ข้างต้นด้วยวิธีต่าง ๆ

ผลที่ได้พบว่าสารเคลือบที่เกิดจากเรซินพาราโลยด์ A-101 มีความทนทานต่อการขีดข่วนมากที่สุด Paraloid B-44 ได้ทำคะแนนสูงสุดในการทดสอบความแข็งสัมพัทธ์ ค่าสูงสุดในการยึดเกาะคือ Paraloid A-10S, B-44 และ NAD-10V ฟิล์มที่เกิดจาก Paraloid B-44 พิสูจน์ได้ว่ามีรูพรุนน้อยที่สุด พอลิเมอร์ที่ต้านทานน้ำมากที่สุด คือ Paraloid F-10, Paraloid B-44 ผู้วิจัยจึงเลือกสารสองชนิด ได้แก่ Paraloid B-44 และ Paraloid F-10 ไปทำการศึกษารายละเอียดเพิ่ม เนื่องจากได้พิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับการซ่อมยาสีที่แตกร้าวในขั้นต้น แต่สำหรับการป้องกันการกัด

กร่อนอย่างสมบูรณ์ของพื้นผิว แนะนำให้ชุบเคลือบอีกครั้งด้วยสารละลายของพาราไลด์-44 เมื่อใช้สารละลายบนผิวยาสีที่เสียหายอย่างรุนแรงและมีการยึดเกาะที่อ่อนแอ แนะนำให้ใช้กระดาษที่ปราศจากกรดที่มีเส้นใยยาว เช่น กระดาษสาญี่ปุ่น ซึ่งจะป็นชั้นปกป้องความเสียหายที่อาจเกิดจากแปรงทาสารละลาย การป้องกันการเสีรูปของวัตถุแนะนำสารละลาย Paraloid F-10 เข้าไปในชั้นยาสีที่เสียหาย จากนั้นยึดด้วยกระดาษสาญี่ปุ่นและทาเรซินชนิดเดียวกัน หลังจากนั้นจึงเอากระดาษสาออก หากชิ้นงานมีความเสียหายที่เกิดจากการเสีรูปมาก แนะนำให้ใช้ Paraloid B-44 และในขั้นตอนสุดท้ายควรมนำสารเรซินส่วนเกินออกด้วยไมโครไฟเบอร์ที่ชุ่มด้วยอะซิโตน

Sample no.	Name	Appearance	Resistance to scratching (g)	Relative hardness	Elasticity	Adhesion		Porosity (description of copper centres)	Water resistance		Viscosity (mPas)*
						Description	Adhesion degree		increment in the coating's weight after immersion in water (%)	Changes in the coating's appearance	
1	Paraloid A-101	colourless, high gloss, uniform	100	0.84	no changes			irregular centres		blistering, partial exfoliation	
2	Paraloid A-10S	colourless, high gloss, uniform	50	0.91	no changes	sharp edges	0	sporadic flecks	–	exfoliation	–
3	Paraloid A-21	colourless, high gloss, uniform	100	0.86	4 mm exfoliation on the mandrel	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	–	blistering, partial exfoliation	–
4	Paraloid B-44	colourless, high gloss, uniform	100	0.96	no changes	sharp edges	0	sporadic flecks	0.14%	no changes	8.44
5	Paraloid B-48N	milky, high gloss, uniform	100	0.83	no changes	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	0.20%	blistering	12.76
6	Paraloid B-67	colourless, high gloss, uniform	50	0.83	no changes	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	–	blistering, partial exfoliation	–
7	Paraloid B-72	colourless, high gloss, uniform	50	0.91	no changes	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	–	partial exfoliation	11.72
8	Paraloid B-99N	colourless, high gloss, uniform	50	0.88	no changes	jagged edges	2	numerous centres	–	blistering	–
9	Paraloid F-10	colourless, high gloss, not uniform	50	0.93	no changes	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	0.13%	no changes	6.32
10	Paraloid NAD-10V	colourless, high gloss, uniform	50	0.94	no changes	sharp edges	0	numerous flecks	0.88%	blistering	1.95
11	Beva 371	milky, semi-glossy, not uniform	50	0.47	no changes	minor flaking at the edges	1	sporadic flecks	–	exfoliation	–
12	Plexisol P550	colourless, high gloss, uniform	50	0.87	no changes	jagged edges	2	sporadic flecks	–	exfoliation	–

ภาพที่ 40 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเรซินและความหนืดของสารละลาย

ที่มา : The Consolidation Of Mechanically Destroyed Enamel Decoration On Copper And Its Alloys, accessed April 30, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/280938067\\_The\\_Consolidation\\_Of\\_Mechanically\\_Destroyed\\_Enamel\\_Decoration\\_On\\_Copper\\_And\\_Its\\_Alloys](https://www.researchgate.net/publication/280938067_The_Consolidation_Of_Mechanically_Destroyed_Enamel_Decoration_On_Copper_And_Its_Alloys)

Abeer GHARIB, Fatma S. MADKOUR (2014) ได้ศึกษาเรื่องขั้นตอนการบำบัด โลหะเปอร์เซียเคลือบยาสีที่มีอายุราวศตวรรษที่ 18 – 20 จัดแสดงที่พิพิธภัณฑ์ของคณะ ศิลปะประยุกต์ Helwan University- Egypt โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้แก่ การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับ X-ray spectroscopy (EDS) แบบกระจายพลังงาน พบว่าวัตถุมีความเสื่อมสภาพ มีการกัดกร่อนของ ทองแดงและเงินซึ่งเป็นวัสดุภายใน และมีการเสื่อมสภาพของยาสีในลักษณะที่เปราะบาง บางส่วน หลุดหายไป จากการสำรวจวัตถุได้อธิบายเทคนิคการผลิตว่า วัตถุบางชิ้นลงยาสีที่ได้มาจากแก้วผงบน พื้นโลหะ หลอมที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำประมาณ 700-900°C ในเตาอบ เป็นเทคนิคที่รู้จักกันในอียิปต์ ตั้งแต่ 1,400 ปีก่อนคริสตกาล การเสื่อมสภาพเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของสารเคลือบ ความชื้น อุณหภูมิและมลภาวะในบรรยากาศ ส่งผลให้วัตถุเปลี่ยนสีและความหมองของแก้วไม่อาจทำให้กลับมา เหมือนเดิมได้ การแตกของยาสีเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของทองแดง ผลของ ปฏิกริยาซิลเวอร์คลอไรด์ เปลี่ยนเงินบริสุทธิ์สีขาว เป็นสีเทา น้ำตาล หรือหมอง ส่วนพื้นผิวของวัตถุ ทองแดงมีรูพรุน และเกิดการกัดกร่อนเปลี่ยนสีเป็นสีดำ สีเขียว และสีค่อนข้างแดง การที่จะทำให้อาบน้ำสี มีความแข็งแรงต้องควบคุมสภาพแวดล้อมโดยรอบ

กระบวนการหลักของการเสื่อมสภาพของแก้วและยาสีที่มาจากความชื้นในสิ่งแวดล้อม สูง ทำให้เกิดการชะล้างของไอออนอัลคาไลน์ คือน้ำในบรรยากาศเมื่อรวมตัวกับธาตุอัลคาไลน์ ( $\text{Na}^+$  or  $\text{K}^+$ ) ภายในยาสีจะก่อตัวเป็นสารละลายอัลคาไลน์เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$  or  $\text{KOH}$ ) บนพื้นผิวยาสีซึ่งดูดความชื้นได้มาก และเมื่อ  $\text{NaOH}$  และ  $\text{KOH}$  รวมกับ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในบรรยากาศ ก่อให้เกิดโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) สารทั้งสองชนิดดูดความชื้นและสามารถรวมตัวกับน้ำในบรรยากาศทำให้เกิด กระบวนการเสื่อมสภาพ ประกอบกับยาสีที่อยู่บนวัสดุทองแดงหรือเงินมีความเปลี่ยนแปลงต่อ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยส่วนประกอบหนึ่งจะถูกบีบอัดโดยการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ส่วนประกอบ อื่นจะถูกผลักออกจากกัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพเหล่านี้ส่งผลให้เกิดรอยร้าวเล็ก ๆ (crizzling) ไปจนถึงรอยแตกแบบเปิดที่ใหญ่ขึ้น จนสูญเสียความโปร่งแสงและหลุดลอก

การทำความสะอาดผิวโลหะทั่วไปใช้แอลกอฮอล์ methyated spirits เพื่อขจัด คราบสกปรก สำหรับวัตถุเงินใช้สารละลาย formic acid 5-30% ในน้ำที่ปราศจากไอออน และ สารละลาย ammonium thiosulfate 15% ในน้ำกลั่น มีประสิทธิภาพในการขจัดคราบสกปรกและ ซิลเวอร์คลอไรด์ ทำความสะอาดวัตถุทองแดงใช้สารละลาย Rochelle salt 10% ตามด้วย สารละลาย Citric acid 10% สามารถขจัดคราบออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นล้างสิ่งของ ทั้งหมดด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้ง จึงเคลือบด้วยพาราโลยด์ B-72 ความเข้มข้น 4%

ในการบำบัดยาสีนั้นเริ่มจากการทำความสะอาดโดยใช้การสว๊อป (Swab) ด้วยสำลีจุ่มตัวทำละลายต่าง ๆ เช่น อะซิโตน และแอลกอฮอล์ ในส่วนที่ยาสีหลุดใช้กาว Araldite PY 1092 กับ hardener HY 1092 ซึ่งมีคุณสมบัติคือความเหนียวและโปร่งใส และขัดแต่งด้วยกระดาษทราย ในขั้นสุดท้ายใช้ Paraloid B-72 ความเข้มข้น 3% ละลายในอะซิโตนเพื่อเคลือบยาสีที่เสื่อมสภาพและติดสะเก็ดกลับเข้าไปใหม่



ภาพที่ 41 วัตถุก่อนการทำความสะอาด (A) และวัตถุหลังการทำความสะอาด (B)

ที่มา : The treatment procedures of persian metallic objects covered with colored enamels, 18<sup>TH</sup>-20<sup>TH</sup> Centuries AD. accessed April 30, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/274009166\\_The\\_Treatment\\_Procedure\\_of\\_Persian\\_Metallic\\_Objects\\_Covered](https://www.researchgate.net/publication/274009166_The_Treatment_Procedure_of_Persian_Metallic_Objects_Covered)



ภาพที่ 42 หลังจากทำความสะอาดพื้นผิวภายนอกและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ขาดหายไป (A) และวัตถุหลังการหลังการรักษา (B)

ที่มา :The treatment procedures of persian metallic objects covered with colored enamels, 18<sup>TH</sup>-20<sup>TH</sup> Centuries AD. accessed April 30, 2022, available from [https://www.researchgate.net/publication/274009166\\_The\\_Treatment\\_Procedure\\_of\\_Persian\\_Metallic\\_Objects\\_Covered](https://www.researchgate.net/publication/274009166_The_Treatment_Procedure_of_Persian_Metallic_Objects_Covered)

## 8. การศึกษาวิเคราะห์หาสารทดแทนยาสี

การศึกษาวិเคราะห์หาสารทดแทนยาสีเกิดจากปัญหาของการเติมเต็มลวดลายของยาสีที่หลุดร่อนหายไป ไม่อาจเติมด้วยวัสดุเดิมคือยาสีร้อน เนื่องจากยาสีร้อนต้องผ่านกระบวนการหลอมเหลวยาสีในระดับตั้งแต่ 510 °C - 843 °C เพื่อให้ยาสีเกาะติดกับชิ้นงาน ซึ่งอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดของยาสีที่นำมาใช้งาน ดังนั้นในกระบวนการนี้จะทำให้ส่งผลกระทบต่อถึงยาสีบริเวณใกล้เคียงและโลหะที่เกิดการขยายและหดตัวจากสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เป็นเหตุให้ยาสีเดิมหลุดและเสื่อมสภาพมากขึ้น

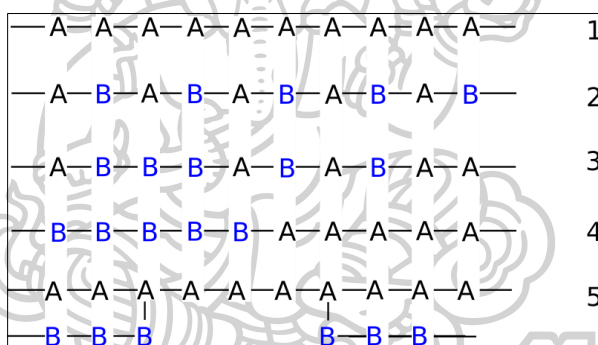
ผู้วิจัยจึงได้ทบทวนวิธีการซ่อมยาสีด้วยการเติมด้วยยาสีชนิดยาเย็นมาเป็นทางเลือกในการอนุรักษ์ โดยมีแนวคิดในการนำพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) ประเภทเทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน (Thermoplastic Acrylic Resins) มาเป็นสารทดแทนยาสีในการซ่อมแซมยาสีที่ชำรุดเสื่อมสภาพ เนื่องจากได้ศึกษาบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่านักอนุรักษ์ได้ใช้สารประเภทนี้ในการฟื้นฟูยาสีในต่างประเทศ แต่สำหรับเครื่องลงยาที่มีการหลุดร่อนของยาสีและจำเป็นต้องเติมรายละเอียดของลวดลายให้กลับมามีความสมบูรณ์ จำเป็นต้องเข้าใจคุณสมบัติทางเคมีของสารที่จะเลือกนำมาใช้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 8.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ (Polymer) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกสองคำ คือ “poly” หมายถึง many (มากมาย) และ “meros” หมายถึง ชิ้นส่วนหรือหน่วย ดังนั้น พอลิเมอร์ หมายถึง สารประกอบที่มีหน่วยเล็ก ๆ หลายหน่วยมาเชื่อมต่อกัน จนกลายเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก หน่วยเล็ก ๆ หรือโมเลกุลพื้นฐานนั้น เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) พอลิเมอร์จะประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำกัน (Repeating unit) มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (Science Matters) พอลิเมอร์มีทั้งแบบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural polymer) และแบบสังเคราะห์ (Synthetic polymer) พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น แป้ง เซลลูโลส โปรตีน Tar (น้ำมันดิน) สารคัดหลั่งจากแมลงครึ่ง กระดองเต่า เขาสัตว์ อำพัน และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์มาจากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาเคมี เช่น พลาสติก ไนลอน เมลามีน เส้นใย โฟม กาว เป็นต้น

มนุษย์ใช้พอลิเมอร์มาตั้งแต่โบราณกาล ทั้ง ๆ ที่ไม่มีใครรู้จักคำว่าพอลิเมอร์มาก่อน โดยเริ่มจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น ขนสัตว์ ฝ้าย ฯลฯ ดังจะเห็นจากการที่คนโบราณรู้จักใช้ขนสัตว์เป็นเครื่องนุ่งห่ม และใช้ปูพื้นในที่อยู่อาศัย อีกทั้งยังมีการค้นพบผ้าฝ้ายในเม็กซิโก ซึ่งเชื่อว่าอายุไม่ต่ำกว่า 7,000 ปี นอกจากนี้ยังพบผ้าไหมในจีน ผ้าลินินที่ทำจากปอใช้ห่อมัมมีในอียิปต์ ประมาณกว่า 5,000 ปีมาแล้ว เซลแล็ค (shellac) ใช้สำหรับเคลือบผิวเพื่อความสวยงาม ก็ใช้มาแล้วกว่า 3,000 ปี นักเขียนโรมันโบราณ ก็รู้จักใช้อำพันสำหรับดูดฝุ่นมาตั้งแต่คริสตกาล ต่อมาเมื่อคริสโตเฟอร์โคลัมบัส (Columbus) นักสำรวจและนักบุกเบิกชาวอิตาลี ค้นพบทวีปอเมริกา โดยไปถึงอเมริกาใต้ในราวปี ค.ศ.1492 ได้พบคนพื้นเมือง นำยางธรรมชาติจากต้นยาง (Heveabraziliensis) มาทำเป็นภาชนะ รองเท้า ชันน้ำ และของเล่นอื่น ๆ (รู้รอบเรื่องพลาสติกจากต้นกำเนิดสู่การจัดการ)

พอลิเมอร์ไม่ว่าจะเกิดจากธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้น มีโครงสร้างได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับการเข้าเกาะของมอนอเมอร์ (ภาพที่ 46)



ภาพที่ 43 การจัดเรียงของมอนอเมอร์ในพอลิเมอร์

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม 2565, เข้าถึงจาก [https://](https://th.wikipedia.org/wiki)

[th.wikipedia.org/wiki](https://th.wikipedia.org/wiki)

จากภาพจะแสดงถึงการจัดเรียงของมอนอเมอร์ในพอลิเมอร์ (1) โพลิเมอร์สายตรง (Linear polymer) พอลิเมอร์ชนิดนี้จะเป็นโซ่ตรงยาว (2) คือ Alternating copolymer เกิดจากมอนอเมอร์ 2 ชนิด เรียงตัวสลับที่กันไปมา (3) คือ Statistical copolymer หรือ random copolymer เกิดจากมอนอเมอร์ 2 ชนิดขึ้นไป เรียงตัวกันไม่มีรูปแบบแน่นอน (4) คือ Block copolymer เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดที่ 1 ต่อกันเป็นระยะหนึ่ง แล้วมอนอเมอร์ชนิดที่ 2 ก็มาต่อ และสลับกันต่อเป็นช่วงๆ จนกลายเป็นสายโซ่พอลิเมอร์และ (5) คือ Graft หรือ grafted copolymer เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดที่ 1 สร้างสายยาว แล้วมอนอเมอร์ชนิดที่ 2 ต่อเป็นกิ่ง (ศุภาวิดา จรรยา)

## 8.2 พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) หรือพลาสติก (Plastic)

พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) ว่าเป็นพอลิเมอร์ที่มนุษย์สร้างขึ้นซึ่งได้มาจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลเคมีในห้องปฏิบัติการ เช่น โพลีเอธิลีน เป็นต้น (Saldívar-Guerra และ Vivaldo-Lima, 2013)

พลาสติก เป็นวัสดุสังเคราะห์หรือกึ่งสังเคราะห์ที่หลากหลายซึ่งใช้พอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก พอลิเมอร์สังเคราะห์มาจากเซลลูโลสซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ยางไม้ เซลลูโลสประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ คลอรีน นำมาสังเคราะห์โดยขบวนการ "พอลิเมอร์ไรเซชัน" สามารถหลอมขึ้นรูปหรืออัดเป็นของแข็งรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ทนทาน ยืดหยุ่น ราคาไม่แพงในการผลิต (ศุภาวิดา จรรยา 2563) บางครั้งพบว่ามีการใช้คำว่า "พลาสติก" และ "พอลิเมอร์" ในความหมายเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน

การผลิตพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มนุษย์ประดิษฐ์คิดค้นขึ้น ในช่วงศตวรรษที่ 19 มนุษย์ใช้วัสดุพอลิเมอร์จากธรรมชาติมาปรับปรุงคุณสมบัติโดยวิธีต่าง ๆ ทำให้ได้พอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์หรือแทนวัสดุธรรมชาติซึ่งหาได้ยาก เช่น การปรับปรุงคุณภาพยางผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน ต่อมาในปี ค.ศ.1862 Alexander Parks ชาวอังกฤษ ได้เปิดตัว พาร์เคซีน (Parkesine) ในงาน Great International Exhibition ในกรุงลอนดอน เขาได้จดทะเบียนไว้ในปี ค.ศ. 1861 โดยอ้างว่าเป็นพลาสติกชนิดใหม่ทำโดยมนุษย์ และสามารถทำทุกอย่างที่ย่างทำได้ มีข้อดีกว่ายางวัลคาไนซ์คือสามารถทำเป็นสีและขึ้นรูปให้มีลักษณะต่าง ๆ ได้ พาร์เคซีนเป็นวัสดุชนิดเซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) มีสีคล้ายงาช้าง ยืดหยุ่นได้คล้ายยางและสามารถกันน้ำได้ อย่างไรก็ตามพาร์เคซีนไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรในเชิงธุรกิจ เนื่องจากต้นทุนที่สูงของวัตถุดิบ แต่ถือเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการพัฒนาพลาสติกที่มนุษย์สร้างขึ้น (รู้รอบเรื่องพลาสติกจากต้นกำเนิดสู่การจัดการ)

การสังเคราะห์พลาสติกชนิดแรก (The First Synthetic Plastic) ถูกค้นพบใน ค.ศ. 1863 โดยจอห์น เวสลีย์ ไฮแอท (John Wesley Hyatt) นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน คิดค้นหาวัสดุในผลิตภัณฑ์บิลเลียดแทนงาช้างซึ่งมีราคาแพงและหายากขึ้น หลังจากที่ได้ทดลองอยู่หลายปีเขาได้พบว่า หากเติมการบурลงไปในของผสมอีเทอร์จะไดวัสดุซึ่งต่อมาเรียกว่าเซลลูลอยด์ (celluloid) มันสามารถทำเป็นแผ่นแบนบาง มีความใสคล้ายกระจก ม้วนหรืองอได้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาทำเป็นลูกบิลเลียด นอกจากนี้เซลลูลอยด์ยังนิยมนำมาทำเป็นเครื่องประดับ ปกเสื้อ กระดุม ของเล่นเด็ก และฟิล์มภาพยนตร์และถ่ายภาพ จึงถือว่าเซลลูลอยด์เป็นพลาสติกกึ่งสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกที่เกิดจากการปรับปรุงโครงสร้างของเซลลูโลสซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ (History and Future of Plastics) เซลลูลอยด์เป็นการพัฒนาต่อจากพาร์เคซีน นับเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรม



พลาสติก แต่เนื่องจากเซลลูโลสเป็นพลาสติกที่ติดไฟง่ายและระเบิดได้หากมีปริมาณหมู่ไนโตร (NO<sub>2</sub>) สูง จึงไม่เป็นที่นิยมในเวลาต่อมา

ในขณะที่พาร์เคซินถูกสร้างขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์โดยเฉพาะเซลลูโลส นักเคมีชาวเบลเยียม Leo Hendrick Baekeland ได้ผลิตพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแรกของโลก ณ เมืองนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1907 โดยใช้ฟีนอล (phenol) ทำปฏิกิริยาควบแน่นกับฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า เบเคอไลต์ (Bakelite) เป็นพลาสติกชนิดแรกที่ใช้ในทางการค้า การค้นพบของเบเคอร์แลนด์นับเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมพลาสติกสมัยใหม่ กระตุ้นให้เกิดการผลิตพลาสติกชนิดอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมพลาสติกจนถึงปัจจุบัน เบเคอไลต์ถูกนำมาใช้เป็นฉนวนเคลือบสายไฟและชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ต่อมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน ของใช้ และเครื่องประดับต่าง ๆ มากมายที่มีสีสันสวยงาม และราคาไม่แพง และกลายเป็นวัสดุที่ได้ชื่อว่าถูกนำมาใช้งานในด้านต่าง ๆ นับพันอย่าง

ในช่วงที่เกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 อุตสาหกรรมพลาสติกต้องขยายตัวอย่างมากในสหรัฐอเมริกา เบเคอไลต์ถูกนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์สำหรับนักบิน และตัวอาวุธต่าง ๆ จากผลิตภัณฑ์ที่มีสีสันต่าง ๆ ที่เคยมีมากมายกลับกลายเป็นสีดำ จนกระทั่งสงครามสิ้นสุดลงบริษัทเคมีรายใหญ่ลงทุนในการวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดใหม่ เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (injection mold) ได้ถูกพัฒนาขึ้นและพบพลาสติกชนิดใหม่ ๆ เช่น ไนลอน (nylon) ไวนิล (vinyl) หรืออะคริลิก (acrylic) จากการค้นคว้าวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ (History and Future of Plastics)

สรุปได้ว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ประกอบด้วยสายโซ่ยาวของอะตอม จัดเรียงเป็นหน่วยที่ซ้ำกัน มักจะยาวกว่าที่พบในธรรมชาติมาก ความยาวของโซ่เหล่านี้และรูปแบบที่จัดเรียงไว้ ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา และยืดหยุ่น กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือสิ่งที่ทำให้พวกเขาเป็น “พลาสติก” คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้พอลิเมอร์สังเคราะห์มีประโยชน์อย่างยิ่ง การค้นพบพลาสติกที่สามารถประดิษฐ์เป็นรูปทรงต่าง ๆ และผลิตขึ้นเพื่อเลียนแบบสารธรรมชาติ เช่น กระจกเตาเผา สัตว์ ลินิน และงาช้าง ทำให้การผลิตของมนุษย์ไม่ถูกจำกัดด้วยข้อจำกัดของธรรมชาติ และยังช่วยแก้ปัญหาเศรษฐกิจที่เกิดจากขาดแคลนทรัพยากร พลาสติกสามารถปกป้องโลกจากพลังทำลายล้างของความต้องการของมนุษย์ แต่ก็ส่งผลเสียต่อระบบนิเวศน์อย่างมากเช่นกัน

### 8.3 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกแบ่งตามลักษณะของการถูกความร้อนได้ 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic)

**8.3.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)** (องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ NSM, 14 ธันวาคม 2565 ) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์

เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ มีความยืดหยุ่น สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก การเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลวหรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด

พลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดขณะที่พลาสติกถูกทำให้อ่อนตัวและไหลได้ด้วยความร้อนและความดัน เข้าไปในแม่แบบที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามต้องการ ภายหลังจากที่พลาสติกไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์จะถูกทำให้เย็นตัว และถอดออกจากแม่พิมพ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อใช้เสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งาน คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด ถุงพลาสติกหรือกล่องใส่อาหารบางชนิด ตัวอย่างบางส่วนของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ อะคริลิก (Acrylic), พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP), พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS), SAN (styrene-acrylonitrile), ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene), ไนลอน (Nylon), พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC), พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) ,พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) เป็นต้น

**8.3.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)** หรือที่มักเรียกว่าเทอร์โมเซตซึ่งก่อให้เกิดพันธะเคมี พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างแบบร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการชุบแข็งอย่างไม่สามารถย้อนกลับได้ นั่นคือจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ไม่สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล (recycle) ได้อีก และหากได้รับความร้อนสูงเกินไปจะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก คุณสมบัติพิเศษเทอร์โมเซตติงพลาสติก คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงสีดำ ตัวอย่างบางส่วนของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ เมลามีน พอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde), ฟีนอลพอร์มาลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde), อีพ็อกซี (epoxy), พอลิเอสเตอ์ (polyester), พอลิยูรีเทน (polyurethane) เป็นต้น

## 9. ประเภทของสารอะคริลิกพอลิเมอร์ในการอนุรักษ์

ในช่วงสองสามทศวรรษที่ผ่านมา อะคริลิกรีซิน เป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการอนุรักษ์ ผู้ฟื้นฟูหรือนักอนุรักษ์นิยมใช้อะคริลิกรีซินในกลุ่มที่มีชื่อว่า พาราลอยด์ (Paraloid® หรือในสหรัฐอเมริกาเคยเรียกว่า Acryloid®) โดยพาราลอยด์มีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบ สารรวมกลุ่ม หรือสารยึดติดหรือกาว เนื่องจากความเสถียรสัมพัทธ์ มีความโปร่งใส ความต้านทานเชิงกล (แรงดึง) และยังเป็นสารที่สามารถนำออกได้ ใช้งานได้กับวัสดุหลากหลายชนิด เช่น โลหะ หิน ไม้ แก้ว หรือเซรามิก และมีความสะดวกในการใช้งาน เรซินที่ใช้บ่อยที่สุดคือ Paraloid® B72 (Effect of solvent on PARALOID®) พาราลอยด์มีมากมายหลายชนิด ควรเลือกใช้ให้เหมาะกับประเภทของงานที่ต้องการอนุรักษ์ พาราลอยด์บางชนิดเป็นรูปแบบผงสีขาว (Powder) เช่น PARALOID™ A-11, PARALOID™ BTA-730 บางชนิดเป็นสีเหลืองซีด เช่น PARALOID™ DM-55 บางชนิดเหมาะกับการยึดเกาะบนพลาสติกอย่างเดียว เช่น PARALOID™ B-60 บางชนิดเหมาะกับอุตสาหกรรมยานยนต์ไม่เหมาะกับการอนุรักษ์ศิลปกรรม ผู้ศึกษาจึงได้รวบรวมคุณสมบัติของพาราลอยด์เฉพาะชนิดที่นิยมใช้กับการอนุรักษ์งานโลหะมีดังต่อไปนี้

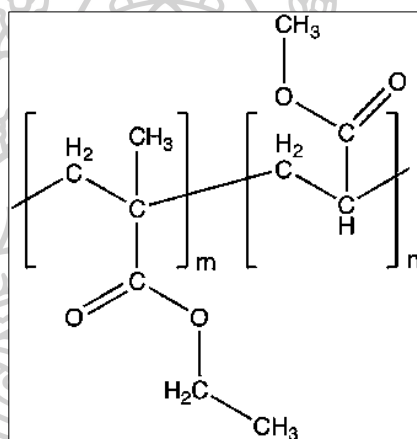
### 9.1 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-72

PARALOID® B-72 หรือ B-72 เป็นเทอร์โมพลาสติก อะคริลิกรีซิน ที่จัดทะเบียนเครื่องหมายการค้าสร้างขึ้นโดย Rohm & Haas ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์เอทิลเมทาคริเลต (70%) และเมทิลอะคริเลต (30%) เป็นเรซินที่มีความเสถียรสูงเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ (Feller 1972) ในช่วงแรกนั้น พาราลอยด์ B-72 ถูกสร้างเป็นก้อนสีขาวที่มีกลิ่นกรตอะคริลิกล็กน้อยและมีส่วนประกอบของเอทิลเมทาคริเลต (68%) และเมทิลอะคริเลต (28%) ในปี ค.ศ. 1976 ผลิตภัณฑ์จึงได้เปลี่ยนเป็นทรงกลมใสไร้กลิ่น (de Witte et al, 1978) ในปี 2552 Dow Chemical เข้าซื้อกิจการ Rohm & Haas ซึ่งเป็นผู้ผลิตเดิม และใช้ชื่อ PARALOID™ B-72 (พาราลอยด์ บี 72) และต่อมามีผู้แทนจำหน่ายในหลายบริษัท พาราลอยด์ B-72 มักถูกใช้เป็นสารเคลือบเอนกประสงค์ ให้พื้นผิวที่ทนทานต่อการสึกหรอและไม่เหลือง ใช้งานได้กับเรซินไวนิล เซลลูโลส และซิลิโคน ในวงการอนุรักษ์ พาราลอยด์ B-72 ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบ สารยึดเกาะ และสารยึดติดวัสดุต่าง ๆ เช่น ฟอสซิล แก้ว เซรามิก ไม้ ฯลฯ

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพาราลอยด์ B-72 คือ เป็นเม็ดแข็ง มีความใส ไม่มีสี เป็นอะคริลิกที่กลายเป็นฟิล์มเคลือบที่นิ่มได้ องค์ประกอบทางเคมี EMA Copolymer มีความแข็ง 10-11 (ความแข็งสูงสุดของฟิล์มใส KHN) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) =

40°C ความหนาแน่น: gms/ml: 1.15gm (เช่น ปริมาณเรซิน 1ml= 1.15 กรัม) ความหนาแน่นรวม  
ปอนด์/แกลลอน (25°C) = 9.4 พารามิเตอร์การละลาย = 9.3

สามารถละลายได้ในโทลูอีน ไซลีน อาซีโทน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ พาราลอยด์ B-72 ที่ผลิตหลังปี 1976 สามารถละลายได้ในเอทานอล ละลายได้เล็กน้อยในไอโซโพรพานอล ไม่ละลายในอะซิฟาทิกไฮโดรคาร์บอน น้ำ น้ำมัน จารบี เนื่องจากคุณสมบัติด้านความโปร่งใสและคุณสมบัติอื่น ๆ ของพาราลอยด์ B-72 นักอนุรักษ์ซึ่งนำโดย Stephen Koob จากพิพิธภัณฑน์กระจก Corning ได้เริ่มใช้แผ่นหล่อ B-72 เป็นวัสดุเติมในวัตถุแก้ว และประยุกต์ใช้กับวัตถุเซรามิกทางโบราณคดีและวัสดุอื่น ๆ เช่น ฟอสซิล หิน เซรามิก ไม้ เครื่องเคลือบ โลหะ (เงิน บรอนซ์ และอื่นๆ) เหยือก ผนัง กระจก ผ้า ปูนพลาสติก ภาชนะ และอีกมากมาย



ภาพที่ 44 โครงสร้างทางเคมีของพาราลอยด์ B-72

ที่มา : วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี, เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม 2565, เข้าถึงจาก <https://th.wikipedia.org/wiki>



ภาพที่ 45 ลักษณะของพาราลอยด์ B-72 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company)

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย

## 9.2 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-44

PARALOID™ B-44 เป็นเทอร์โมพลาสติก อะคริลิครีซิน เกรดแข็ง ใสไม่มีสี มีความยืดหยุ่น มีการยึดเกาะกับพื้นผิวต่าง ๆ เหมาะสำหรับโลหะที่ผ่านการบำบัดแล้ว ทองแดง สังกะสี ทองเหลือง อลูมิเนียมที่ผ่านการบำบัดแล้ว พื้นคอนกรีต และพลาสติกบางชนิด มีความนุ่มและยืดหยุ่นกว่า PARALOID™ A-21 Solid Grade Thermoplastic Acrylic เล็กน้อย

พาราลอยด์ B-44 มีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง มีองค์ประกอบทางเคมี คือ MMA/EA มีความแข็งแรง 15-16 (ความแข็งแรงสูงสุดของฟิล์มใส KHN) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ ( $T_g$ ) = 60°C ความหนาแน่นรวม ปอนด์/แกลลอน (25°C) อยู่ที่ 9.4 พารามิเตอร์การละลายอยู่ที่ 9.8 สามารถละลายได้ในโทลูอิน, ไซลีน, MEK, เอสเตอร์บางชนิด และไกลคอลอีเทอร์บางชนิด เช่น methyl acetate, n-butyl acetate, PM Acetate และ propyl acetate แต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และตัวทำละลายอะลิฟาติกส่วนใหญ่ เช่น ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ VM&P Naphtha และมิเนอร์ลสปิริต เป็นส่วนประกอบหลักในการเคลือบโลหะอินคราแลคเกรดแข็ง ทำให้เกิดการเคลือบที่เหนียวและยืดหยุ่น แต่จะกลายเป็นสีเหลืองและยากต่อการขจัดออกหลังจากใช้งานกลางแจ้งเป็นเวลานาน สำหรับการใช้งานบางประเภทสามารถผสมผสาน PARALOID™ B-44 Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin เข้ากับ PARALOID™ A-21 Solid Grade Thermoplastic Acrylic Resin เพื่อให้ได้ฟิล์มที่สอดคล้องตามที่ต้องการ



ภาพที่ 46 พาราลอยด์ B-44 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company)

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย

### 9.3 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-48N

PARALOID™ B-48N เป็นเทอร์โมพลาสติก อะคริลิควินเรซินเกรดแข็ง ที่ให้การยึดเกาะที่ดีเยี่ยม มีความเหนียว ความยืดหยุ่น และความทนทานเหมาะกับงานกลางแจ้ง ให้การยึดเกาะดีกับอลูมิเนียม พลาสติก โลหะที่ไม่ผ่านการเคลือบสี เช่น ทองแดง ทองเหลือง และสังกะสี สามารถอบได้ทั้งแบบแห้งและแบบอบด้วยลม

พาราลอยด์ B-48N มีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง มีองค์ประกอบทางเคมี คือ MMA Copolymer มีความแข็ง 11-12 (ความแข็งสูงสุดของฟิล์มใส KHN) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ (Tg) = 50°C ความหนาแน่นรวม ปอนด์/แกลลอน (25°C) อยู่ที่ 9.6 พารามิเตอร์การละลาย = 9.3 ให้การเคลือบที่เหนียวและยืดหยุ่นพร้อมความทนทานเป็นเลิศ พาราลอยด์ B-48N มีแบบเป็นเม็ดแข็งหรือสารละลายของแข็ง 45% ใน Toluene (Paraloid® B-48S) ละลายได้ในโทลูอีน ไซลีน เซลโลโซลฟท์ อะซิเตด เมทิล เอทิล คีโตน และอาซีโตน ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และตัวทำละลายอะลิฟาติกส่วนใหญ่ เช่น ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ VM&P Naphtha และมีเนอรัลสปิริต การเพิ่มเอทานอล 2% อาจลดความขุ่นและความแข็งลง



ภาพที่ 47 พาราลอยด์ B-48N ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company)

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย

### 9.4 คุณสมบัติของ PARALOID™ B-67

PARALOID™ B-67 เป็นเทอร์โมพลาสติก อะคริลิควินเรซินเกรดแข็ง ด้านทานน้ำดีเยี่ยม เป็นไอโซบิวทิลเมทาคริเลตพอลิเมอร์ที่แข็งกว่า PARALOID B-72 มีคุณสมบัติการคงสีดีเยี่ยม ทนต่อการเปลี่ยนสีและการเสื่อมสภาพ อุณหภูมิและการสัมผัสที่สูง ฉนวนทางเคมีและมีปฏิกิริยาของเม็ดสีต่ำมาก การทนน้ำดีเยี่ยม ยึดติดได้ดีกับ คอนกรีต, อิฐ, โลหะ, พลาสติก และไม้ พาราลอยด์ B-67 มีองค์ประกอบทางเคมี คือ IBMA Polymer ค่าความแข็ง 11-12 (ความแข็งสูงสุดของฟิล์มใส KHN)

แข็งกว่าพาราโลยด์ B-72 แต่ละลายได้ง่ายกว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ ( $T_g$ ) =  $50^{\circ}\text{C}$  ความหนาแน่นรวม ปอนด์/แกลลอน ( $25^{\circ}\text{C}$ ) อยู่ที่ 8.7 พารามิเตอร์การละลาย = 8.6

เรซินนี้ละลายได้ในมิเนอร์ลสปิริท อาซีโตน แอลกอฮอล์ โทลูอิน ไซลีน และไกลคอล และเข้ากันได้กับกลุ่มของเรซินโพลีเอสเตอร์สังเคราะห์ (ประเภทที่ได้จากแอลกอฮอล์และกรดต่าง ๆ ที่ใช้ในวารนิช สี และกาว) สามารถใช้เป็นเกราะป้องกันฟอสซิลหรือเป็นตัวเคลือบ สีเหลืองเล็กน้อยตามอายุการใช้งาน พาราโลยด์ B-67 ใช้สำหรับสีอีนาเมล หมึกพิมพ์ น้ำยาเคลือบเงาใส และเป็นสารปรับแต่งสี มันถูกจัดให้เป็นเม็ดแข็งหรือเป็นสารละลายของแข็ง 45% ใน VM&P naphtha (Paraloid<sup>®</sup> B-67 45%) เรซินชนิดเดียวกันนี้ยังมีขายในชื่อ Paraloid<sup>®</sup> B-67MT



ภาพที่ 48 พาราโลยด์ B-67 ในรูปแบบเม็ด (ผลิตโดย The Dow Chemical Company)

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย

## 10. คุณสมบัติของสารละลายที่ใช้กับพาราโลยด์

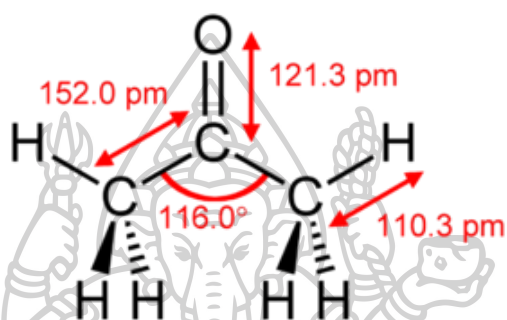
พาราโลยด์ เป็นหนึ่งในอะคริลิกโพลีเมอร์ที่ใช้บ่อยที่สุด การประยุกต์ใช้โพลีเมอร์จำเป็นต้องละลายในตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว ผู้วิจัยได้เลือกตัวทำละลายที่หาได้ง่ายและมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายพาราโลยด์ชนิดต่าง ๆ ข้างต้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 10.1 อาซีโตน (Acetone)

อาซีโตน (Acetone) หรือตามระบบตั้งชื่อเรียก โพรพานอน (อังกฤษ: propanone) ชื่ออื่น ๆ ได้แก่ Propan-2-one, 2-Propanone, Dimethyl ketone, Methyl ketone, beta-Ketopropane, Dimethyl formaldehyde และ Pyroacetic spirit มีสูตรโมเลกุล คือ  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  เป็นสารเคมีที่พื้นฐานที่สุดของคีโตน (ketone) อาซีโตน เป็นของเหลวที่ระเหยง่ายไม่มีสี น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) = 58.08 กรัม/โมล มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) ที่  $-95^{\circ}\text{C}$  และจุดเดือด (Boiling Point) ที่  $56.5^{\circ}\text{C}$  ความหนาแน่น (Density) เท่ากับ  $0.79\text{ g/cm}^3$  การละลายน้ำ

(Solubility) ละลายน้ำได้ดีที่ 1000 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่ 25 °C และละลายได้ดีใน เอทานอล อีเทอร์ ฯลฯ การใช้งานอะซิโตนที่คุ้นเคยกันมากที่สุดคือใช้น้ำยาล้างเล็บ แอซิโตน ยังใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรม พลาสติก ไฟเบอร์ ยา และ สารเคมีอื่น ๆ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)

อะซิโตน ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Schardinger จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียใน สภาวะไม่มีออกซิเจน โดยสามารถผลิตได้จากแบคทีเรียในกลุ่ม Cl. acetobutylicum และ Cl. beijerinckii ซึ่งวิธีนี้มีต้นทุนค่อนข้างสูง ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์อะซิโตนส่วนมากที่มีใช้ในปัจจุบันจะได้ จากกระบวนการสังเคราะห์จากปิโตรเลียม



ภาพที่ 49 โครงสร้างและขนาดของโมเลกุลอะซิโตน

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, เข้าถึงเมื่อ 3 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก <https://th.wikipedia.org/wiki>

อะซิโตน (Acetone) เป็นสารตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่มีกลุ่มฮาโลจีนเตตต์ ใช้มากในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมสำหรับใช้เป็นตัวทำละลายสารต่าง ๆ สามารถผลิต และสกัดได้จากธรรมชาติ และการสังเคราะห์ทางเคมีจากปิโตรเลียม

ประโยชน์ของอะซิโตน

1. ในภาคอุตสาหกรรม มักใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิตใน ภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคมี ผลิตภัณฑ์ หมึกพิมพ์ น้ำมันขัดเงา กาว แลคเกอร์ เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น เรซิน Bisphenol A สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการผลิต พลาสติกหลายชนิด เช่น โพลีคาร์บอเนต โพลียูรีเทน และเรซิน เป็นต้น

2. ห้องปฏิบัติการ มักใช้อะซิโตนสำหรับเป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารเคมี หรือ ใช้เป็นสารทำละลายสำหรับการสกัดสารอินทรีย์จากพืชหรือสัตว์

3. ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้แก่ ใช้สำหรับการชะล้าง และเป็นสารไล่น้ำ

อะซิโตน เป็นตัวทำละลายที่ใช้ง่ายมากที่สุด ให้ผิวเงา (ความมันวาวขึ้นอยู่กับความ เข้มข้นและพื้นผิว) ส่วนหนึ่งเป็นเพราะความสามารถในการเข้าถึง และส่วนหนึ่งเป็นเพราะ



ความสามารถในการระเหยอย่างรวดเร็ว (เหมาะสำหรับติดกาว) เป็นตัวทำละลายที่ระเหยง่ายที่สุดที่ใช้กันทั่วไป การระเหยอย่างรวดเร็วมีแนวโน้มที่จะดึงพอลิเมอร์กลับคืนสู่พื้นผิว (เรียกว่าการโยกย้ายย้อนกลับ) (ZOIC PALAEOTECH)

ข้อควรระวังของอาซิโตน คือ จัดเป็นสารอันตรายประเภทที่ 3 ตามประกาศ พ.ร.บ. วัตถุอันตราย ปี 2535 การสลายตัวจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ การสูดดมหรือหายใจเอาอาซิโตนเข้าสู่ระบบหายใจจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อบุทางเดินหายใจ เมื่อสัมผัสกับดวงตาจะทำให้ระคายเคือง และควรระวังการสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้ชั้นไขมันผิวหนังถูกทำลาย ทำให้ผิวหนังแดง อักเสบ เนื่องจากเป็นสารไวไฟมีจุดวาบไฟที่น้อยมากที่ -2 องศาเซลเซียส และลุกติดไฟได้เองที่ 465 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงมีโอกาสเกิดการติดไฟ และระเบิดได้ง่ายหากสัมผัสกับความร้อน และเปลวไฟ ควรเก็บในภาชนะที่ปิดบรรจุมิดชิด จัดเก็บในบริเวณที่แห้ง เย็น มีการระบายอากาศที่ดี ห่างจากแหล่งความร้อน

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้พิสูจน์แล้วว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ พาราลอยด์ B-72 คือ อาซิโตน เนื่องจากทำให้ส่วนผสมมีความหนืดต่ำและทำให้การระเหยเร็ว และมีความเป็นพิษต่ำมาก แต่มีข้อควรระวัง คือ อาซิโตนทำละลายกับสีบางชนิดซึ่งจะส่งผลให้สีของวัตถุหลุดออกมาด้วย อัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของตัวทำละลายต่อเรซินสามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้ผู้ใช้ควบคุมการใช้งานและตั้งเวลาสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอล โทลูอิน ไซลีน หรือเอทิลอะซิเตต มักถูกใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการทำงานของเรซินในด้านความแข็งและความยืดหยุ่นทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการใช้งาน ผลการศึกษาพบว่าตัวทำละลายทั้งหมดยังคงอยู่เป็นเวลานานในฟิล์ม Paraloid® เมื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ DSC ยังเน้นให้เห็นข้อเท็จจริงที่ว่าตัวทำละลายตกค้างมีผลกระทบอย่างมากต่อค่าของฟิล์ม Tg อันที่จริง ตัวทำละลายตกค้างลดค่า Tg ของ Paraloid® ลงอย่างมีนัยสำคัญ (ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีถึง 30 °C) สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการพิจารณาผลกระทบของตัวทำละลายต่อคุณสมบัติของเรซิน (Effect of solvent on PARALOID®)



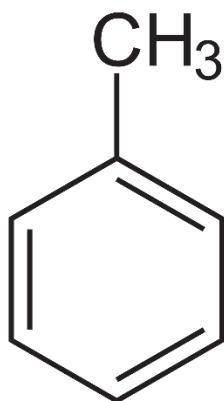
ภาพที่ 50 อาซิโตน

ที่มา : Ecochem, เข้าถึงเมื่อ 3 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก <https://www.ecochem.co.nz/order-chemicals/uncategorised/acetone/>

## 10.2 โทลูอิน (Toluene)

โทลูอิน (Toluene) หรือที่รู้จักกันในชื่อ เมทิลเบนซีน (Methyl benzene) หรือ ฟีนิลมีเทน (Phenylmethane) เป็นของเหลวที่ไม่ละลายในน้ำ กลิ่นคล้ายสีทาบ้าน เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสารตั้งต้นและเป็นตัวทำละลาย เช่นเดียวกับตัวทำละลายอื่น ๆ โทลูอินเป็นสารระเหยที่ทำให้เกิดอาการเสียดท้องได้ โทลูอินมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ  $C_7H_8$  มีน้ำหนักมวลต่อหนึ่งโมล เท่ากับ 92.14 g/mol มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) ที่  $-93\text{ }^{\circ}\text{C}$  และจุดเดือด (Boiling Point) ที่  $110.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ความสามารถละลายได้ในน้ำ (Solubility) 0.47 g/l ( $20\text{-}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ความหนืด 0.590 cP at  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

สารประกอบนี้ถูกแยกออกเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1837 ผ่านการกลั่นน้ำมันจากต้นสน โดยนักเคมีชาวโปแลนด์ ชื่อ Filip Walter ซึ่งตั้งชื่อว่า rétinnaphte ในปี ค.ศ. 1841 นักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ Henri Étienne Sainte-Claire Deville ได้แยกสารไฮโดรคาร์บอนออกจากยาหม่องของ Tolu (สารสกัดอะโรมาติกจากต้น Myroxylon balsamum เขตร้อนของโคลอมเบีย) ซึ่ง Deville จำได้ว่าคล้ายกับ rétinnaphte ของวอลเตอร์ และกับน้ำมันเบนซิน ดังนั้นเขาจึงเรียกว่า The new hydrocarbon benzoène ในปี ค.ศ. 1843 Jöns Jacob Berzelius แนะนำชื่อว่า toluin ในปี ค.ศ. 1850 นักเคมีชาวฝรั่งเศส Auguste Cahours ได้แยกสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งเขาจำได้ว่าคล้ายกับน้ำมันเบนซินของ Deville และ Cahours ได้ตั้งชื่อว่า toluene



ภาพที่ 51 โครงสร้างของโทลูอิน

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Toluene>

ปฏิกิริยาของโทลูอินเป็นเช่นเดียวกับอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทั่วไป คือการแทนที่ที่วงโรมาติก ทำให้โทลูอินว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่าเบนซีนถึง 25 เท่า ในปฏิกิริยาแบบเดียวกันเกิดปฏิกิริยา sulfonation ได้เป็น p-toluenesulfonic acid และ chlorination โดย  $\text{Cl}_2$  เมื่อมี  $\text{FeCl}_3$  ได้เป็นไอโซเมอร์ชนิดพาราและออร์โธของ chlorotoluene เกิดปฏิกิริยา nitration ได้พาราและออร์โธ- nitrotoluene แต่ถ้าได้รับความร้อนจะกลายเป็น dinitrotoluene และสารที่ใช้ทำระเบิด trinitrotoluene (TNT) ทำให้โทลูอินติดไฟได้ดีและระเบิดได้

หมู่เมทิลของโทลูอินทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้หลายตัว เช่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ potassium permanganate และกรดเจือจาง (เช่น sulfuric acid) หรือ potassium permanganate กับกรดซัลฟูริกเข้มข้น ทำให้เกิด กรดเบนโซอิกซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับ chromyl chloride จะได้ benzaldehyde (Étard reaction) เกิดปฏิกิริยา Halogenation ในสภาวะที่มีอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น N-bromosuccinimide (NBS) เมื่อให้ความร้อนกับโทลูอินและมี AIBN ทำให้ได้ benzyl bromide โทลูอินสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุโบรมีน เมื่อมีแสงยูวี (จากแสงแดดโดยตรง) ได้ benzyl bromide โทลูอินสามารถทำปฏิกิริยากับ HBr และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  เมื่อมีแสงสว่าง

โทลูอินเกิดขึ้นตามธรรมชาติในระดับต่ำในน้ำมันดิบ และเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันเบนซินโดยตัวเร่งปฏิกิริยาปฏิรูปหรือเอทิลีน แครกเกอร์ นอกจากนี้ยังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไค้กจากถ่านหิน การแยกและการทำให้บริสุทธิ์ในขั้นสุดท้ายทำได้โดยกระบวนการกลั่นหรือสกัดด้วยตัวทำละลายใด ๆ ที่ใช้สำหรับ อะโรเมติกส์ BTX (เบนซีน โทลูอิน และไซลีนไอโซเมอร์) โทลูอินสามารถผสมกันได้ (ละลายได้ในทุกสัดส่วน) กับเอทานอล, เบนซีน, ไดเอทิลอีเทอร์, อะซิโตน, คลอโรฟอร์ม, กรดอะซิติก น้ำแข็ง และคาร์บอนไดซัลไฟด์แต่ไม่สามารถผสมกับน้ำได้ โทลูอินมีความ

เป็นพิษน้อยกว่าเบนซีน จึงถูกนำมาใช้แทนที่ในฐานะตัวทำละลายอะโรมาติกในการเตรียมสารเคมี ตัวอย่างเช่น เบนซีนเป็นสารก่อมะเร็ง แต่โทลูอินมีฤทธิ์เป็นสารก่อมะเร็งน้อยกว่า โทลูอินมักใช้เป็นตัวทำละลายน้อยกว่าสารตัวอื่น เพราะมันอาจจะแห้งช้าเกินไปสำหรับบางสถานการณ์ มีความเป็นพิษมากเมื่อเทียบกับตัวทำละลายอื่น ๆ และมีความเจ้าน้อยกว่าผสมกับอะซิโตน โทลูอินเหมาะสำหรับงานอนุรักษ์สภาพแวดล้อมและไม่มากกว่าอะซิโตน

โทลูอินมีผลเสียต่อสุขภาพ ไม่ควรสูดดมไอระเหยของโทลูอิน หากได้รับสารในปริมาณความเข้มข้นสูง จะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง เซลล์เม็ดเลือดผิดปกติ จะมีอาการอ่อนเพลีย มีเหงื่อ อารมณ์คล้ายเมาเหล้า เสียความทรงจำ คลื่นเหียน เบื่ออาหาร สูญเสียการได้ยินและการมองเห็น อาการเหล่านี้จะหายไปเมื่อหยุดสัมผัส การหายใจเอาไอระเหยเข้าไปในระดับสูงในเวลาสั้น คลื่นเหียน อาเจียน ล้มลงหรือหมดสติ อาจถึงตายได้ หากถูกผิวหนัง จะทำให้ผิวหนังแห้งและระคายเคือง ถ้าไอระเหยเข้าตา จะทำให้ระคายเคืองตา แต่ถ้าหากกระเด็นเข้าตาจะทำให้เจ็บปวด (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี) ควรเก็บในภาชนะที่ปิดบรรจุมิดชิด จัดเก็บในบริเวณที่แห้ง เย็น มีการระบายอากาศที่ดี ห่างจากแหล่งความร้อน เมื่อต้องการใช้งานควรสวมถุงมือและสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการหายใจแบบหน้ากากพร้อมไส้กรองสารเคมีที่ระบุสาร toluene ที่ดัดแปลง



ภาพที่ 52 โทลูอิน

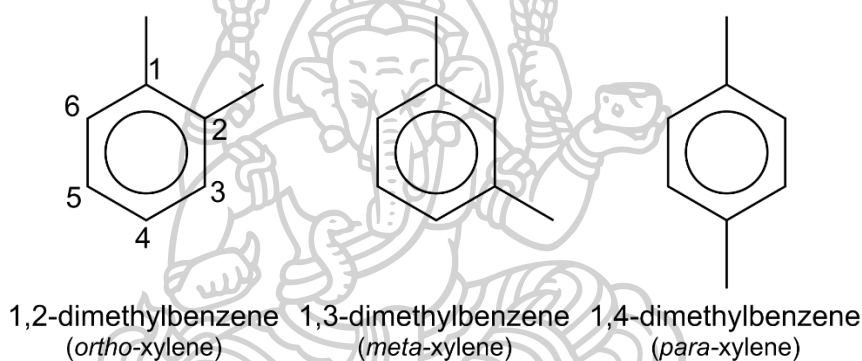
ที่มา : โทลูอิน (Toluene) การผลิต การใช้ประโยชน์ และพิษโทลูอิน, เข้าถึงเมื่อ 6 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก <https://siamroommate.com>

### 10.3 ไซลีน (Xylene)

ไซลีน (Xylene) หรือชื่อทางเคมีคือ ไดเมทิลเบนซีน (Dimethyl-Benzene) เป็นสารประกอบอินทรีย์สามชนิดที่มีสูตร  $(\text{CH}_3)_2\text{C}_6\text{H}_4$  พวกมันได้มาจากการแทนที่ของไฮโดรเจนสอง

อะตอมด้วยหมู่เมทิลในวงแหวนเบนซีน ไฮโดรเจนที่ถูกแทนที่เป็นตัวกำหนดผลลัพท์ของไอโซเมอร์ โครงสร้างสามแบบ เป็นของเหลวไม่มีสี ไวไฟ มีไขมันเล็กน้อยซึ่งมีมูลค่าทางอุตสาหกรรมสูง

ไซลีนผลิตโดยเมทิลเลชันของโทลูอินและเบนซีน ถูกแยกออกเป็นครั้งแรกและตั้งชื่อในปี ค.ศ. 1850 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ Auguste Cahours (1813–1891) ซึ่งถูกค้นพบว่าเป็นส่วนประกอบของน้ำมันดิน ไซลีนเป็นปิโตรเคมี ที่สำคัญที่ผลิตขึ้นโดยการปฏิรูปตัวเร่งปฏิกิริยาและโดยการเป็นถ่านกัมมันต์ ในการผลิตเชื้อเพลิงโค้ก พวกเขายังเกิดขึ้นในน้ำมันดิบในระดับความเข้มข้นประมาณ 0.5–1% ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา มีปริมาณเล็กน้อยเกิดขึ้นในน้ำมันเบนซินและเชื้อเพลิงอากาศยาน ไซลีนส่วนใหญ่ผลิตขึ้นโดยเป็นส่วนหนึ่งของ อะโรเมติกส์ BTX (เบนซีน โทลูอินและไซลีน) ที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ของการปฏิรูปตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า ฟอร์เมต



ภาพที่ 53 ไซลีนไอโซเมอร์สามตัว: o-xylene, m-xylene และ p-xylene

ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, เข้าถึงเมื่อ 6 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Xylene>

คุณสมบัติทางกายภาพของไอโซเมอร์ของไซลีนแตกต่างกันเล็กน้อย มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) เท่ากับ 106.2 จุดหลอมเหลวมีตั้งแต่  $-47.87\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-54.17\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) ( m-xylene) ถึง  $13.26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $55.87\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) ( p-xylene) จุดหลอมเหลวของพาราไอโซเมอร์จะสูงกว่ามากเนื่องจากการบรรจุมากกว่า จุดเดือดของไอโซเมอร์แต่ละตัวอยู่ที่ประมาณ  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $284\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) ความหนาแน่นของไอโซเมอร์แต่ละตัวอยู่ที่ประมาณ  $0.87\text{ g/mL}$  ( $7.26\text{ lb /US gallon}$  หรือ  $8.72\text{ lb/ imp gallon}$ ) ดังนั้นจึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ กลิ่นของไซลีนสามารถตรวจพบได้ที่ความเข้มข้นต่ำถึง  $0.08$  ถึง  $3.7\text{ ppm}$  (ส่วนของไซลีนต่ออากาศหนึ่งล้านส่วน) และสามารถลิ้มรสได้ในน้ำที่  $0.53$  ถึง  $1.8\text{ ppm}$

ประโยชน์ของไซลีน คือ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมการพิมพ์ยางและเครื่องหนัง เป็นส่วนประกอบทั่วไปของหมึกยางและกาว ในการทำให้สีบางและเคลือบเงา ผลิตภัณฑ์สีย้อมสารกำจัดศัตรูพืช และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน สามารถใช้แทนโทลูอีนได้หากต้องการทำให้แห้งช้ากว่า และด้วยเหตุนี้ผู้นักวิจัยวัสดุทางศิลปะจึงนำไปใช้ในการทดสอบความสามารถในการละลาย และใช้เป็นสารทำความสะอาด สำหรับเหล็กซิลิคอนเวเฟอร์และวงจรรวม ไซลีนยังเป็นส่วนประกอบที่พบบ่อยของตัวทำละลายพาราฟิน ซึ่งใช้เมื่อท่ออุดตันด้วยขี้ผึ้งพาราฟิน

ไซลีนใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ถึงปฏิกิริยาเย็นลงและใช้เป็นตัวทำละลายในการขจัดน้ำมันแช่แข็งคราห์ออก ในกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะใช้ไซลีนเพื่อขจัดพาราฟินออกจากสไลด์ไมโครสโคปแห่งก่อนการย้อมสีหลังจากการย้อมสี สไลด์ไมโครสโคปจะถูกใส่ในไซลีนก่อนที่จะติดตั้งด้วยแผ่นปิด



ภาพที่ 54 ไซลีน

ที่มา : Science Company, เข้าถึงเมื่อ 6 มิถุนายน 2565, เข้าถึงจาก

<https://www.sciencecompany.com /Xylenes-1L-Reagent-ACS-985-P16962>

ไซลีนเป็นสารไวไฟหมดหมู่ 3 มีความเป็นพิษเฉียบพลันหมดหมู่ 4 ระคายเคืองต่อผิวหนังหมดหมู่ 2 ผลกระทบหลักของการสูดดมไอระเหยของไซลีนคือภาวะซึมเศร้าของระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) โดยมีอาการต่าง ๆ เช่น ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ คลื่นไส้และอาเจียน เมื่อสัมผัสถึง 100 ppm อาจมีอาการคลื่นไส้หรือปวดศีรษะ เมื่อได้รับสารระหว่าง 200 ถึง 500 ppm อาการอาจรวมถึงความรู้สึก "สูง" เวียนศีรษะ อ่อนแรง หงุดหงิด อาเจียน และเวลาตอบสนองช้าลง ผลข้างเคียงจากการสัมผัสกับไซลีนที่มีความเข้มข้นต่ำ (< 200 ppm) สามารถย้อนกลับได้และไม่

ก่อให้เกิดความเสียหายถาวร การได้รับสารเป็นเวลานานอาจนำไปสู่อาการปวดหัว หงุดหงิด ซึมเศร้า นอนไม่หลับ กระสับกระส่าย เหนื่อยล้าอย่างรุนแรง ตัวสั่น สูญเสียการได้ยิน สมาธิสั้น และสูญเสียความจำระยะสั้น ภาวะที่เรียกว่า เอนเซ็ปฟาโลพาทีที่เกิดจากตัวทำละลายเรื้อรังหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า "กลุ่มอาการของตัวทำละลายอินทรีย์" มีความเกี่ยวข้องกับการได้รับสารไซลีน มีข้อมูลเพียงเล็กน้อยที่แยกไซลีนออกจากการสัมผัสตัวทำละลายอื่น ๆ ในการตรวจสอบผลกระทบเหล่านี้ ไซลีนยังเป็นสารระคายเคืองต่อผิวหนังและลอกผิวของน้ำมันออก ทำให้สามารถซึมผ่านสารเคมีอื่น ๆ ได้มากขึ้น จึงแนะนำให้ใช้ถุงมือและหน้ากากแบบกันซึม ร่วมกับเครื่องช่วยหายใจตามความเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านอาชีวอนามัยจากการสัมผัสสารไซลีน (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)



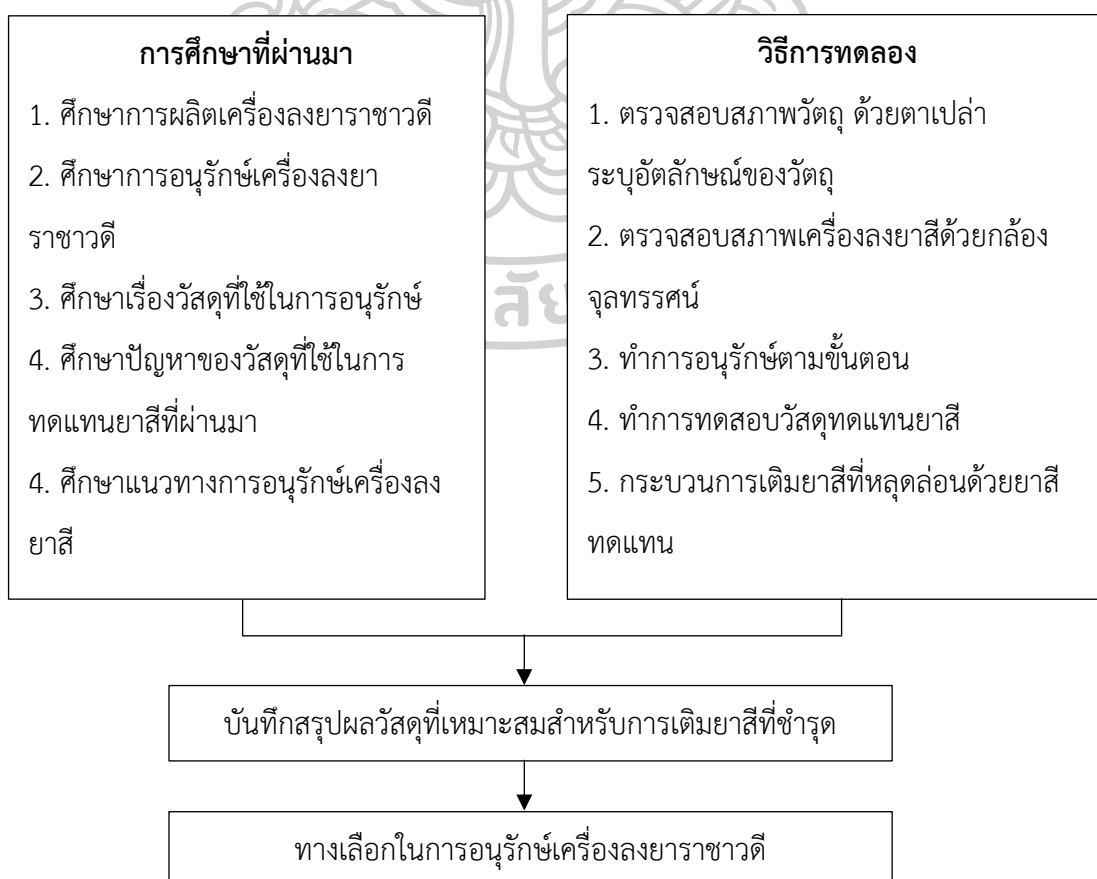
### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาราชาวดี ด้วยการค้นหาวัสดุทดแทนยาสี เพื่อนำมาแต่งเติมซ่อมแซมเครื่องลงยาราชาวดี เป็นการศึกษาแนวคิดทฤษฎีของการอนุรักษ์ฟื้นฟู ที่เป็นการพยายามทำให้วัตถุคืนสู่สภาพเดิม (ก่อนการเสื่อมสภาพ) อาจมีการเพิ่มเติมส่วนที่ชำรุดเสียหายไป และในการซ่อมแซมต้องพยายามทำให้สีของส่วนที่ซ่อมแซมคล้ายของเดิม เพื่อให้เป็นรูปแบบที่มองดูแล้วครบถ้วนและไม่ขัดตา ใช้ในการบูรณะซ่อมแซมมีความหมายรวมถึงการทำให้วัตถุ นั้นกลับสู่สภาพที่ใช้งานได้ หรือทำให้วัตถุแข็งแรงขึ้นด้วย แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถมองเห็น ความแตกต่างระหว่างส่วนที่เป็นของเดิมกับส่วนที่ต่อเติมใหม่ จากหลักการนี้ผู้ศึกษาจึงมุ่งเน้นการ ปฏิบัติ ทดลองจริง กำหนดกลุ่มตัวอย่าง รวบรวมข้อมูล บันทึกผลการปฏิบัติ และวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยมีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

#### 1. กรอบแนวคิดในการศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

##### 1.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา





## 1.2 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

ศึกษาลักษณะของการเสื่อมสภาพของกลุ่มตัวอย่างประเภทพระจุฑามณีทองคำลงยา (ปิ่นปักผม) ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น วัสดุตัวแกนด้านในเป็นโลหะและชั้น ด้านนอกบุด้วยทองคำลงยา กระฉั่ง ลงยาสีแดง สีเขียว และสีขาว ยอดฝังทับทิม ซึ่งเป็นปิ่นปักพระเมมาฬีหรือจุกสำหรับเจ้านาย ก่อนการพระราชพิธีโสกันต์ จำนวน 2 ชิ้น



ภาพที่ 55 พระจุฑามณีทองคำลงยา (ปิ่นปักผม) ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น  
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

## 2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษางานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยได้ศึกษาข้อมูลการเสื่อมสภาพ ด้วยสาเหตุต่าง ๆ และกระบวนการอนุรักษ์งานลงยาสีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองยาสีทดแทน ดังนี้

### 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำรวจและเก็บข้อมูล

1. สมุดบันทึกข้อมูล และเครื่องเขียน
2. สายวัด
3. ถู่มือไนไตร
4. ผ้าปิดปาก
5. กล้องถ่ายรูประบบดิจิทัลและเลนส์ขยายติดกล้องมือถือ
6. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิทัล รุ่น professional digital table top scale 2000gx0.1g
7. แบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพวัตถุ (Documentation And Condition Assessment) สร้างโดยผู้วิจัย





## 2.2 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัสดุทดแทนยาสี

1. พาราลอยด์ บี 72 (Paraloid B-72)
2. พาราลอยด์ บี 44 (Paraloid B-44)
3. พาราลอยด์ บี 48 เอ็น (Paraloid B-48N)
4. พาราลอยด์ บี 67 (Paraloid B-67)
5. อะซีโตน (Acetone)
6. โทลูอิน (Toluene)
7. ไซลีน (Xylene)
8. เอทิล แอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol)
9. สีอะคริลิกสำหรับผสมยาสี สีแดง สีเขียว สีเหลือง สีนํ้าเงิน สีขาว
10. ช้อนตักสารและไม้พาย (Spatula)
11. ปีกเกอร์ (Beaker)
12. ขวดแก้วมีฝาเกลียว ขนาด 30 ml.
13. กระจบอกตวง (Measuring cup)
14. แท่งแก้วคนสาร (Glass rod)
15. ไม้ปั่นสี
16. หลอดดูดสารละลาย
17. แผ่นกระจกสำหรับรองรับยาสี ขนาดกว้าง 5 cm. ยาว 11 cm. หนา 0.2 cm.
18. แผ่นโลหะเงินแบบกลมสำหรับรองรับยาสี เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 cm. หนา 0.2 มิลลิเมตร




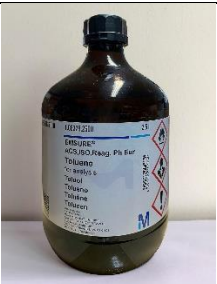


ภาพที่ 56 แผ่นโลหะเงินสำหรับการทดลองยาสี

ตารางที่ 6 สารพาราลอยด์เรซินที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	สารพาราลอยด์เรซิน	แหล่งที่มา	รูปภาพ
1.	พาราลอยด์ B-72	The Dow Chemical Company	
2.	พาราลอยด์ B-44	The Dow Chemical Company	
3.	พาราลอยด์ B-48N	The Dow Chemical Company	
4.	พาราลอยด์ B-67	The Dow Chemical Company	

ตารางที่ 7 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	สารเคมี	แหล่งที่มา	รูปภาพ
1.	อาซีโตน	บ. วิทยาศาสตร์ จำกัด	

2.	โทลูอิน	Merck, Germany	
3.	ไซลีน	บ. พี. ไว จำกัด	
4.	เอทิล แอลกอฮอล์	SCI TRADER	

## 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.3.1 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD<sup>®</sup> 510 ยี่ห้อ Fischer ของ Laser Jewelry Center  
 FISCHER GOLDSCOPE SD<sup>®</sup> 510 XRF สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดเอ็กซ์เรย์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF) เพื่อวิเคราะห์โลหะมีค่าและโลหะผสมในองค์ประกอบและความหนาของการเคลือบแบบไม่ทำลายผิววัตถุ มาตรฐาน DIN ISO 3497 และ ASTM B 568 แสดงผลค่าเปอร์เซ็นต์พร้อมระบบพิมพ์รายงานผลส่วนผสมในโลหะ (Interface Ingredient Information) ใช้ศึกษาส่วนผสมของโลหะโดยประมาณในเครื่องประดับพระจุฑามณี



ภาพที่ 57 เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD® 510 ยี่ห้อ Fischer  
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

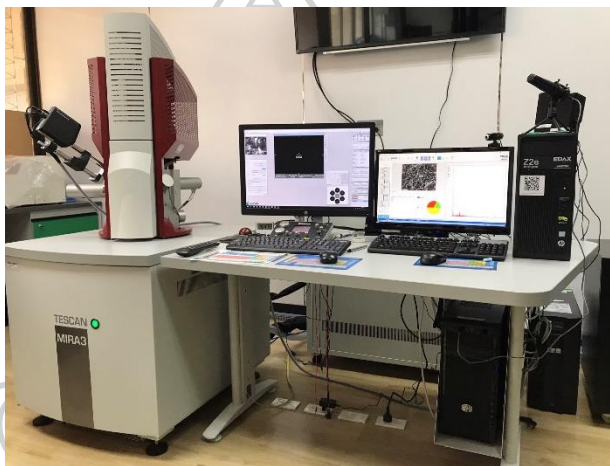
2. กล้องจุลทรรศน์ Celestron Compound Microscope Labs CB2000CF ของสาขา  
อนุรักษ์ศิลปกรรม คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร  
กล้องจุลทรรศน์ Celestron Compound Microscope Labs CB2000CF เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้  
สำหรับการวิจัย การตรวจสอบชิ้นงาน และวัสดุต่าง ๆ กำลังขยาย 40x ถึง 2000x ในการศึกษาครั้งนี้  
ใช้สำหรับตรวจสอบลักษณะผิวของยาสีทดแทน



ภาพที่ 58 กล้องจุลทรรศน์ Celestron Compound Microscope Labs CB2000CF  
ที่มา : <https://www.celestron.com/products/celestron-labs-cb2000cf>

3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจาย  
พลังงานของรังสีเอกซ์

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM-EDX)) ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3 ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นเครื่องมือที่นำไปใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดเล็ก มีคุณสมบัติในการแยกรายละเอียดของภาพได้มากกว่ากล้องจุลทรรศน์ทั่วไป โดยสามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพได้ถึง 100 นาโนเมตร ได้ภาพ 3 มิติ จะใช้ศึกษารายละเอียดของโครงสร้างภายนอกหรือผิวของวัตถุ หรือการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้ และเพื่อระบอบุองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในตัวอย่าง เช่น ผลึกของ รงควัตถุที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ศึกษา ลักษณะของยาสีบนพระจุฑาภรณ์



ภาพที่ 59 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

4. อุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Digital Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) รุ่น Shore 0-100H(D)

เป็นเครื่องวัดความแข็งแบบหัวกด ใช้วัดวัสดุในเชิงของความยืดหยุ่น ความสามารถในการต้านทานของแรงกดที่กดลงไปในวันวัสดุ เครื่องวัดความแข็งประเภทนี้จะประกอบไปด้วย หัวกด แผ่นกดและสปริง ระยะของหัวกดและแผ่นกดจะสัมพันธ์กับสปริงและแบ่งสเกลเป็น 100 ส่วน ตัวอย่างเช่น ระยะของหัวกดและแผ่นกด 2.5 มม. ดังนั้นทุก ๆ 0.025 มม. จะมีค่าเท่ากับ 1 Shore การทดสอบจะทำได้โดยการกดหัวทดสอบลงไปที่วัสดุ แล้ววัดระยะดังกล่าวแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข 0-100

อ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 868 ค่าความแข็งของยางและพลาสติกจะถูกวัดค่าเป็นหน่วย Shore A หรือ Shore D มีค่าเป็น 0-100 สเกล A ใช้สำหรับสเกลที่นุ่มกว่า มีความยืดหยุ่นมากกว่า เช่น ยาง

ยางลบดินสอ อีลาสโตเมอร์ พอลิเมอร์แบบนิ่ม ในขณะที่สเกล D ใช้สำหรับสเกล ที่แข็งกว่า เช่น พลาสติกแข็ง อะคริลิก ตามมาตรฐาน ISO ในการศึกษาคั้งนี้ใช้สำหรับตรวจสอบเปรียบเทียบความแข็งของสารยาสีทดแทน



ภาพที่ 60 อุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Digital Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) รุ่น Shore 0-100H(D)  
ที่มา : <https://www.lazada.co.th>

5. เครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น TG 209 F3 Tarsus

เทอร์โมกราวิเมทรี (Thermogravimetry) เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบน้ำหนักของสารตัวอย่างโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA) เทียบกับเวลา มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางร่วมกับ DSC และ DMA ใช้ในการตรวจหาคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปในบรรยากาศที่มีการควบคุมอย่างละเอียด TGA จะวัดมวลของตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างถูกทำให้ร้อนขึ้นหรือเย็นลงในบรรยากาศที่กำหนดไว้ สามารถใช้วิเคราะห์ความเสถียรของของวัสดุ ได้แก่ พอลิเมอร์ เซรามิก การใช้งานหลัก ๆ ของ TGA คือเพื่อตรวจหาลักษณะเฉพาะของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของวัสดุนั้น เมื่อสารตัวอย่างในรูปของแข็งได้รับความร้อน จะทำการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เครื่องนี้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ หรือการระเหยของน้ำ หรือการที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโมเลกุล การแตกตัวของวัสดุ หรือการตกผลึกที่เกิดจากการเปลี่ยนเฟส



ภาพที่ 61 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำหนักตามอุณหภูมิ Thermal Gravimetric Analyzer (TGA)

ที่มา : <https://strec.chula.ac.th/equipments-rates/thermogravimetric-analyzer-tga>

#### 6. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter – DSC

DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง การทดสอบ TGA/DSC ยังให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อนที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวล เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว หรือการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งสู่ของแข็งอื่น ๆ

หลักการทำงาน คือ ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของ Heat Flow ของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับสารอ้างอิง ซึ่งในการทดสอบจะใช้ Pan หรือ Crucible เปล่า ๆ ที่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างในการอ้างอิง โดยสารตัวอย่าง และสารอ้างอิงจะถูกให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานสองแหล่งที่แยกกัน โดยจะควบคุมการให้ความร้อนกับถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (endothermic or exothermic processes) หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (heat capacity changes) จึงนำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหา กลาสทรานซิชัน (glass transition,  $T_g$ ) การหลอมเหลว (melting) กระบวนการตกผลึก (crystallization process) และความจุความร้อน (heat capacity) เป็นต้น ผลการวิเคราะห์สามารถบอกได้ว่าในแต่ละช่วงอุณหภูมิเกิด ปรากฏการณ์ใดขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้นทำให้ทราบถึงพฤติกรรมทางความร้อนของวัสดุซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ





ภาพที่ 62 เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่าง Differential Scanning Calorimeter – DSC

ที่มา : <https://strec.chula.ac.th/equipments-rates/thermogravimetric-analyzer-tga>

### 3. วิธีการวิจัย

#### 3.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพพระจุฑามณีทองคำลงยา

3.1.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพพระจุฑามณีจำนวน 2 ชิ้น ใช้วิธีการสำรวจด้วยตาเปล่าและถ่ายภาพจุดที่เสื่อมสภาพด้วยกล้องดิจิทัลตติเลนส์ขยาย (CU Smartlens) เป็นเลนส์ขยายที่ติดกับกล้องโทรศัพท์มือถือ เปรียบเสมือนเป็นกล้องจุลทรรศน์ขนาดพกพา กำลังขยาย 20 และ 40 เท่า และเก็บไฟล์ในรูปแบบ JPEG โดยได้จัดทำแบบบันทึกหลักฐานการตรวจสอบสภาพวัตถุขึ้นมาใหม่ด้วยตนเองมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 8 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณี

รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา	
1. ข้อมูลทั่วไปของวัตถุ	
ปีที่สร้างงาน	ศิลปะยุครัตนโกสิน ตอนต้น (ไม่ทราบปีที่สร้าง)
ช่าง/ศิลปินผู้ผลิต	ช่างทองหลวง
สถานที่ผลิต	ประเทศไทย
การใช้งาน	เป็นเครื่องประดับใช้สำหรับปักพระเมมาฬี หรือ จุก สำหรับเจ้านาย ก่อนการพระราชพิธีโสกันต์
วัสดุและเทคนิคที่ใช้ในการสร้างงาน	ทองคำ
ขนาดและน้ำหนัก	ยาว 115 มิลลิเมตร น้ำหนัก 12.80 กรัม
ผู้ครอบครองหรือสถานที่เก็บรักษา	บริษัท กรุสยาม จำกัด

2. ประเมินสภาพวัตถุ	
<input type="checkbox"/> ดี	<input type="checkbox"/> ปกติ <input checked="" type="checkbox"/> ชำรุด <input type="checkbox"/> ชำรุดมาก
3. ผู้บันทึกข้อมูล	นายธีรพงษ์ ภูเขียว
4. วันที่สำรวจ	7 กันยายน 2565 เวลา 10.00 น.

3.1.2 นำชิ้นงานตัวอย่างตรวจวิเคราะห์วัสดุของโลหะในพระจุฑาภรณ์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDScope SD® 510 XRF ยี่ห้อ FISCHER เพื่อนำไปเป็นข้อมูลประกอบกับประวัติและบันทึกแบบบันทึกหลักฐานการสำรวจสภาพวัตถุที่สร้างขึ้น

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างพาราลอยด์เรซินและตัวทำละลาย

3.2.1 นำสารพาราลอยด์เรซินทั้ง 4 ชนิด อันได้แก่ พาราลอยด์ B-72, พาราลอยด์ B-44, พาราลอยด์ B-48N และ พาราลอยด์ B-67 มาชั่งและตวงตัวทำละลาย อันได้แก่ อาซีโตน โทลูอิน และไซลีน โดยใช้สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (}\%w/v\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรสารละลาย}} \times 100$$

จากสูตร หากต้องการจะได้สารละลายพาราลอยด์เรซินเข้มข้น 10% 20% และ 30% ต่อปริมาตรสารละลาย 20 ml. น้ำหนักของสารพาราลอยด์เรซินที่ต้องใช้คือ 2 กรัม 4 กรัม และ 6 กรัม ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 10\% (}\%w/v\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g.)}}{20 \text{ ml.}} \times 100$$

$$10\% (}\%w/v\text{)} = \text{น้ำหนักตัวถูกละลาย} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 20\% (}\%w/v\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g.)}}{20 \text{ ml.}} \times 100$$

$$20\% (}\%w/v\text{)} = \text{น้ำหนักตัวถูกละลาย} = 4 \text{ กรัม}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 30\% (}\%w/v\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g.)}}{20 \text{ ml.}} \times 100$$

$$30\% (}\%w/v\text{)} = \text{น้ำหนักตัวถูกละลาย} = 6 \text{ กรัม}$$

3.2.2 ผสมสารพาราลอยด์เรซิน 4 ชนิด ได้แก่ พาราลอยด์ B-72 พาราลอยด์ B-44 พาราลอยด์ B-48N และ พาราลอยด์ B-67 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลาย 3 ชนิด ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ได้แก่ อาซีโตน โทลูอิน และไซลีน ผสมสารสีอะคริลิกสีเขียว 3% และทั้งสารไว้ 24 ชม. เพื่อให้ส่วนผสมละลาย

ตารางที่ 9 ประเภทของสารที่ทดสอบ

ลำดับ	สารเรซินที่ทดสอบ	ชนิดโพลีเมอร์ / โคอพอลิเมอร์	ความเข้มข้นของเรซิน	ตัวทำละลายที่ใช้ทดสอบ
1	พาราลอยด์ B-72	Ethyl methacrylate, methyl acrylate	10, 20, 30%	Acetone 100% Toluene 100% Xylene 100%
2	พาราลอยด์ B-44	Methyl methacrylate, ethyl acrylate	10, 20, 30%	Acetone 100% Toluene 100% Xylene 100%
3	พาราลอยด์ B-48N	methyl methacrylate, butyl acrylate	10, 20, 30%	Acetone 100% Toluene 100% Xylene 100%
4	พาราลอยด์ B-67	isobutyl methacrylate	10, 20, 30%	Acetone 100% Toluene 100% Xylene 100%

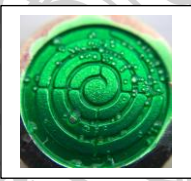

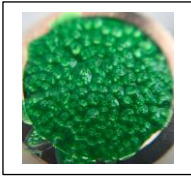
ตารางที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมสารยาสีทดแทน


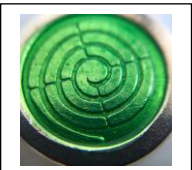


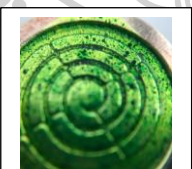

1. ชั่งพาราลอยด์เรซิน	2. ตวงและผสมตัวทำละลาย	3. ปิดฝาหิ้งไว้จนละลายหมด
		
4. ผสมสี	5. ทำความสะอาดแผ่นเงินด้วยแอลกอฮอล์	6. หยอดยาสีบนแผ่นโลหะเงิน
		

3.2.3 ทำการทดลองเบื้องต้น โดยนำสารที่ได้มาหยอดยาสีด้วยเทคนิคยาเย็นลงบนพื้นผิวแผ่นโลหะเงินแบบกลมที่สร้างจำลองขึ้นมาใหม่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อสังเกตลักษณะของยาสีในด้านความเงางาม ความใส การเกิดฟองอากาศ ความหนืด การระเหยของสารละลาย

3.2.4 คัดเลือกตัวทำละลายและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการหยอดยาสี ด้วยการประเมินผลด้วยสายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Smartlens กำลังขยาย 20 เท่า บันทึกและจัดเก็บข้อมูลลงในตารางที่สร้างขึ้น (ดังตารางที่ 11-14) หลังจากนั้นนำสารที่ได้คัดเลือกเข้าสู่กระบวนการทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

ตารางที่ 11 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-72 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และไซลีน

ลำดับที่	ความเข้มข้นของพาราลอยด์ B-72	ภาพประกอบ	ชนิดของตัวทำละลาย	ลักษณะที่ปรากฏ	ความหนืดขณะหยอดยาสี	การให้คะแนน
1	10%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศเล็กน้อย ยาสีใส	หนืดปานกลาง	5
2	20%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศค่อนข้างมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	2
3	30%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	1

4	10%		โพลูอิน	ยาสีใส สีเจือ จาง ผิวเรียบ มั่น วาว	หนืดน้อยมาก	7
5	20%		โพลูอิน	ยาสีใส ผิวเรียบ มั่น วาว	หนืดปาน กลาง	8
6	30%		โพลูอิน	ยาสีใส ผิว เรียบมันวาว	หนืดปาน กลาง	9
7	10%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือจาง	หนืดน้อยมาก	6
8	20%		ไซลีน	ยาสี ตกตะกอน มาก	หนืดปาน กลาง	4
9	30%		ไซลีน	ยาสี ตกตะกอน มาก	หนืด ค่อนข้างมาก	3

การทดสอบสารพาราโลยด์ B-72 ผสมสารสีในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และ ไซลีนบนแผ่นโลหะเงิน ประเมินผลด้วยสายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Smartlens พบว่าสารพาราโลยด์ B-72 ในโทลูอินได้คะแนนสูงสุดในด้านความเงา ความใส รองลงมาคือพาราโลยด์ B-72 ในไซลีน แต่พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 20% และ 30% ยาสีในไซลีนจะตกตะกอนมาก และสารพาราโลยด์ B-72 ในอาซีโตนมีอัตราการแห้งเร็วมากขณะหยอดยาสี ยาสีมีลักษณะเป็นฟิล์มหนืดทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน เมื่อยาสีแห้งที่อุณหภูมิห้องพบว่ายาสีเกิดฟองอากาศ เนื่องจากยาสีพรุน ผิวหน้ายาสีไม่เรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลาย พบว่ายาสีเกิดฟองอากาศปริมาณมากในความเข้มข้น 30%, 20% และ 10% ตามลำดับ

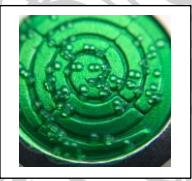
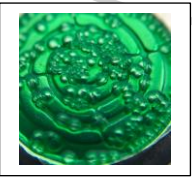

ตารางที่ 12 การทดสอบเปรียบเทียบพาราโลยด์ B-44 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และไซลีน

ลำดับที่	ความเข้มข้นของพาราโลยด์ B-44	ภาพประกอบ	ชนิดของตัวทำละลาย	ลักษณะที่ปรากฏ	ความหนืดขณะหยอดยาสี	การให้คะแนน
1	10%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศปานกลาง ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดปานกลาง	3
2	20%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศค่อนข้างมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	2
3	30%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	1



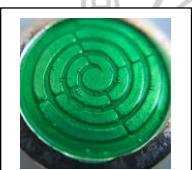
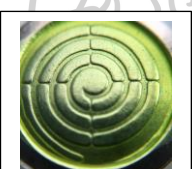
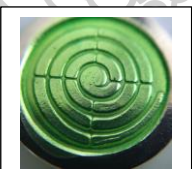
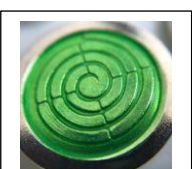
4	10%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือจาง	หนีดน้อยมาก	5
5	20%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือจาง	หนีดปานกลาง	7
6	30%		โทลูอิน	เกิดฟองเล็กน้อย ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนีดปานกลาง	4
7	10%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือจาง	หนีดน้อยมาก	6
8	20%		ไซลีน	ยาสีใส ผิวเรียบ มันวาว	หนีดปานกลาง	8
9	30%		ไซลีน	ยาสีใส ผิวเรียบ มันวาว	หนีดปานกลาง	9

การทดสอบสารพาราโลยด์ B-44 ผสมสารสีในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และ ไซลีน บนแผ่นโลหะเงิน ประเมินผลด้วยสายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Smartlens พบว่าสารพาราโลยด์ B-44 ในไซลีนได้คะแนนสูงสุดในด้านความเงา ความใส รองลงมาคือสารพาราโลยด์ B-44 ในโทลูอิน แต่พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 30% ยาสีในโทลูอินจะเกิดฟองอากาศ และสารพาราโลยด์ B-44 ในอาซีโตน มีอัตราการแห้งเร็วมากขณะหยอดยาสี ยาสีมีลักษณะเป็นฟิล์มหนืดทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน เมื่อยาสีแห้งที่อุณหภูมิห้องพบว่ายาสีเกิดฟองอากาศ เนื่องจากยาสีพรุน ผิวหน้ายาสีไม่เรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลาย พบว่ายาสีเกิดฟองอากาศปริมาณมากในความเข้มข้น 30%, 20% และ 10% ตามลำดับ

ตารางที่ 13 การทดสอบเปรียบเทียบพาราโลยด์ B-48N ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และไซลีน

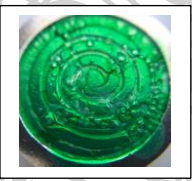
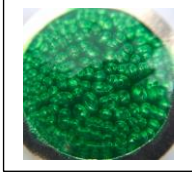

ลำดับที่	ความเข้มข้นของพาราโลยด์ B-48N	ภาพประกอบ	ชนิดของตัวทำละลาย	ลักษณะที่ปรากฏ	ความหนืดขณะหยอดยาสี	การให้คะแนน
1	10%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศเล็กน้อย ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดปานกลาง	3
2	20%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศค่อนข้างมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	2
3	30%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	1



4	10%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือ จาง สีตกตะกอน เล็กน้อย	หนืดน้อยมาก	4
5	20%		โทลูอิน	ยาสีใส ผิวเรียบ มัน วาว	หนืดปาน กลาง	6
6	30%		โทลูอิน	ยาสีใส มันวาว เกิด ฟองอากาศ เล็กน้อย	หนืดปาน กลาง	7
7	10%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือ จาง	หนืดน้อยมาก	5
8	20%		ไซลีน	ยาสีใส ผิวเรียบ มัน วาว	หนืดปาน กลาง	8
9	30%		ไซลีน	ยาสีใส ผิวเรียบ มัน วาว	หนืดปาน กลาง	9

การทดสอบสารพาราลอยด์ B-48N ผสมสารสีในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และ ไซลีน บนแผ่นโลหะเงิน ประเมินผลด้วยสายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Smartlens พบว่าสารพาราลอยด์ B-48N ในไซลีนได้คะแนนสูงสุดในด้านความเงา ความใส รองลงมาคือสารพาราลอยด์ B-44 ในโทลูอิน แต่พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 30% ยาสีในโทลูอินจะเกิดฟองอากาศเล็กน้อย และสารพาราลอยด์ B-48N ในอาซีโตน มีอัตราการแห้งเร็วมากขณะหยอดยาสี ยาสีมีลักษณะเป็นฟิล์มหนืดทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน เมื่อยาสีแห้งที่อุณหภูมิห้องพบว่ายาสีเกิดฟองอากาศ เนื่องจากยาสีพูนผิวหน้ายาสีไม่เรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลาย พบว่ายาสีเกิดฟองอากาศปริมาณมากในความเข้มข้น 30%, 20% และ 10% ตามลำดับ

ตารางที่ 14 การทดสอบเปรียบเทียบพาราลอยด์ B-67 ความเข้มข้น 10% 20% และ 30% (w/v) ในตัวทำละลายอาซีโตน โทลูอิน และไซลีน

ลำดับที่	ความเข้มข้นของพาราลอยด์ B-67	ภาพประกอบ	ชนิดของตัวทำละลาย	ลักษณะที่ปรากฏ	ความหนืดขณะหยอดยาสี	การให้คะแนน
1	10%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศปานกลาง ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดปานกลาง	3
2	20%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศค่อนข้างมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	2
3	30%		อาซีโตน	เกิดฟองอากาศมาก ผิวไม่สม่ำเสมอ	หนืดมาก	1

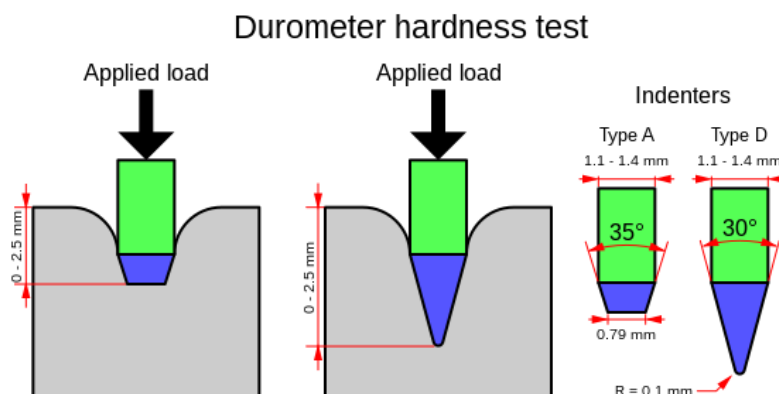
4	10%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือ จาง สีตกตะกอน เล็กน้อย	หนืดน้อยมาก	7
5	20%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือ จาง สีตกตะกอน เล็กน้อย	หนืดน้อย	9
6	30%		โทลูอิน	ยาสีใส สีเจือ จาง สีตกตะกอน ปานกลาง	หนืดน้อย	6
7	10%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือ จาง	หนืดน้อยมาก	4
8	20%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือ จาง	หนืดน้อย	5
9	30%		ไซลีน	ยาสีใส สีเจือ จาง	หนืดน้อย	8

การทดสอบสารพาราออลอยด์ B-67 ผสมสารสีในตัวทำละลายอาซิโตน โทลูอิน และไซลีน บนแผ่นโลหะเงิน ประเมินผลด้วยสายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ Smartlens พบว่าสารพาราออลอยด์ B-67 ในโทลูอินได้คะแนนสูงสุดในด้านความเงา ความใส รองลงมาคือสารพาราออลอยด์ B-67 ในไซลีน แต่พบว่ายาสีตกตะกอนและผสมสียาก สีเปลี่ยน สีเจือจาง และสารพาราออลอยด์ B-67 ในอาซิโตน มีอัตราการแห้งเร็วมากขณะหยอดยาสี ยาสีมีลักษณะเป็นฟิล์มหนืดทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน เมื่อยาสีแห้งที่อุณหภูมิห้องพบว่ายาสีเกิดฟองอากาศ เมื่อยาสีพ่น ผิวหน้ายาสีไม่เรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลาย พบว่ายาสีเกิดฟองอากาศปริมาณมากในความเข้มข้น 30%, 20% และ 10% ตามลำดับ

ผลสรุปจากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาตัวทำละลายและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการหยอดยาสีจากตัวทำละลาย อาซิโตน โทลูอิน และไซลีน สรุปว่าเมื่อสารยาสีแห้งที่อุณหภูมิห้อง โทลูอินได้คะแนนสูงสุดในเรื่องผิวยาสีที่สวยงาม รองลงมาคือไซลีน และสุดท้ายคืออาซิโตน เนื่องจากตัวทำละลายอาซิโตนมีอัตราการเกิดฟองอากาศมากที่สุด และตัวทำละลายไซลีนมีข้อเสียคือให้ค่าสีที่อ่อนกว่าตัวทำละลายอาซิโตนและโทลูอิน ผสมสีเข้ากันได้ยากกว่า นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารพาราออลอยด์เรซินที่เหมาะสมที่ได้คะแนนสูงสุดในการหยอดยาสีอยู่ที่ 20% รองลงมาคือ 30% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น งานที่ต้องการความเรียบควรใช้ความเข้มข้น 20% งานที่ต้องการความนูนของยาสีควรใช้ความเข้มข้น 30% สำหรับความเข้มข้น 10% มีความหนืดน้อยเกินไปไม่สะดวกในการใช้งาน หากพื้นที่รองรับยาสีไม่มีร่องรองรับจะทำให้ยาสีไหลออกได้ง่าย ผู้วิจัยจึงนำสารยาสี 4 ชนิดในความเข้มข้น 20% ในโทลูอินมาทดสอบประสิทธิภาพด้านความแข็งและความเสถียรของวัสดุต่อไป

### 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพยาสีทดแทน

3.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพด้านความแข็งของยาสีทดแทน 4 ชนิด ที่ได้จาก พาราออลอยด์ B-72 พาราออลอยด์ B-44 พาราออลอยด์ B-48N และพาราออลอยด์ B-67 ความเข้มข้น 20% ผสมสารสี 3% กับตัวทำละลายโทลูอิน และหยอดยาสีแต่ละชนิดลงบนแผ่นกระจกขนาด 5 x11 cm. ปล่อยให้ยาสีแห้งสนิทที่อุณหภูมิห้อง นำไปตรวจความแข็งด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์ (Shore Digital Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) รุ่น Shore 0-100H(D) โดยกดหัวทดสอบลงบนผิวยาสี ตัวสปริงจะส่งน้ำหนักไปยังหัวกด ซึ่งจะกดลงบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบอย่างละ 3 ตัวอย่าง นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล ความต้านทานต่อการเกิดรอยกดของพื้นผิวชิ้นทดสอบสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัด Durometer กล่าวคือวัสดุที่อ่านค่าได้สูงแสดงว่ามีความแข็งมากกว่าหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอยกดได้สูง



ภาพที่ 63 การทดสอบความแข็งแบบ Shore (Durometer)

ที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Shore\\_duromete](https://en.wikipedia.org/wiki/Shore_duromete)

<b>ชอร์ เอ</b>	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
<b>ชอร์ ดี</b>	6	7	8	10	12	14	16	19	22	25	29	33	39	46	58

ภาพที่ 64 การแปลงความแข็ง Durometer

ที่มา : [https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=shore\\_durometer\\_hardness\\_test](https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=shore_durometer_hardness_test)

3.3.2 ทดสอบความเสถียรของยาสีทดแทนทางด้านความร้อน ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) เพื่อวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ยาสีตัวอย่างจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 3-4 mm. ใช้สารยาสีประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงภาตรองรับของเครื่อง เมื่อเครื่องทำงานจะแปลงผลการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน แสดงในรูปแบบเทอร์โมแกรมแบบ TGA cure และ DTG (Derivative thermogram analysis) โดย TGA จะแสดงการเปลี่ยนแปลงมวลพลีตระหว่างน้ำหนัก (mg) และ อุณหภูมิ (°C) ส่วน TGA เป็นการพล็อตอัตราการสูญเสียมวลเทียบกับเวลา ( $dm/dt$ ) และอุณหภูมิ (°C) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผลเปรียบเทียบความเสถียรของสารยาสีจากพาราลอยด์ 4 ชนิด

3.3.3 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน เพื่อหาการหลอมเหลว (melting) ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) สารยาสีจะถูกให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานสองแหล่งที่แยกกัน โดยจะควบคุมการให้ความร้อนกับภาตทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือคายความร้อน (endothermic or exothermic processes) หรือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน

ร้อน (heat capacity changes) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผลเปรียบเทียบความเสถียรของสารยาสีจากพาราลอยด์ 4 ชนิด

ตารางที่ 15 สรุปกระบวนการทดลองยาสีทดแทน

การเตรียมการ	
แผ่นโลหะ	พาราลอยด์และสารละลาย
<ul style="list-style-type: none"> <li>เตรียมแผ่นโลหะเงินบริสุทธิ์ ที่มีร่องสำหรับหยอดยาสี</li> <li>ทำความสะอาดผิวโลหะ ให้ไม่มีฝุ่นปราศจากไขมัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ชั่งพาราลอยด์ 10, 20, 30%</li> <li>ตวงสารละลาย</li> <li>ทำความสะอาดขวดแก้วสำหรับใส่ส่วนผสมให้สะอาด ปราศจากไขมัน</li> </ul>
↓	
การทดลอง	
<ul style="list-style-type: none"> <li>ผสมพาราลอยด์ 4 ชนิด ในสารละลาย 3 ประเภท ลงในขวดแก้ว</li> <li>จับเวลาและจดบันทึกระยะเวลาการละลาย</li> <li>ผสมสีลงในส่วนผสมที่ละลายดีแล้ว</li> <li>หยอดยาสีลงในแผ่นโลหะเงิน</li> <li>จับเวลาการแห้งและสังเกตการเปลี่ยนแปลงระหว่างยาสีก่อดบนโลหะ (Setting time)</li> </ul>	
↓	
เกณฑ์ในการพิจารณาเลือก	
พาราลอยด์	ตัวทำละลาย
<ul style="list-style-type: none"> <li>มีความใส (ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์)</li> <li>มีความแข็งที่เหมาะสม</li> <li>ความหนืดที่เหมาะสม เกาะบนผิววัสดุไม่ไหลย้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่เป็นอันตรายต่อวัตถุ</li> <li>ไม่ทำให้เกิดฟองอากาศ</li> <li>ละลายพาราลอยด์และสีได้ดี</li> </ul>
↓	
ผลกระทบในระยะยาว	
ความแข็งแรง	ความสามารถในการย้อนกลับ

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ยาสีจะหดหรือเปลี่ยนรูปร่างหรือไม่</li> <li>▪ ยาสีจะสูญเสียความแข็งแรงหรือไม่</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ สามารถนำยาสีทดแทนออกได้โดยไม่ทำลายความเสียหายกับวัสดุได้หรือไม่</li> </ul>
--	---



ทดสอบความแข็งด้วยของยาสีด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความแข็งแบบชอร์



ทดสอบทดสอบความเสถียรของวัสดุทางด้านความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA)



สรุปผลการทดลอง  
นำยาสีทดแทนไปใช้กับชิ้นงานตัวอย่างและการอนุรักษ์



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสภาพและการเก็บข้อมูลของพระจุฑามณีทองคำลงยา ศิลปะสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้นจำนวน 2 ชิ้น ผลที่ได้จากการทดลองสารประเภทเทอร์โมพลาสติก อะคริลิเคเรซิน เพื่อใช้ในการเป็นยาสีทดแทน มีดังนี้

#### 4.1 การเก็บข้อมูลและประเมินสภาพ

จากการเก็บข้อมูลและประเมินสภาพของพระจุฑามณีทองคำลงยา ศิลปะสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น จำนวน 2 ชิ้น ได้ผลการบันทึกข้อมูลในรายงานการบันทึกหลักฐานสภาพวัตถุ ดังตารางที่ 16 และตารางที่ 17

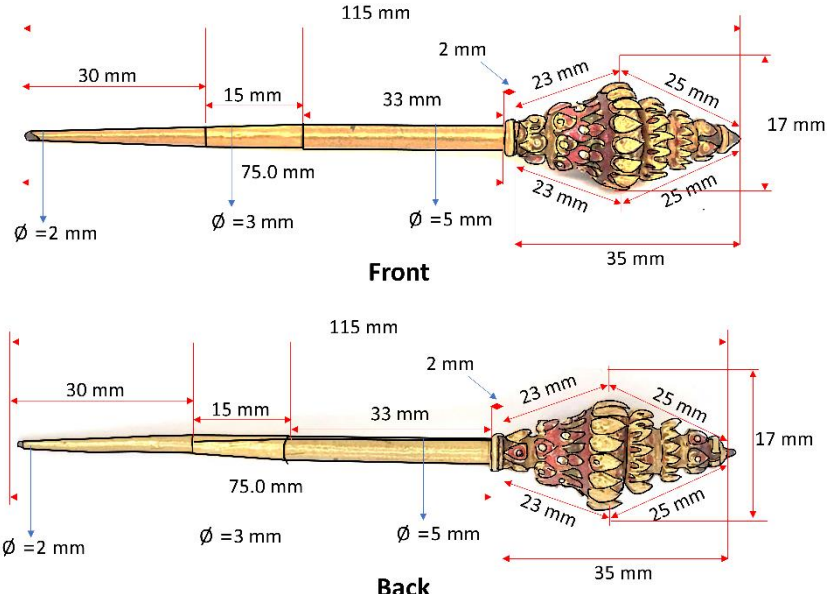
ตารางที่ 16 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 1

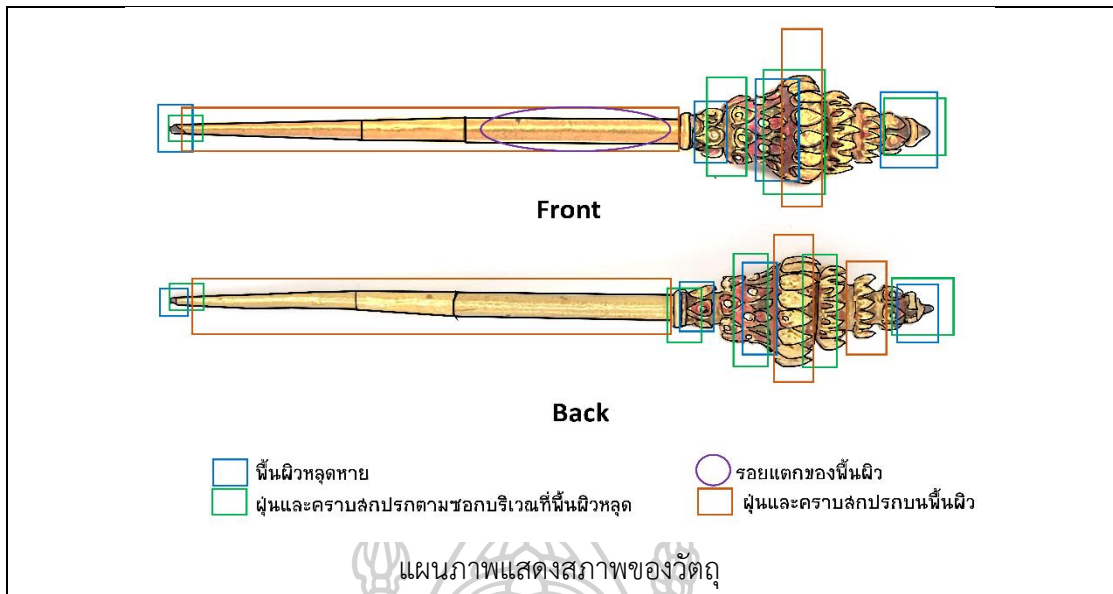
รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 1	
<b>1. ข้อมูลทั่วไปของวัตถุ</b>	
	
ปีที่สร้างงาน	ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น (ไม่ทราบปีที่สร้าง)
ช่าง/ศิลปินผู้ผลิต	กลุ่มช่างทองหลวง (ไม่ทราบชื่อช่าง)
ผู้ครอบครองหรือสถานที่เก็บรักษาวัตถุ	บริษัท กรุสยาม จำกัด
สถานที่ผลิต	ประเทศไทย
ขนาดและน้ำหนัก	ความยาวจากปลายด้ามปืนถึงปลายยอด 115 mm. ความกว้าง (เส้นผ่านศูนย์กลางหัวปืน) 17 mm. เส้นรอบวงหัวปืน 55 mm.



	<p>ความยาวด้ามปืน 76 mm.</p> <p>น้ำหนักรวมทั้งหมด 12.80 กรัม</p>
<p><b>ความเสี่ยงด้านการอนุรักษ์</b></p>	<p>วัตถุเหมือนจะทำมาจากโลหะ บางตำแหน่งบนวัตถุมีพื้นผิวที่เปิดออก เสี่ยงต่อการเกิดสนิมซึ่งสามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนของพื้นที่ผิวของวัตถุเพิ่มมากขึ้น โดยปัจจัยที่มีอิทธิพล คือ ความผันผวนของอุณหภูมิ น้ำ (ความชื้น) และเกลือ ซึ่งทำให้เร่งกระบวนการเกิดสนิมได้ นอกจากนี้ยังต้องระวังระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายอย่างมาก เนื่องจากสามารถแตกหักได้ซึ่งวัตถุนี้มีความเสี่ยงที่สูง</p>
<p><b>คำอธิบายทั่วไป</b> (General description)</p>	<p>วัตถุนี้เป็นปืนพกผม เป็นเครื่องประดับใช้สำหรับปักพระเมหาพีหรือจุกสำหรับเจ้านายก่อนการพระราชพิธีโสกันต์</p>
<p><b>วัสดุหลัก</b> (Primary materials description)</p>	<p>วัตถุชิ้นนี้คาดว่าจะสร้างมาจากวัสดุที่เป็นโลหะคล้ายทองคำเนื่องจากมีสีทอง วัสดุตัวแกนด้านในคล้ายโลหะและชัน</p>
<p><b>วัสดุอื่น ๆ</b> (Other material/s description)</p>	<p>วัตถุนี้มีองค์ประกอบของวัสดุที่มีความแข็งคล้ายแก้ว ถูกนำมาตกแต่งตามร่องของลวดลายบนพื้นผิวของวัสดุหลักที่คล้ายโลหะทองคำ วัสดุแข็งคล้ายแก้วดังกล่าวมีสีต่าง ๆ คาดว่าน่าจะเป็นสีอนินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติ เช่น แร่ต่าง ๆ เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้ในสมัยศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น</p>
<p><b>เทคนิคที่ใช้ในการสร้างงาน-ด้านโครงสร้าง</b> (Manufacturing technique-structure)</p>	<p>วัสดุลักษณะคล้ายทองคำมีสลักลวดลายกระจังตาอ้อย ลักษณะทรงยอดปืนคล้ายมงกุฎหรือเจดีย์ ชั้นยอดเป็นชั้นบัวกลุ่ม 3 ชั้น และชั้นบัวรองรับยอด 1 ชั้น ชั้นฐานรองรับยอดเป็นบัวคว่ำ 1 ชั้น</p> <p>คาดว่าน่าจะทำจากเทคนิคงานสลักดุนลงยา (Champlevé)</p> <p>เนื่องจากเป็นเทคนิคที่นิยมทำในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้น</p>

	<p>มีการเติมแต่งสีและลวดลายซึ่งน่าจะเป็นการลงยาสี (อีนาเมล, Enamel) ซึ่งพบสีแดง สีเขียว และสีขาวย สำหรับการลงยานั้น คาดว่าเป็นการลงยาสีร้อน โดยการนำแก้วสีมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาหลอมบริเวณที่เตรียมพื้นผิวลวดลายไว้</p> <p>ตัวด้ามของวัตถุ (ปิ่น) น่าจะเป็นการหุ้มด้วยวัสดุคล้ายโลหะประเภททองคำตีเป็นแผ่นเรียบ (กรมศิลปากร, 2553) น่าจะถูกสร้างมาจากการหลอมรีดทองโดยใช้ความร้อน แล้วทำให้เป็นรูปทรงปิ่น และลวดลายน่าจะเกิดจากการใช้เครื่องมือแหลมคม เช่น สิว ค้อน ในการสลัก เรียกว่า การสลักคูน (กรมศิลปากร, 2553) ภายในมีวัสดุสีดำ ซึ่งน่าจะเป็นชัน โดยมีการหยอดชันเข้าไปด้านเพื่อช่วยในชิ้นงานด้านในไม่กลวงทำให้สามารถทำการสลักคูนได้</p>
<p>เทคนิคที่ใช้ในการสร้างงาน-ด้านพื้นผิว (Manufacturing technique-surface)</p>	<p>พื้นผิวของตัววัตถุ เป็นลักษณะคล้ายแผ่นทองเรียบ บริเวณก้านของปิ่น ซึ่งมีรอยต่อกันของวัสดุคล้ายแผ่นทอง 3 ส่วน ได้แก่ส่วนปลาย มีความยาว 30 mm (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm) เชื่อมไปยังส่วนที่ 2 ซึ่งมีความยาว 15 mm (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm) และเชื่อมไปยังส่วนที่ 3 ความยาว 33 mm (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm) สำหรับในส่วนหัวของปิ่นมีลวดลายที่เป็นลักษณะนูนขึ้นลง มีความยาวโดยรวม 35 mm และความกว้างสูงสุดที่ 17 mm ส่วนหัวของปิ่นนี้ถูกเชื่อมเข้ากับตัวก้านโดยมีจุดเชื่อมต่อขนาด 2 mm เป็นรอยต่อ นอกจากนี้บนยอดของปิ่นและมีพื้นผิวบนลวดลายที่นูนขึ้นมาโดยมีสีสันท่าง ๆ ซึ่งพบสีแดง สีเขียว และสีขาวยใช้ในการตกแต่ง ดังแสดงในรูปแบบแผนภาพแสดงการซ้อนทับของโครงสร้างของวัตถุ</p>

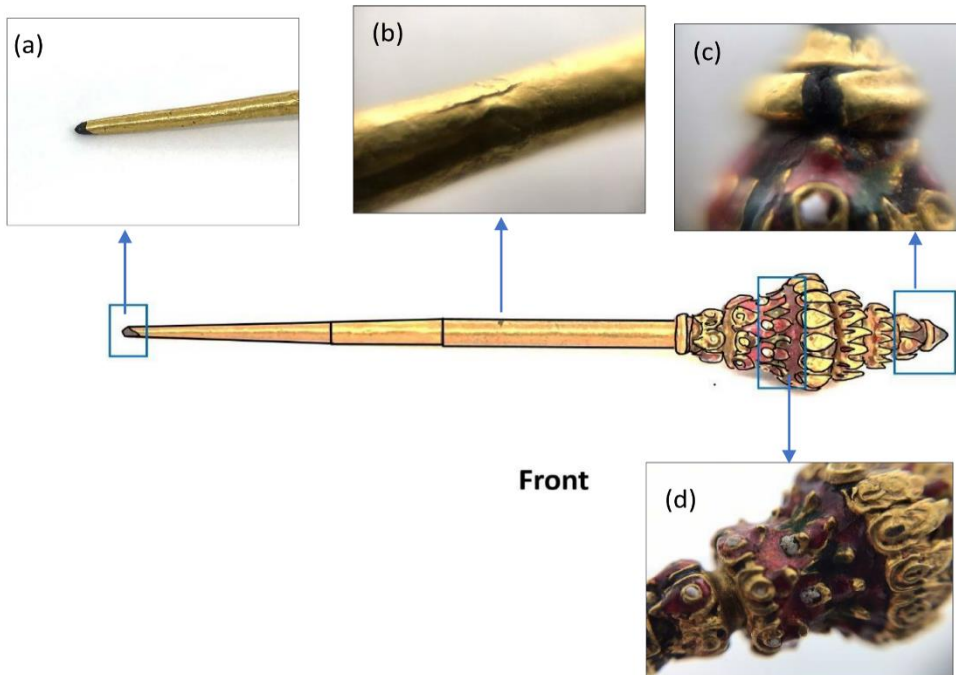
 <p style="text-align: center;">Front</p> <p style="text-align: center;">Back</p> <p style="text-align: center;">แผนภาพแสดงการซ้อนทับของโครงสร้างของวัตตุ (Overlay diagrams)</p>
<p><b>2. การประเมินสภาพวัตตุ</b></p>
<p> <input type="checkbox"/> ดี              <input type="checkbox"/> ปกติ              <input checked="" type="checkbox"/> ชำรุด              <input type="checkbox"/> ชำรุดมาก       </p>
<p><b>ลักษณะและสภาพทั่วไปของวัตตุ</b></p>
<p>พระจุฑาภรณ์ มีสภาพชำรุด เนื่องจากการใช้งาน การเสื่อมสภาพจากตัววัสดุ และการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม</p>
<p><b>สภาพของโครงสร้าง (Structure condition)</b></p>
<p>การเสียรูปทรงของทองบริเวณลายกระจังตาอ้อย (ชั้นบัวกลุ่ม) เนื่องจากการใช้งาน นอกจากนี้บริเวณซอกระหว่างสายบางจุดพบรอยแยกมีชั้นล้นออกมา สันนิษฐานว่าเกิดจากกระบวนการผลิตที่บกพร่อง น่าจะมาจากชั้นทองมีความบางมาก นอกจากนี้ความคมของเครื่องมือที่ใช้สลักดูคล้ายอาจทำให้บางจุดมีรอยแยก นอกจากนี้ส่วนปลายยอดพบว่ามีสารอุดของทองที่หุ้มและอัญมณีหลุดหาย ส่วนปลายด้ามทอง ที่หุ้มชำรุดขาดหายและพบเห็นส่วนแกนโลหะด้านในโผล่ออกมา</p>



**สภาพของพื้นผิว (Surface condition)**

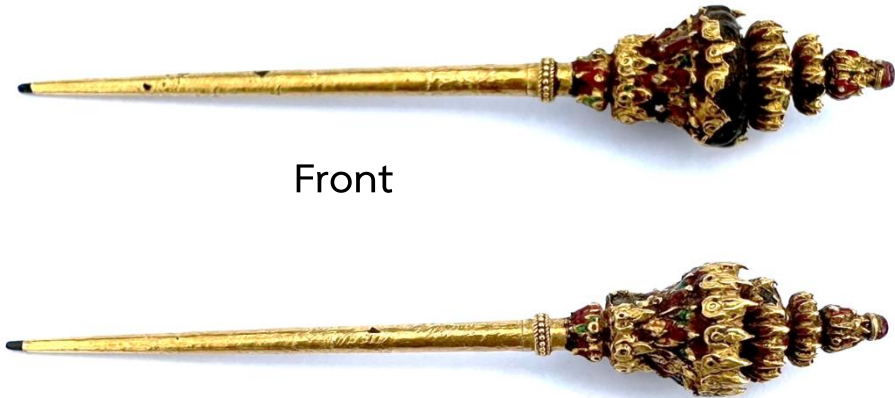
วัตถุพบรอยขีดข่วน รอยบุบตรงบริเวณกระจิงตาอ้อย (ชั้นบัวกลุ่ม) เนื่องจากการใช้งาน ผิวของวัสดุคล้ายทองมีสภาพหม่นหมอง ไม่สุกแวว มีฝุ่นและคราบสกปรกสะสมบริเวณผิวและซอกเล็ก ๆ บริเวณที่ลงยาสีบางส่วนหลุดกะเทาะ จากการสำรวจด้วยกล้อง CU Smartlens กำลังขยาย 20 เท่า และ 40 เท่า ดังแสดงในภาพในตารางที่ 14 นอกจากนี้ยังพบว่ายาสีมีรอยแตกร้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกระจิงตาอ้อยทั้ง 3 ชั้น พบว่ายาสีหลุดร่อนออกเป็นจำนวนมากอาจมาจากการที่โลหะเปลี่ยนรูปทรง

**รายละเอียดของการเสื่อมสภาพ**



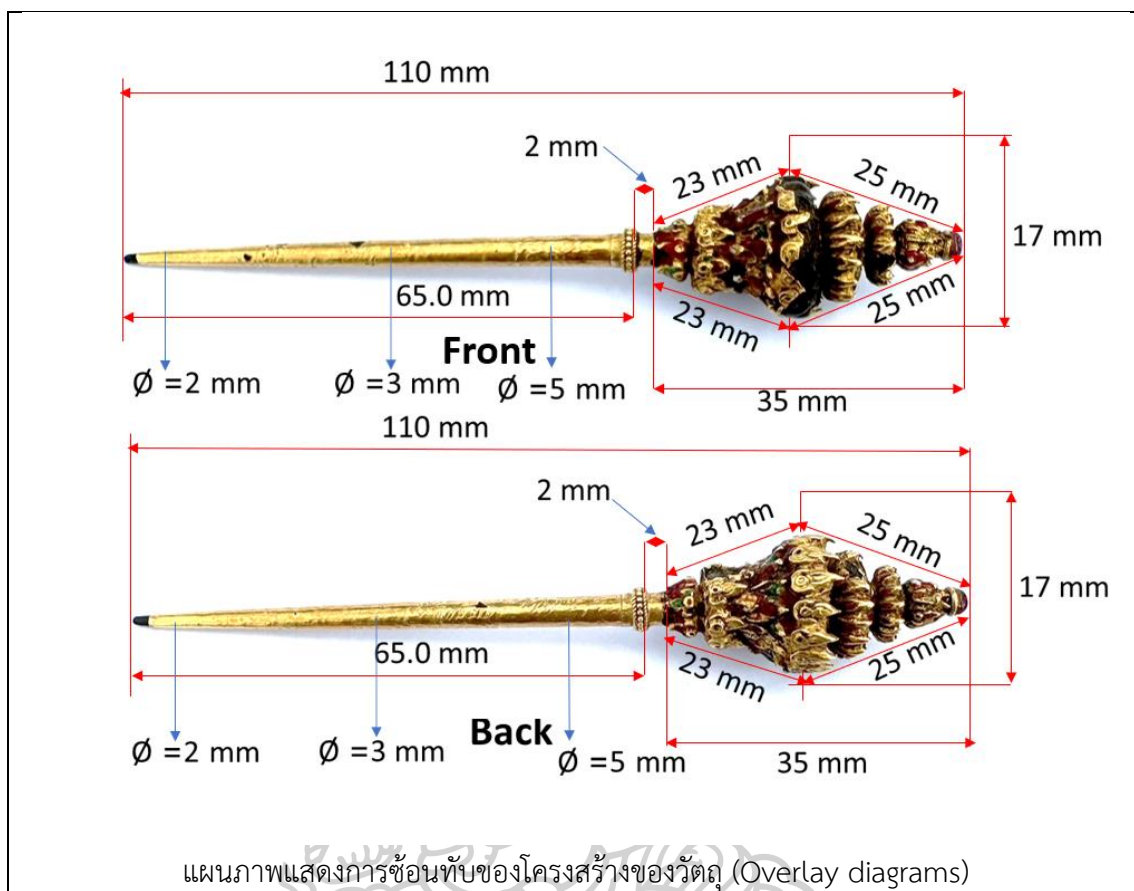
ภาพแสดงรายละเอียดของการเสื่อมสภาพของพระปิ่นที่พบ (a) การบิ่นโลหะสูญเสียรูปทรง (b) มีรอยถลอก (c) บริเวณปลายยอดอัญมณีหลุดหาย (d) พบคราบฝุ่น คราบสกปรกสะสมบริเวณผิวยาสีและผิวทอง พบคราบสีน้ำตาลดำบริเวณซอกเล็ก ๆ	
<b>6. ผู้บันทึกข้อมูล</b>	
ชื่อผู้สำรวจ	นายธีรพงษ์ ภูเขียว
วันที่สำรวจ	7 กันยายน พ.ศ. 2565 เวลา 10.00 น.

ตารางที่ 17 รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 2

รายงานการบันทึกสภาพ พระจุฑามณีทองคำลงยา ชั้นที่ 2	
<b>1. ข้อมูลทั่วไปของวัตถุ</b>	
	
ปีที่สร้างงาน	ศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น (ไม่ทราบปีที่สร้าง)
ช่าง/ศิลปินผู้ผลิต	กลุ่มช่างทองหลวง (ไม่ทราบชื่อช่าง)
ผู้ครอบครองหรือสถานที่เก็บรักษาวัตถุ	บริษัท กรุสยาม จำกัด
สถานที่ผลิต	ประเทศไทย
ขนาดและน้ำหนัก	ความยาวจากปลายด้ามปิ่นถึงปลายยอด 110 mm. ความกว้าง (เส้นผ่านศูนย์กลางกลางหัวปิ่น) 17 mm. เส้นรอบวงหัวปิ่น 55 mm. ความยาวด้ามปิ่น 65 mm. น้ำหนักรวมทั้งหมด 10.40 กรัม

<p>ความเสี่ยงด้านการอนุรักษ์</p>	<p>วัตถุเหมือนจะทำมาจากโลหะ บางตำแหน่งบนวัตถุ มีพื้นผิวที่เปื้อนออก เสี่ยงต่อการเกิดสนิมซึ่งสามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนของพื้นที่ผิวของวัตถุเพิ่มมากขึ้น โดยปัจจัยที่มีอิทธิพล คือ ความผันผวนของอุณหภูมิ น้ำ (ความชื้น) และเกลือ ซึ่งทำให้เร่งกระบวนการเกิดสนิมได้ นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายอย่างมาก เนื่องจากสามารถการแตกหักได้ ซึ่งวัตถุนี้มีความเสี่ยงที่สูง</p>
<p>คำอธิบายทั่วไป (General description)</p>	<p>วัตถุนี้เป็นปืนปักผม เป็นเครื่องประดับใช้สำหรับปักพระเมมาสีหรือจุกสำหรับเจ้านายก่อนการพระราชพิธีโสกันต์</p>
<p>วัสดุหลัก (Primary materials description)</p>	<p>วัตถุชิ้นนี้คาดว่าจะสร้างมาจากวัสดุที่เป็นโลหะคล้ายทองคำเนื่องจากมีสีทอง วัสดุตัวแกนด้านในคล้ายโลหะและชัน</p>
<p>วัสดุอื่น ๆ (Other material/s description)</p>	<p>วัตถุนี้มีองค์ประกอบของวัสดุที่มีความแข็งคล้ายแก้ว ถูกนำมาตกแต่งตามร่องของลวดลายบนพื้นผิวของวัสดุหลักที่คล้ายโลหะทองคำ วัสดุแข็งคล้ายแก้วดังกล่าวมีสีต่าง ๆ คาดว่าน่าจะเป็นสีอนินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติ เช่น แร่ต่าง ๆ เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้ในสมัยศิลปะยุครัตนโกสินทร์ตอนต้น</p>
<p>เทคนิคที่ใช้ในการสร้างงาน-ด้านโครงสร้าง (Manufacturing technique-structure)</p>	<p>วัสดุลักษณะคล้ายทองคำมีสลักลวดลายกระจุกตาอ้อย ลักษณะทรงยอดปิ่นคล้ายมงกุฎหรือเจดีย์ ชั้นยอดเป็นชั้นบัวกลุ่ม 3 ชั้น และชั้นบัวรองรับยอด 1 ชั้น ชั้นฐานรองรับยอดเป็นบัวคว่ำ 1 ชั้น คาดว่าน่าจะทำจากเทคนิคงานสลักดินลงยา (Champlevé) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่นิยมทำในช่วงรัตนโกสินทร์ตอนต้น</p> <p>มีการเติมแต่งสีและลวดลายซึ่งน่าจะเป็นการลงยาสี (อีนาเมล, Enamel) ซึ่งพบสีแดง สีเขียว และ</p>

	<p>สีขาว สำหรับการลงยานั้น คาดว่าเป็นการลงยาสีร้อน โดยการนำแก้วสีมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาหลอม บริเวณที่เตรียมพื้นผิวลวดลายไว้</p> <p>ตัวด้ามของวัตถุ (ปิ่น) น่าจะเป็นการหุ้มด้วยวัสดุคล้ายโลหะประเภททองคำตีเป็นแผ่นเรียบ (กรมศิลปากร, 2553) น่าจะถูกสร้างมาจากการหลอมรีดทองโดยใช้ความร้อน แล้วทำให้เป็นรูปทรงปิ่น และลวดลายน่าจะเกิดจากการใช้เครื่องมือแหลมคม เช่น สิว ค้อน ในการสลัก เรียกว่า การสลักคุณ (กรมศิลปากร, 2553) ภายในมีวัสดุสีดำ ซึ่งน่าจะเป็นชั้น โดยมีการหยอดชั้นเข้าไปด้านเพื่อช่วยในชิ้นงานด้านในไม่กลวงทำให้สามารถทำการสลักคุณได้</p>
<p>เทคนิคที่ใช้ในการสร้างงาน-ด้านพื้นผิว (Manufacturing technique-surface)</p>	<p>พื้นผิวของตัววัตถุ บริเวณก้านของปิ่นมีลักษณะคล้ายแผ่นทองเรียบ ซึ่งมีรอยต่อกันของวัสดุคล้ายแผ่นทอง 2 ส่วน ได้แก่ส่วนปลาย มีความยาว 65 mm (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm) เชื่อมไปยังส่วนที่ 2 สำหรับในส่วนหัวของปิ่นมีลวดลายที่เป็นลักษณะนูนขึ้นลง มีความยาวโดยรวม 35 mm และความกว้างสูงสุดที่ 17 mm ส่วนหัวของปิ่นนี้ถูกเชื่อมเข้ากับตัวก้านโดยมีจุดเชื่อมต่อขนาด 2 mm เป็นรอยต่อ นอกจากนี้บนยอดของปิ่นและมีพื้นผิวบนลวดลายที่นูนขึ้นมาโดยมีสีสันต่าง ๆ ซึ่งพบสีแดง สีเขียว และสีขาวใช้ในการตกแต่ง ดังแสดงในรูปแบบภาพแสดงการซ้อนทับของโครงสร้างของวัตถุ</p>



## 2. การประเมินสภาพวัตถุ



ดี



ปกติ



ชำรุด



ชำรุดมาก

### ลักษณะและสภาพทั่วไปของวัตถุ

พระจุฑามณี มีสภาพชำรุด เนื่องจากการใช้งาน การเสื่อมสภาพจากตัววัสดุ และการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม

### สภาพของโครงสร้าง (Structure condition)

การเสียรูปทรงของทองบริเวณปลายกระจิงตาอ้อย (ชั้นบัวกลุ่ม) เนื่องจากการใช้งาน นอกจากนี้บริเวณซอกกระหว่างปลายบางจุดพบรอยแยกมีชั้นล้นออกมา สันนิษฐานว่าเกิดจากกระบวนการผลิตที่บกพร่อง น่าจะมาจากชั้นทองมีความบางมาก นอกจากนี้ความคมของเครื่องมือที่ใช้สลักดูหลายอาจทำให้บางจุดมีรอยแยก นอกจากนี้ส่วนปลายยอดพบว่ามี การชำรุดของทองที่หุ้มและอัญมณีหลุดหาย ส่วนปลายด้ามทอง ที่หุ้มชำรุดขาดหายและพบเห็นส่วนแกนโลหะด้านในโผล่ออกมา





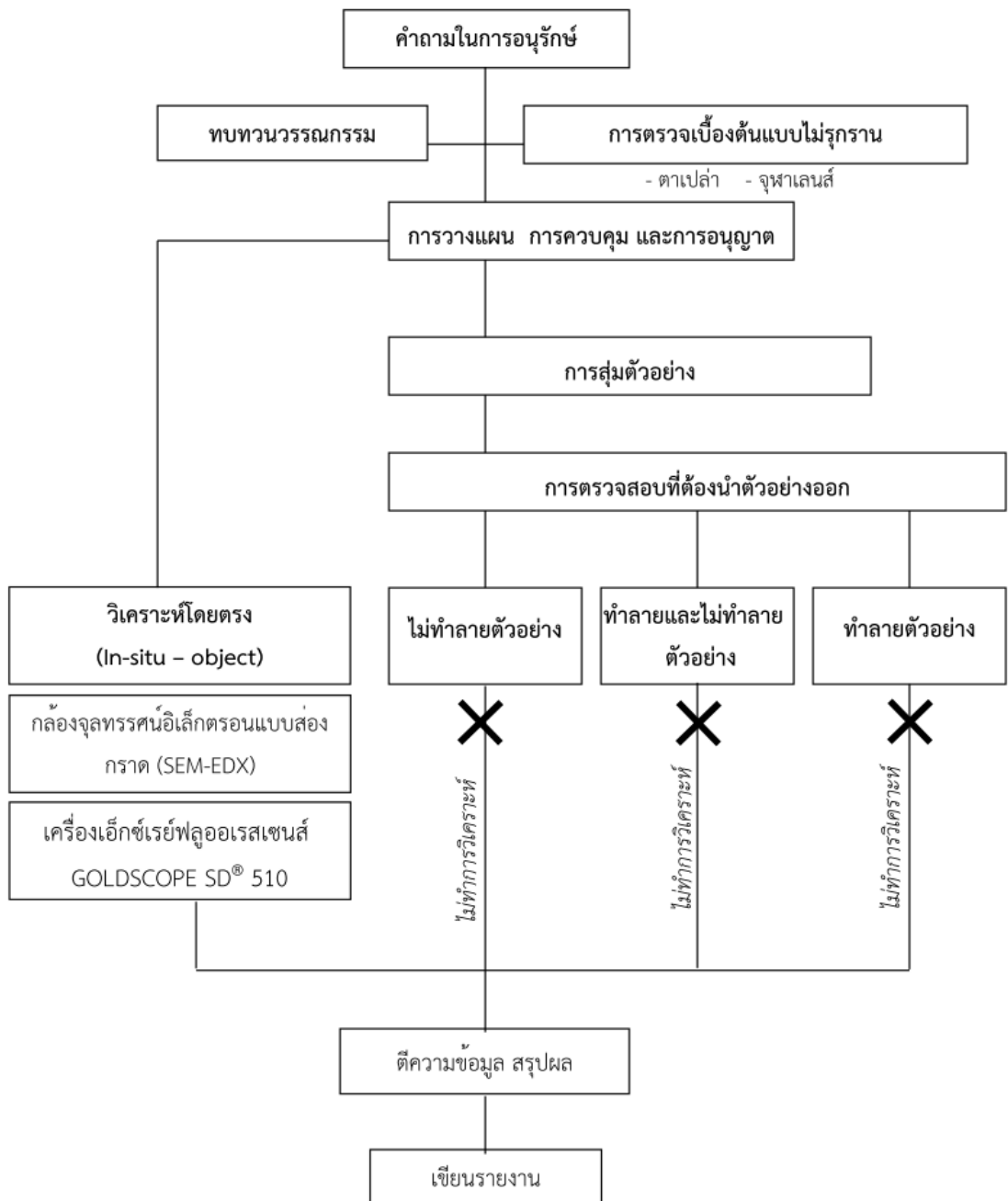
6. ผู้บันทึกข้อมูล	
ชื่อผู้สำรวจ	นายธีรพงษ์ ภูเขียว
วันที่สำรวจ	7 กันยายน พ.ศ. 2565 เวลา 10.00 น.

#### 4.2 การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ในการประเมินสภาพวัตถุ

ในการอนุรักษ์ในวัตถุชิ้นนี้ต้องการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อยืนยันวัสดุสีทองที่คล้ายโลหะประเภททอง และวัสดุที่เป็นของแข็งคล้ายแก้วที่มีสีต่าง ๆ เพื่อยืนยันความสอดคล้องกับการทบทวนวรรณกรรมที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 ซึ่งถือเป็นคำถามที่สำคัญเพื่อนำไปสู่แนวทางการอนุรักษ์สำหรับวัสดุที่ทำการวิเคราะห์ทั้งสองชนิดนั้น ถือเป็นสารอนินทรีย์โดยแสดงเส้นทางการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ (Analytical path of inorganic) ดังแสดงในรูปที่ 65

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจากวัตถุจะใช้เทคนิคที่ไม่ต้องทำการดึงตัวอย่างออกจากวัตถุโดยสามารถวัดโดยตรงจากวัตถุ (in-situ object) ได้แก่ เทคนิคด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE และ Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy





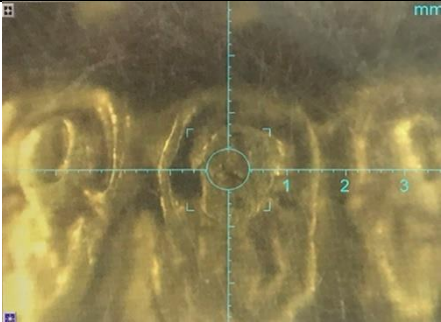
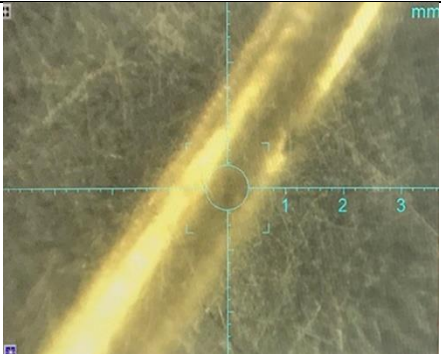
#### 4.2.1 การวิเคราะห์โลหะในพระจุฑามณีด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE

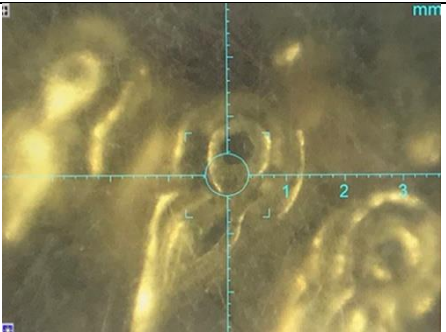

SD<sup>®</sup> 510 ยี่ห้อ Fischer ของ Laser Jewelry Center

การวิเคราะห์ข้อมูลโลหะมีค่าและโลหะผสมในพระจุฑามณี ด้วยเครื่องมือวัดเอ็กซ์เรย์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF) โดยสุ่มตรวจบริเวณหัวปิ่นและด้ามปิ่น จำนวน 2 จุด พบว่าพระจุฑามณีชิ้นที่ 1 บริเวณหัวปิ่น มีค่าทอง (Au) เท่ากับ 98.33% เงิน (Ag) เท่ากับ 1.378% ทองแดง (Cu) เท่ากับ 0.209% สังกะสี (Zn) เท่ากับ 0.079% บริเวณด้ามปิ่น มีค่าทอง (Au) เท่ากับ 93.56% เงิน (Ag) เท่ากับ 5.610% ทองแดง (Cu) เท่ากับ 0.627% สังกะสี (Zn) เท่ากับ 0.203%

พระจุฑามณีชิ้นที่ 2 บริเวณหัวปิ่น มีค่าทอง (Au) เท่ากับ 90.86% เงิน (Ag) เท่ากับ 8.001% ทองแดง (Cu) เท่ากับ 0.906% สังกะสี (Zn) เท่ากับ 0.238% บริเวณด้ามปิ่น มีค่าทอง (Au) เท่ากับ 90.07% เงิน (Ag) เท่ากับ 8.505% ทองแดง (Cu) เท่ากับ 1.384% สังกะสี (Zn) เท่ากับ 0.040% (ดังตารางที่ 17)

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ส่วนผสมของโลหะในพระจุฑามณีด้วยเครื่อง GOLDSCOPE SD<sup>®</sup> 510

ลำดับ	ภาพแสดงบริเวณที่วิเคราะห์	ส่วนผสมของโลหะ (โดยประมาณ)			
		ทอง (Au)	เงิน (Ag)	ทองแดง (Cu)	สังกะสี (Zn)
1	 บริเวณหัวปิ่น ชิ้นที่ 1	98.33%	1.378%	0.209%	0.079%
2	 บริเวณด้ามปิ่น ชิ้นที่ 1	93.56%	5.610%	0.627%	0.203%

3	 <p>บริเวณหัวป็น ชั้นที่ 2</p>	90.86%	8.001%	0.906%	0.238%
4	 <p>บริเวณด้ามป็น ชั้นที่ 2</p>	90.07%	8.505%	1.384%	0.040%

#### 4.2.2 การวิเคราะห์โลหะในพระจุฑาภรณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3

ในการตรวจสอบการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุในวัตถุ ซึ่งพบวัสดุหลักสีทอง คล้ายโลหะประเภททอง และวัสดุที่คล้ายแก้วซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแก้วที่ใช้ในกระบวนการลงยาสี โดยจากการทำการสำรวจสภาพเบื้องต้นพบว่าลวดลายได้หลุดหายไปจากตัววัตถุ ซึ่งจะต้องศึกษาเพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์ต่อไปในอนาคต

- วัสดุหลักสีทองคล้ายโลหะประเภททอง
- วัสดุที่คล้ายแก้วซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแก้วที่ใช้ในกระบวนการลงยาสี
- วัสดุด้านในตัวป็นที่คาดว่าเป็นชั้น

สำหรับสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุในวัตถุที่เป็นวัสดุหลักสีทองคล้ายโลหะประเภททอง สามารถยืนยันได้จาก รูปที่ 65 การวิเคราะห์ตัวอย่างบริเวณหัวป็นที่ Area 2 = ทองจะแสดงบริเวณที่สว่างเป็นสีขาวในภาพถ่าย SEM รูปที่ 65(b) พบว่ามีองค์ประกอบของธาตุทอง (Au) อยู่ 79.54 %wt (ดังกราฟในรูปที่ 65 (d)) นอกจากนี้เมื่อทำการบริเวณอื่นที่ทำการตรวจวิเคราะห์ก็พบธาตุของทองปรากฏอยู่เช่นเดียวกัน ดังในรูปที่ 67 (e g และ h) บริเวณ Area 1 Area 3 และ Area 4 ที่

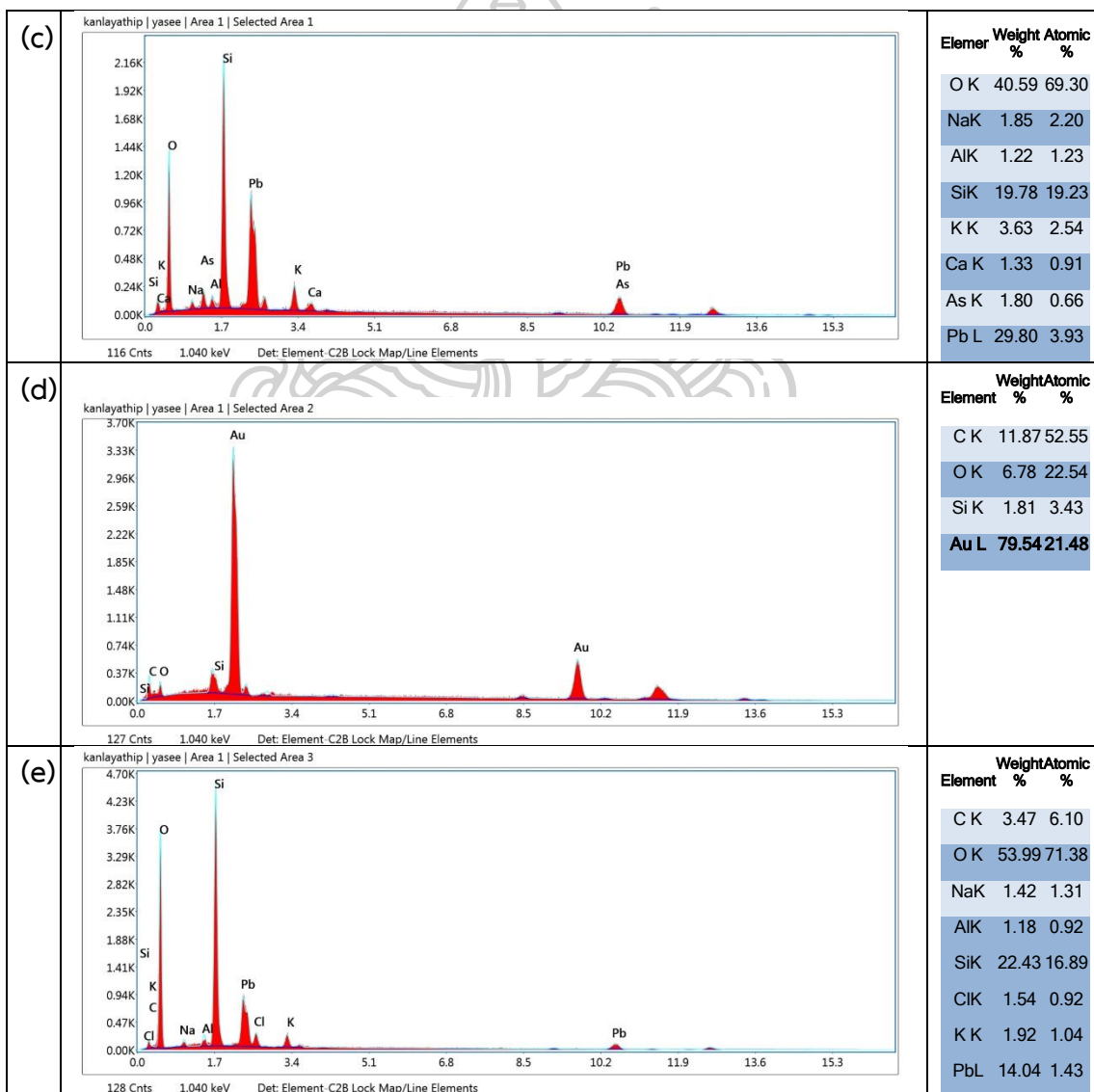
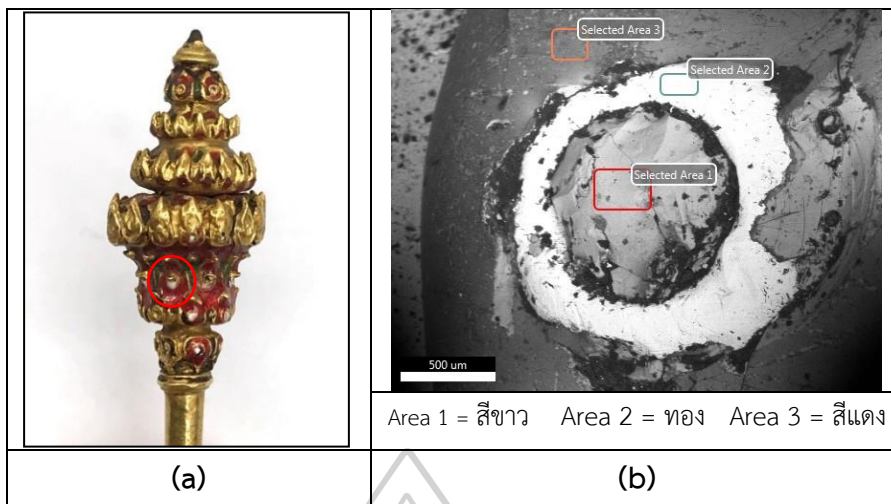
ประกอบด้วย Au ปริมาณ 79.62 6.01 และ 3.39 %wt ตามลำดับ โดยที่บริเวณที่ Area 1 เป็นบริเวณที่สว่างเป็นสีขาวในภาพถ่าย SEM รูปที่ 67(b) พบปริมาณของทองคำมากที่สุด สำหรับ Area 3 และ Area 4 นั้นเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับ Area 1 ที่พบปริมาณของทองคำมากที่สุดซึ่งอาจพบทองคำเป็นส่วนประกอบปะปนกันอยู่ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ SEM-EDS พบว่าองค์ประกอบหลักของพระปิ่นนี้คือโลหะประเภททอง

สำหรับวัสดุที่คล้ายแก้วซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแก้วที่ใช้ในกระบวนการลงยาสีนั้น จากการสำรวจพบว่า มีสีทั้งหมด สีขาว สีแดง และสีเขียว สำหรับบริเวณที่เป็นสีขาว แสดงในรูปที่ 65 ตำแหน่ง Area 1 = สีขาว (รูปที่ 65(b)) รูปที่ 67(b) ตำแหน่ง Area 2 = สีขาว จากกราฟ รูปที่ 65 (c) และ รูปที่ 67(f) ซึ่งมีองค์ประกอบของแก้วคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และส่วนของสีขาวนั้นมาจากผงสี (pigment) ประเภทขาวตะกั่ว หรือ lead white (lead carbonate,  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ) โดยประกอบด้วย Pb ปริมาณ 29.80 และ 31.49 %wt ตามลำดับ

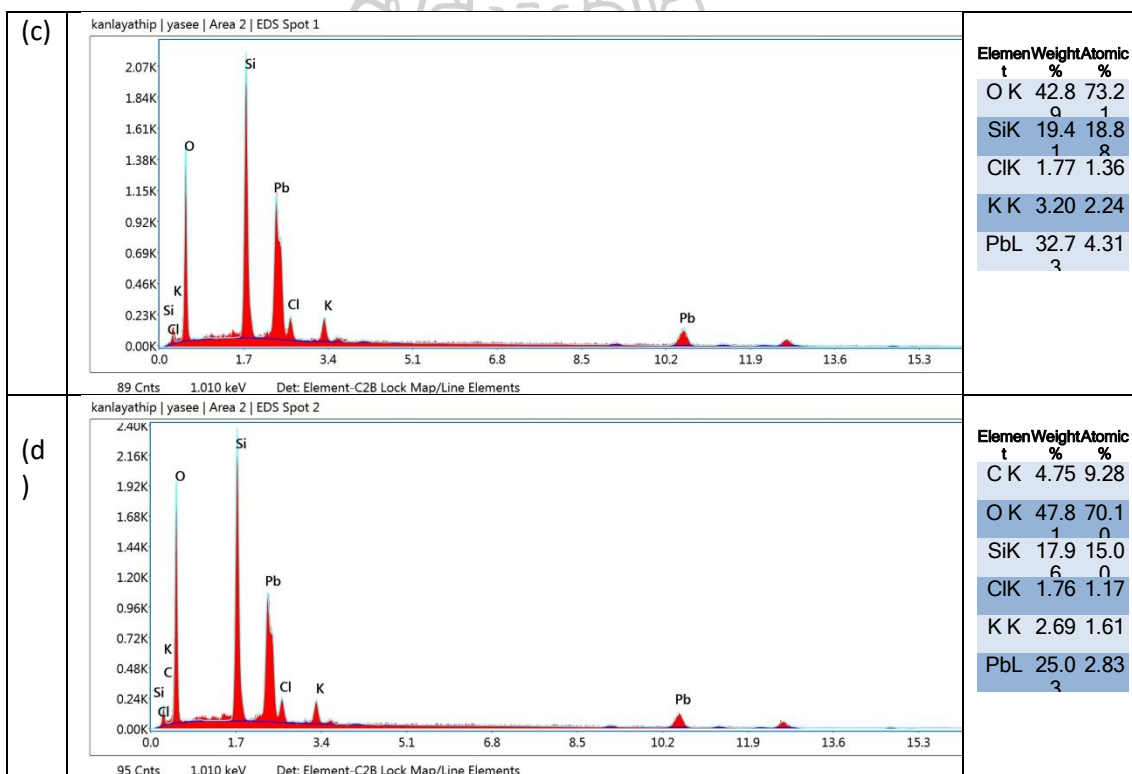
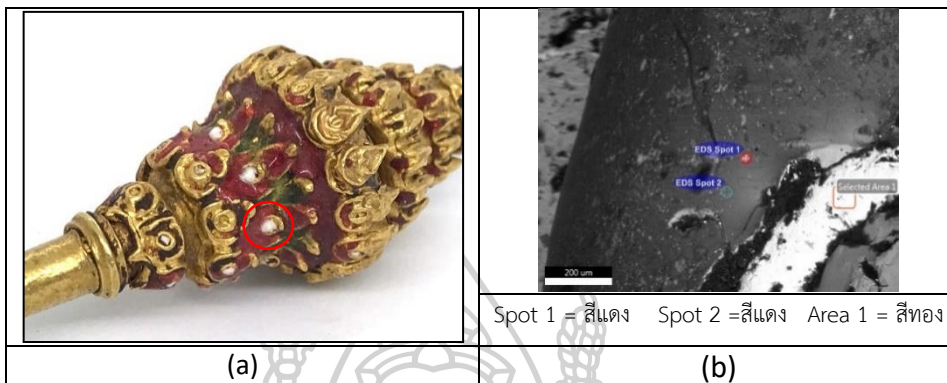
วัสดุที่คล้ายแก้วซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแก้วที่ใช้ในกระบวนการลงยาสีส่วนของสีแดง จากรูปที่ 65 (e, Area 3 = สีแดง) รูปที่ 66 (c และ d, Spot 1 = สีแดง Spot 2 = สีแดง) และรูปที่ 67 (c และ d, Spot 1 = สีแดง Spot 2 = สีแดง) พบธาตุ Pb เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแสดงถึงตะกั่วแดงหรือเสน หรือ Lead(II,IV) oxide (Red lead หรือ minium) เป็นสารประกอบของตะกั่วที่มีสีแดงสว่างหรือสีส้ม สูตรทางเคมีเป็น  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  หรือ  $2 \text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$  เป็นผงละเอียดสีแดง นอกจากนี้องค์ประกอบของแก้วในงานยาสีก็สามารถยืนยันได้ด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ )

วัสดุที่คล้ายแก้วซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแก้วที่ใช้ในกระบวนการลงยาสีส่วนของสีเขียว คาดว่าเป็นออกไซด์ของทองแดงเรียกว่า Copper(I) oxide หรือ cuprous oxide ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) หรือสนิมเขียว เนื่องจากมีธาตุของ Cu ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 68 (a และ b, Area 2 และ Area 3 = สีเขียว) นอกจากนี้ยังพบว่ายังพบธาตุ Pb เป็นส่วนประกอบด้วยเนื่องจาก Pb หนึ่งในองค์ประกอบที่ช่วยให้แก้วหลอมละลายเร็วในงานยาสีจึงพบ Pb ในส่วนประกอบของตัวอย่างบนวัตถุบริเวณสีเขียวที่เป็นงานยาสีร่วมด้วย

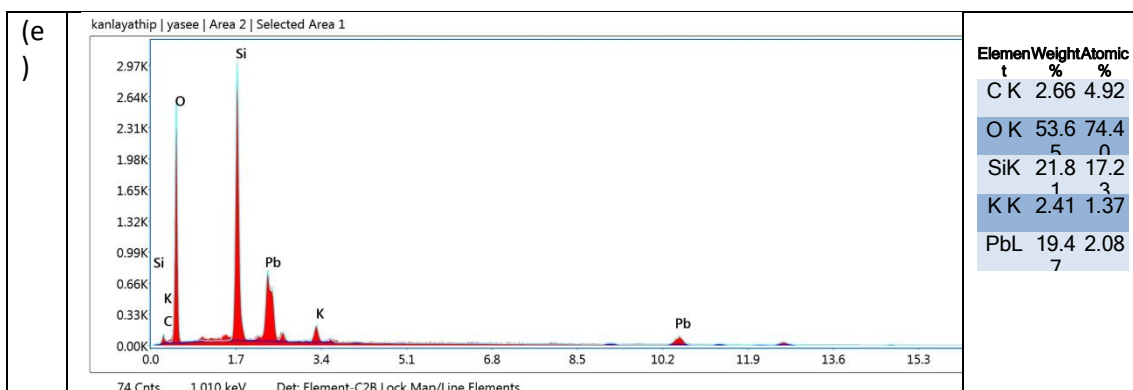
สำหรับส่วนที่เป็นชั้นแสดงผล SEM-EDS ในรูปที่ 69 พบองค์ประกอบของธาตุที่หลากหลายอย่างไรก็ตามส่วนชั้นนี้ถือเป็นวัสดุอินทรีย์ซึ่งจะต้องตรวจสอบด้วยเทคนิคอื่นเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางเคมี เช่น เครื่องวิเคราะห์ห่องค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีของสารโดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)



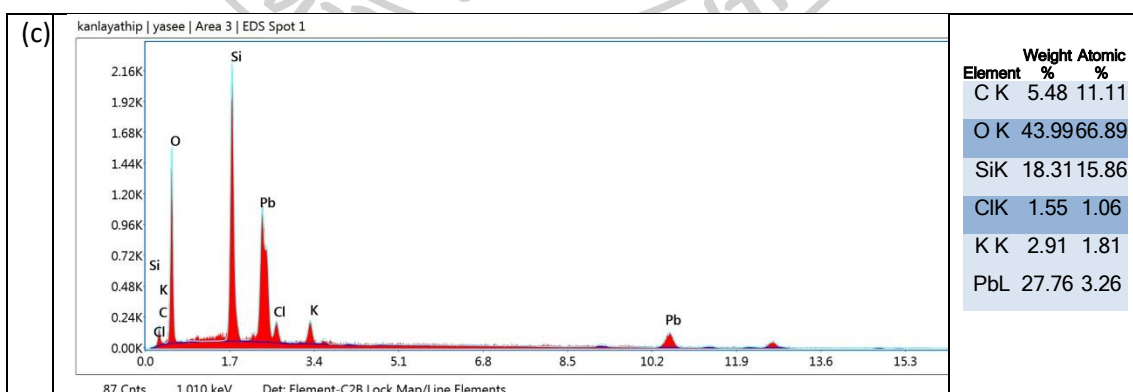
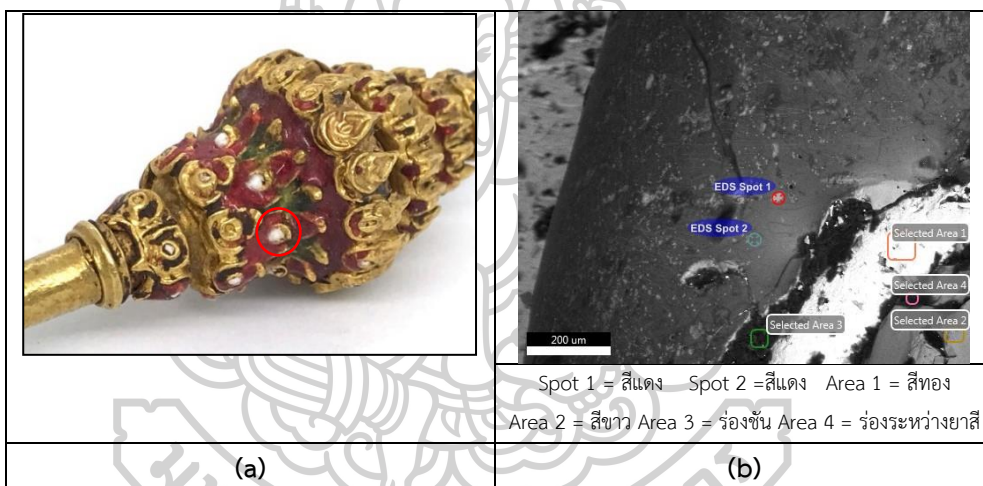
ภาพที่ 65 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

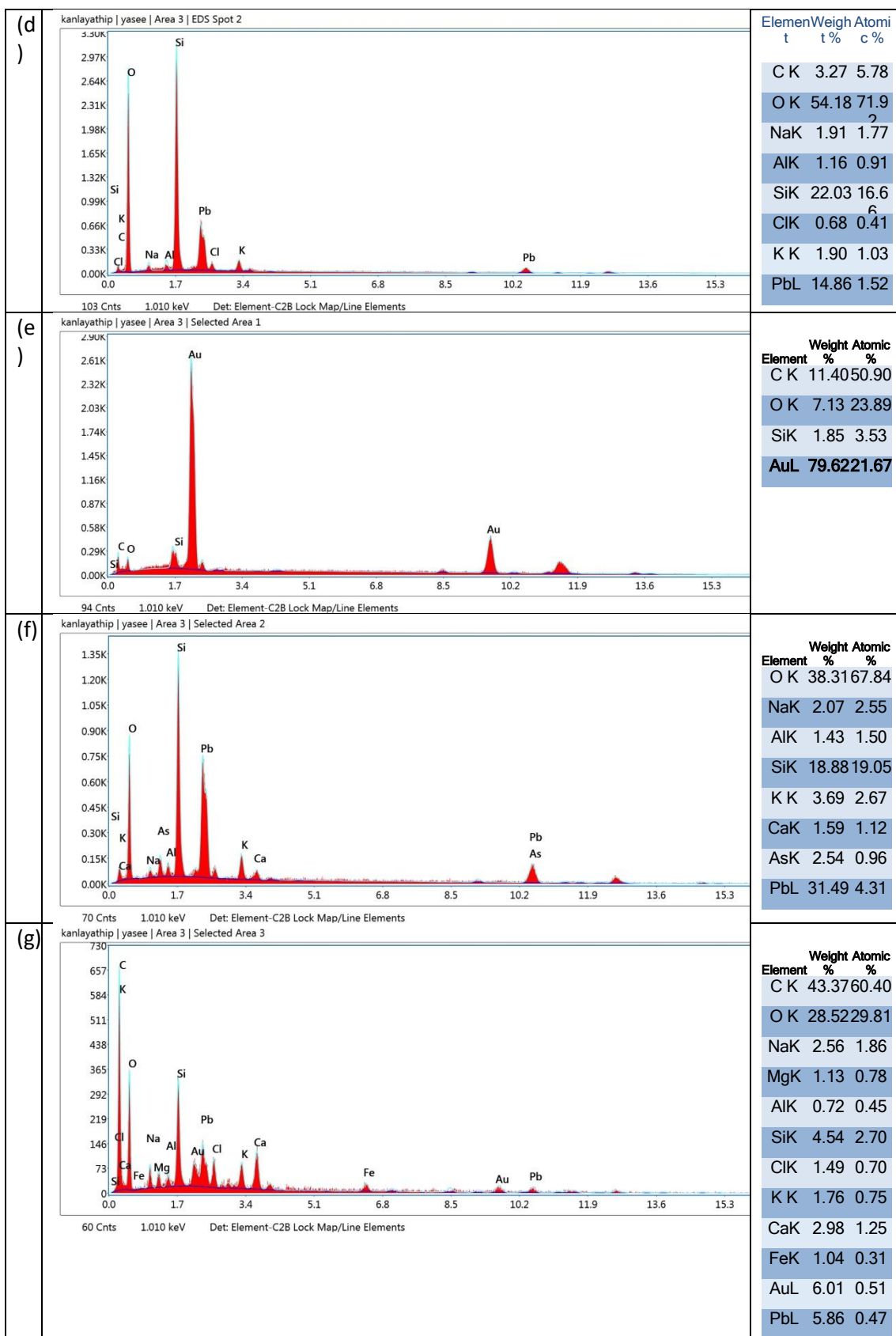


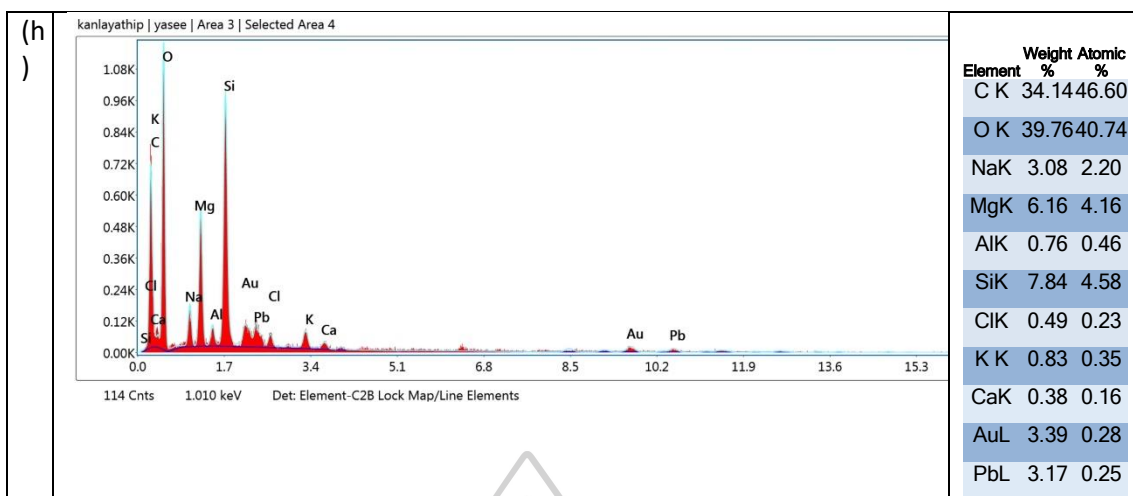




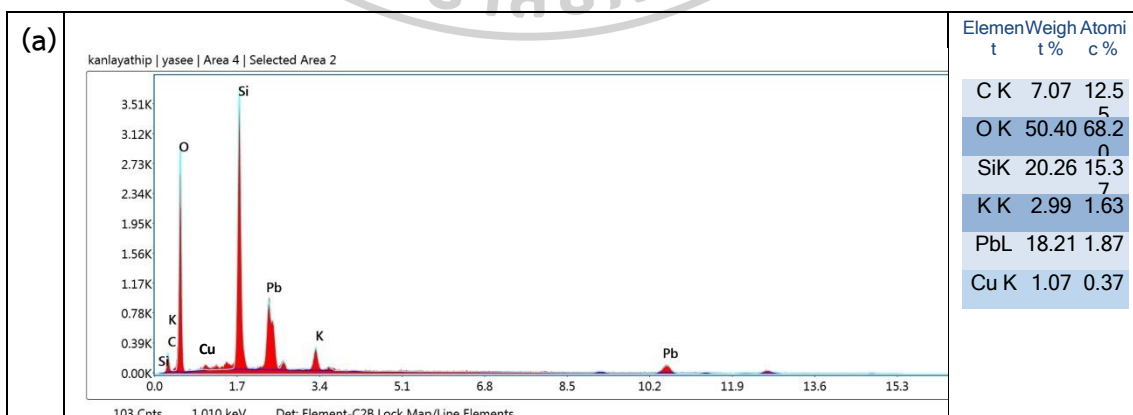
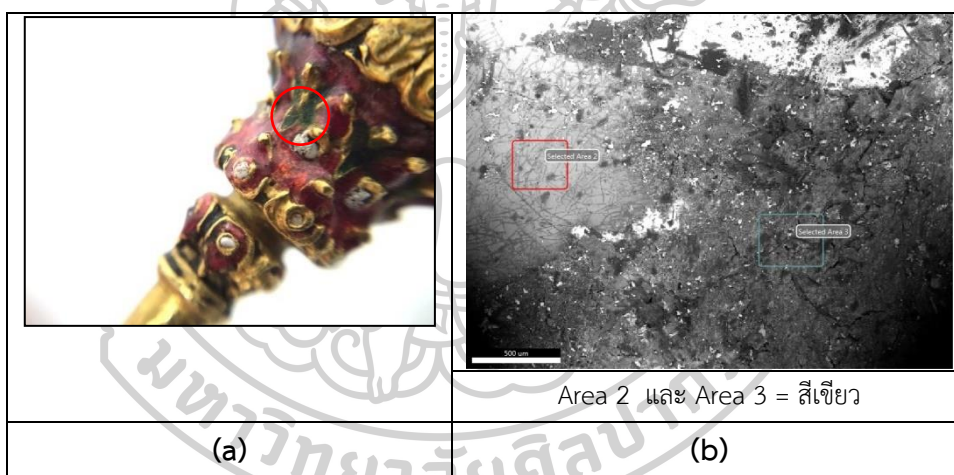
ภาพที่ 66 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

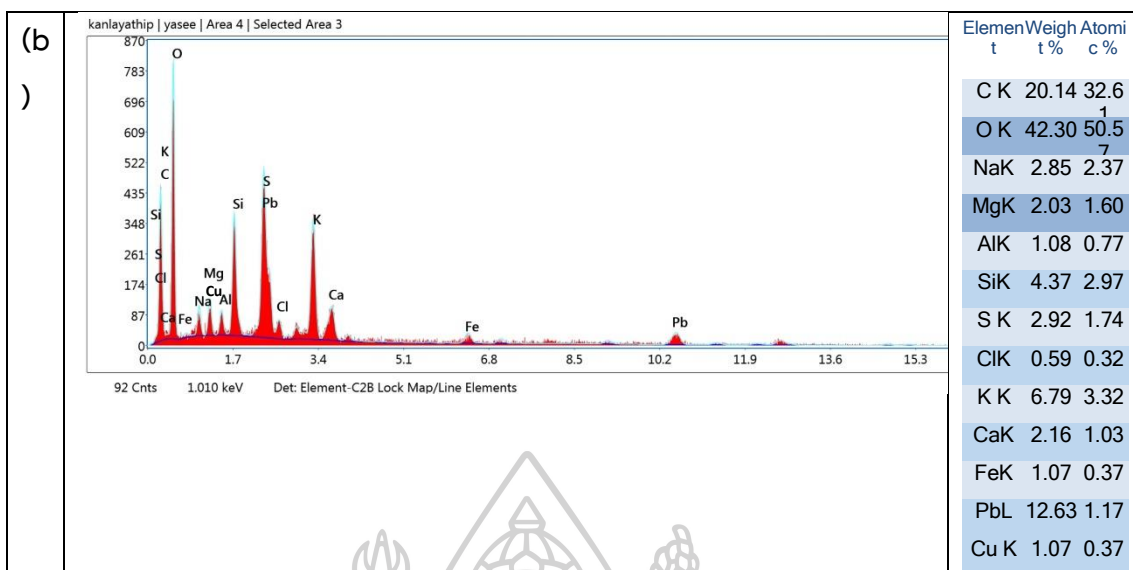




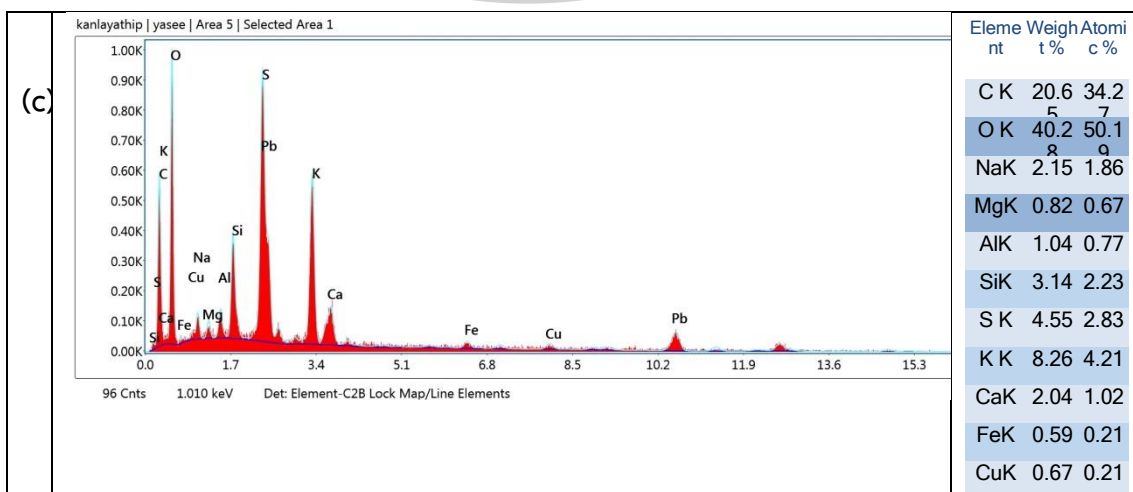
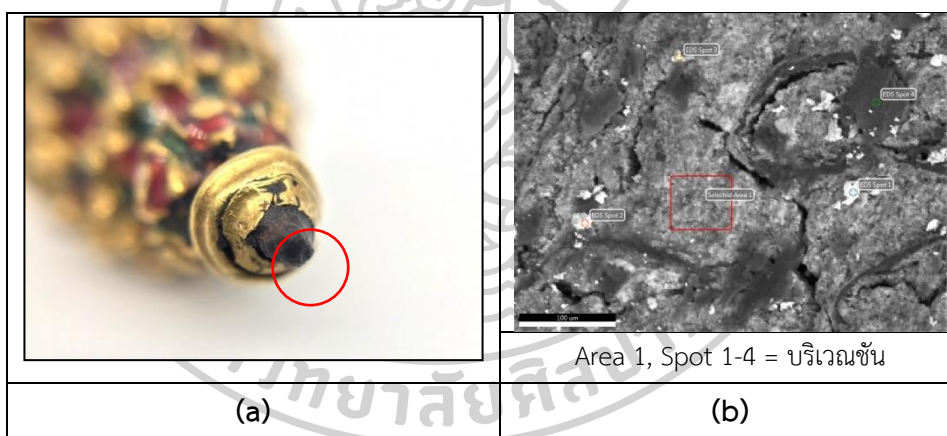


ภาพที่ 67 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-h) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

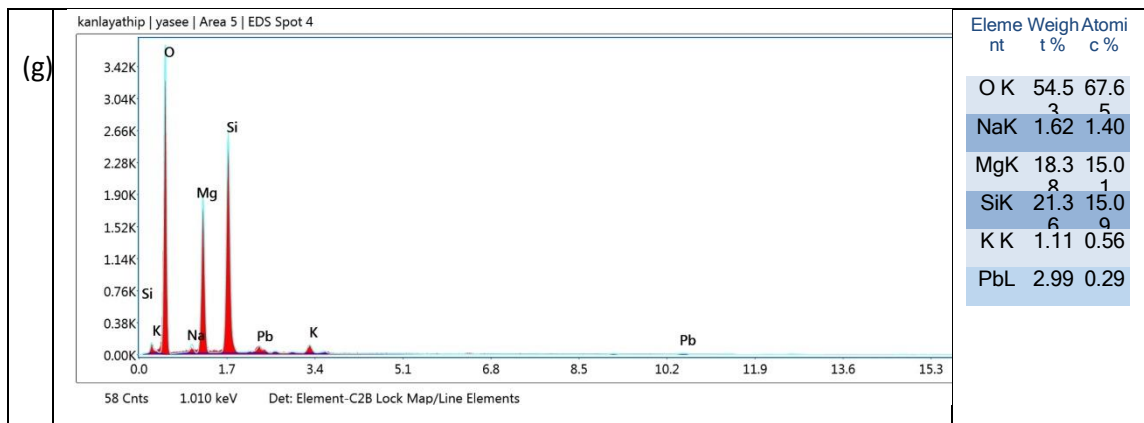




ภาพที่ 68 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์หองค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-h) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ



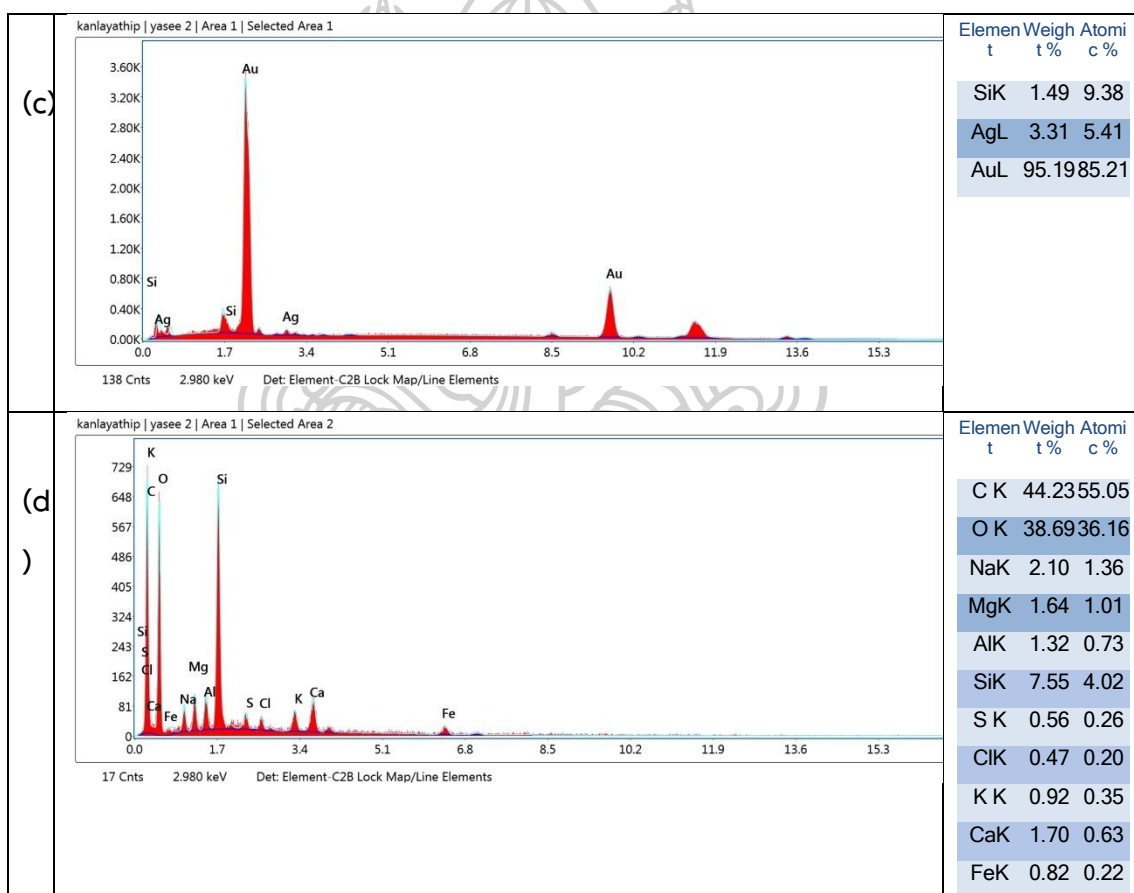
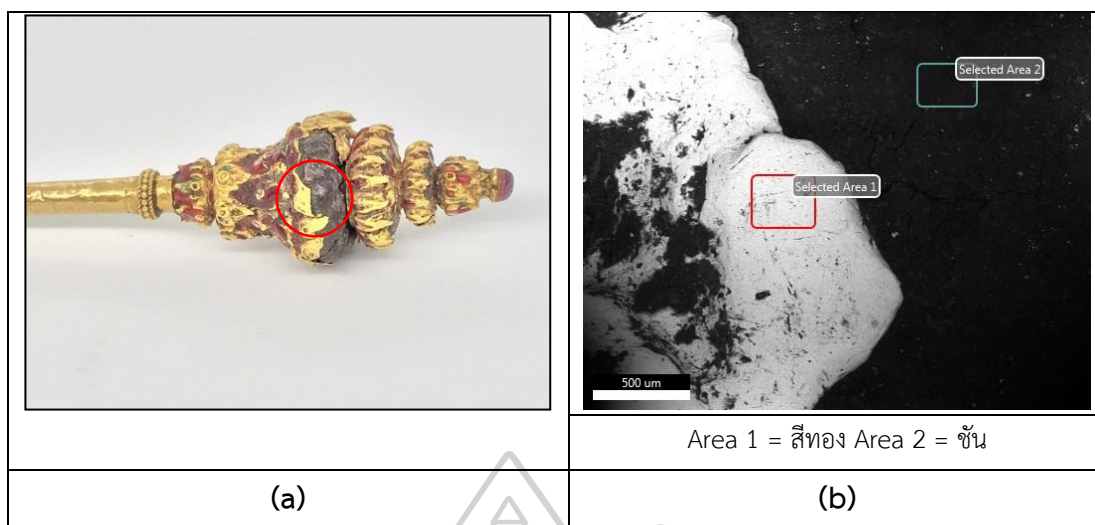
		<table border="1"> <tr> <td>PbL</td> <td>15.8</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	PbL	15.8	1.52	n																																
PbL	15.8	1.52																																				
n																																						
(d)	<p>kanlayathip   yasee   Area 5   EDS Spot 1</p> <p>99 Cnts 1.010 keV Det: Element-C2B Lock Map/Line Elements</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Weight %</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ag</td> <td>64.6</td> <td>25.4</td> </tr> <tr> <td>Cl</td> <td>3.63</td> <td>4.36</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>1.46</td> <td>2.21</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>8.93</td> <td>31.5</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>12.6</td> <td>33.6</td> </tr> <tr> <td>KrL</td> <td>1.11</td> <td>0.56</td> </tr> <tr> <td>CuK</td> <td>1.25</td> <td>0.84</td> </tr> <tr> <td>PbL</td> <td>6.29</td> <td>1.29</td> </tr> </tbody> </table>	Element	Weight %	Atomic %	Ag	64.6	25.4	Cl	3.63	4.36	Si	1.46	2.21	C	8.93	31.5	O	12.6	33.6	KrL	1.11	0.56	CuK	1.25	0.84	PbL	6.29	1.29									
	Element	Weight %	Atomic %																																			
Ag	64.6	25.4																																				
Cl	3.63	4.36																																				
Si	1.46	2.21																																				
C	8.93	31.5																																				
O	12.6	33.6																																				
KrL	1.11	0.56																																				
CuK	1.25	0.84																																				
PbL	6.29	1.29																																				
(e)	<p>kanlayathip   yasee   Area 5   EDS Spot 2</p> <p>58 Cnts 1.010 keV Det: Element-C2B Lock Map/Line Elements</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Weight %</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ag</td> <td>47.3</td> <td>15.3</td> </tr> <tr> <td>Cl</td> <td>1.53</td> <td>1.90</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>1.12</td> <td>1.22</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>9.98</td> <td>29.0</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>16.4</td> <td>35.9</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>1.69</td> <td>1.51</td> </tr> <tr> <td>CuK</td> <td>1.65</td> <td>0.90</td> </tr> </tbody> </table>	Element	Weight %	Atomic %	Ag	47.3	15.3	Cl	1.53	1.90	S	1.12	1.22	C	9.98	29.0	O	16.4	35.9	K	1.69	1.51	CuK	1.65	0.90												
Element	Weight %	Atomic %																																				
Ag	47.3	15.3																																				
Cl	1.53	1.90																																				
S	1.12	1.22																																				
C	9.98	29.0																																				
O	16.4	35.9																																				
K	1.69	1.51																																				
CuK	1.65	0.90																																				
(f)	<p>kanlayathip   yasee   Area 5   EDS Spot 3</p> <p>52 Cnts 1.010 keV Det: Element-C2B Lock Map/Line Elements</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Weight %</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ag</td> <td>35.7</td> <td>9.63</td> </tr> <tr> <td>Cl</td> <td>7.20</td> <td>5.90</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>28.4</td> <td>51.6</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2.54</td> <td>1.89</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>9.54</td> <td>23.0</td> </tr> <tr> <td>MgK</td> <td>1.99</td> <td>2.38</td> </tr> <tr> <td>AlK</td> <td>0.51</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>SiK</td> <td>2.69</td> <td>2.78</td> </tr> <tr> <td>FeK</td> <td>0.64</td> <td>0.33</td> </tr> <tr> <td>CuK</td> <td>1.10</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>PbL</td> <td>9.54</td> <td>1.34</td> </tr> </tbody> </table>	Element	Weight %	Atomic %	Ag	35.7	9.63	Cl	7.20	5.90	O	28.4	51.6	K	2.54	1.89	C	9.54	23.0	MgK	1.99	2.38	AlK	0.51	0.55	SiK	2.69	2.78	FeK	0.64	0.33	CuK	1.10	0.50	PbL	9.54	1.34
Element	Weight %	Atomic %																																				
Ag	35.7	9.63																																				
Cl	7.20	5.90																																				
O	28.4	51.6																																				
K	2.54	1.89																																				
C	9.54	23.0																																				
MgK	1.99	2.38																																				
AlK	0.51	0.55																																				
SiK	2.69	2.78																																				
FeK	0.64	0.33																																				
CuK	1.10	0.50																																				
PbL	9.54	1.34																																				



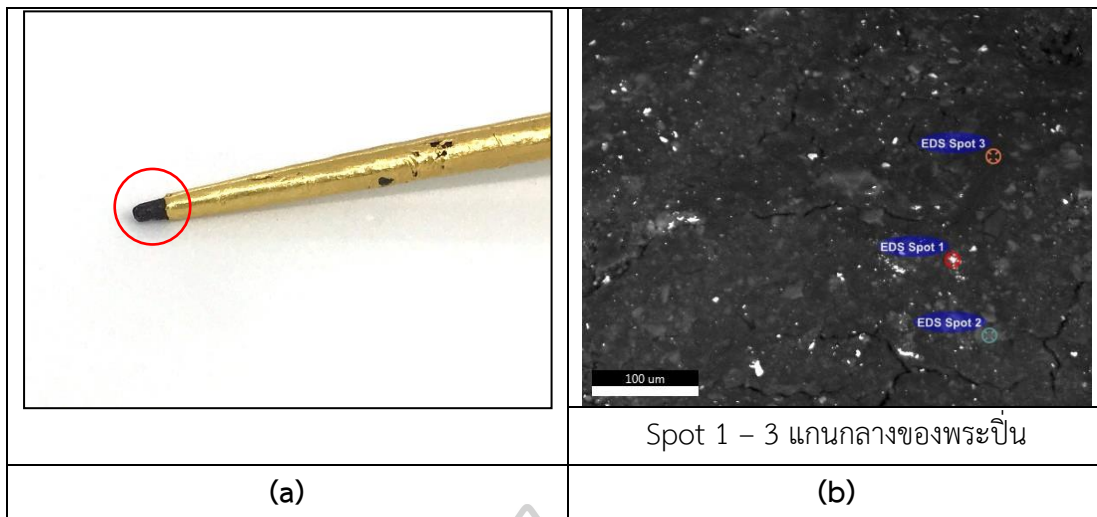
ภาพที่ 69 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-g) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

องค์ประกอบของพระปิ่นชั้นที่ 2 มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับพระปิ่นชั้นที่ 1 แสดงผลดังรูปที่ 70-74 บริเวณตัวอย่างที่เป็นวัสดุสีทองสามารถยืนยันว่าเป็นโลหะประเภททองเนื่องจากแสดงองค์ประกอบของธาตุ Au สำหรับปลายของพระปิ่นจะพบเศษชิ้นส่วนของทอง ซึ่งให้ให้เห็นว่ามีชิ้นส่วนของทองหลุดออกและมีองค์ประกอบของธาตุที่หลากหลายที่เป็นส่วนของชั้นเช่นเดียวกับพระปิ่นที่ 1 ส่วนบริเวณที่เป็นสีแดงที่คาดว่าเป็นงานยาสีพบองค์ประกอบของ Pb เช่นเดียวกับพระปิ่นชั้นที่ 1 ซึ่งแสดงถึงตะกั่วแดงหรือเสน หรือ Lead(II,IV) oxide (Red lead หรือ minium,  $Pb_3O_4$  หรือ  $2 PbO \cdot PbO_2$ ) นอกจากนี้ยังแสดงองค์ประกอบของ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $SiO_2$ ) ที่เป็นแก้วในงานยาสีด้วย สำหรับบริเวณสีเขียวที่คาดเดาว่าเป็นงานยาสีก็แสดงถึงองค์ประกอบถึง Cu เขียว คาดว่าเป็นออกไซด์ของทองแดงเรียกว่า Copper(I) oxide หรือ cuprous oxide ( $Cu_2O$ ) หรือสนิมเขียว นอกจากนี้ยังพบว่ายังพบธาตุ Pb เป็นส่วนประกอบด้วยเนื่องจาก Pb หนึ่งในองค์ประกอบที่ช่วยให้แก้วหลอมละลายเร็วในงานยาสีจึงพบ Pb ในส่วนประกอบของตัวอย่างบนวัตถุบริเวณสีเขียวที่เป็นงานยาสีร่วมด้วย

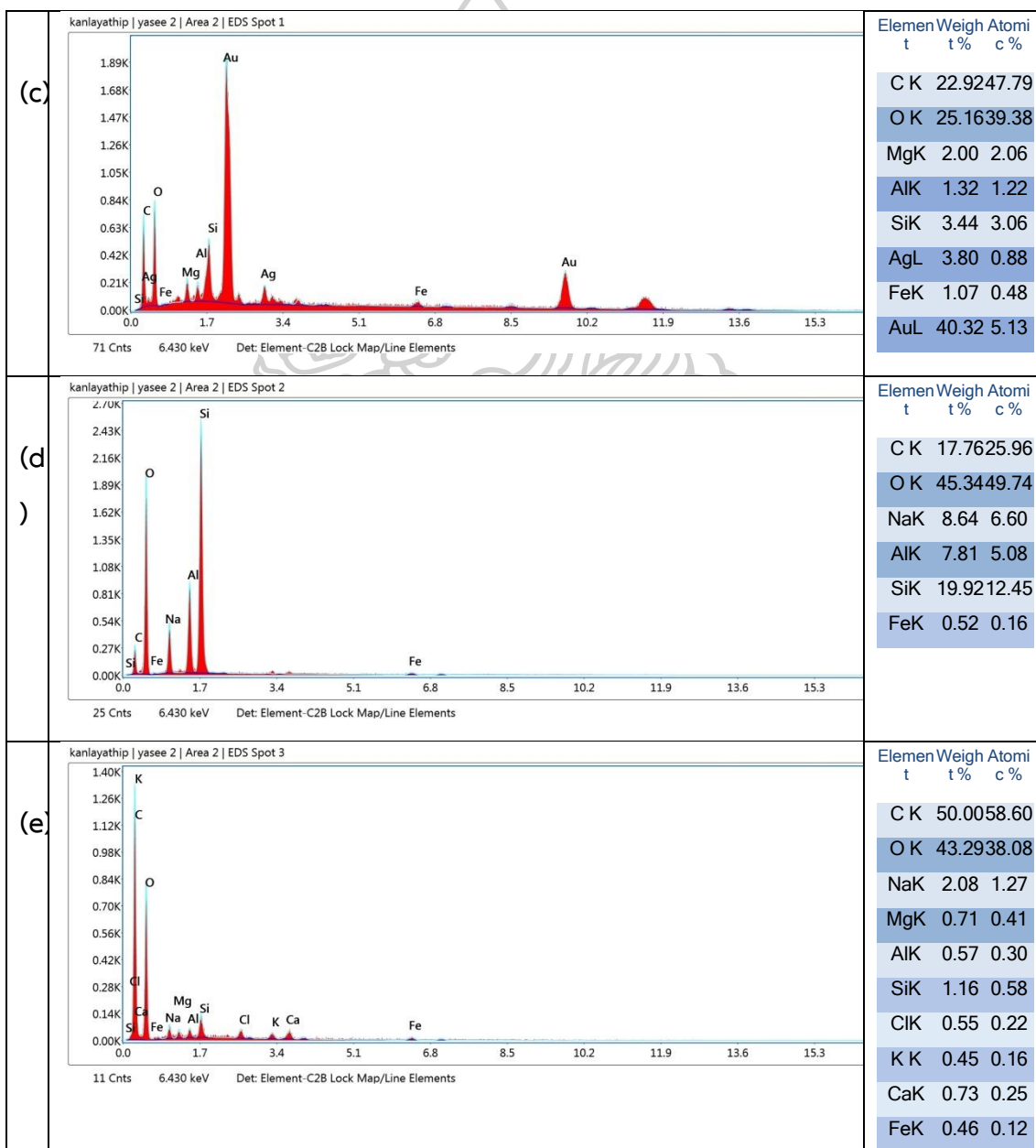
สำหรับพลอยยอดพระปิ่นที่พบในชั้นที่ 2 นี้พบว่ามีส่วนประกอบที่สำคัญคือ Si กับ O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแก้ว ซึ่งให้เห็นว่าทำจากแก้วนอกจากนี้มีส่วนประกอบของสีแดงที่เป็นองค์ประกอบของ Pb แสดงถึงตะกั่วแดงหรือเสน หรือ Lead(II,IV) oxide (Red lead หรือ minium,  $Pb_3O_4$  หรือ  $2 PbO \cdot PbO_2$ )



ภาพที่ 70 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

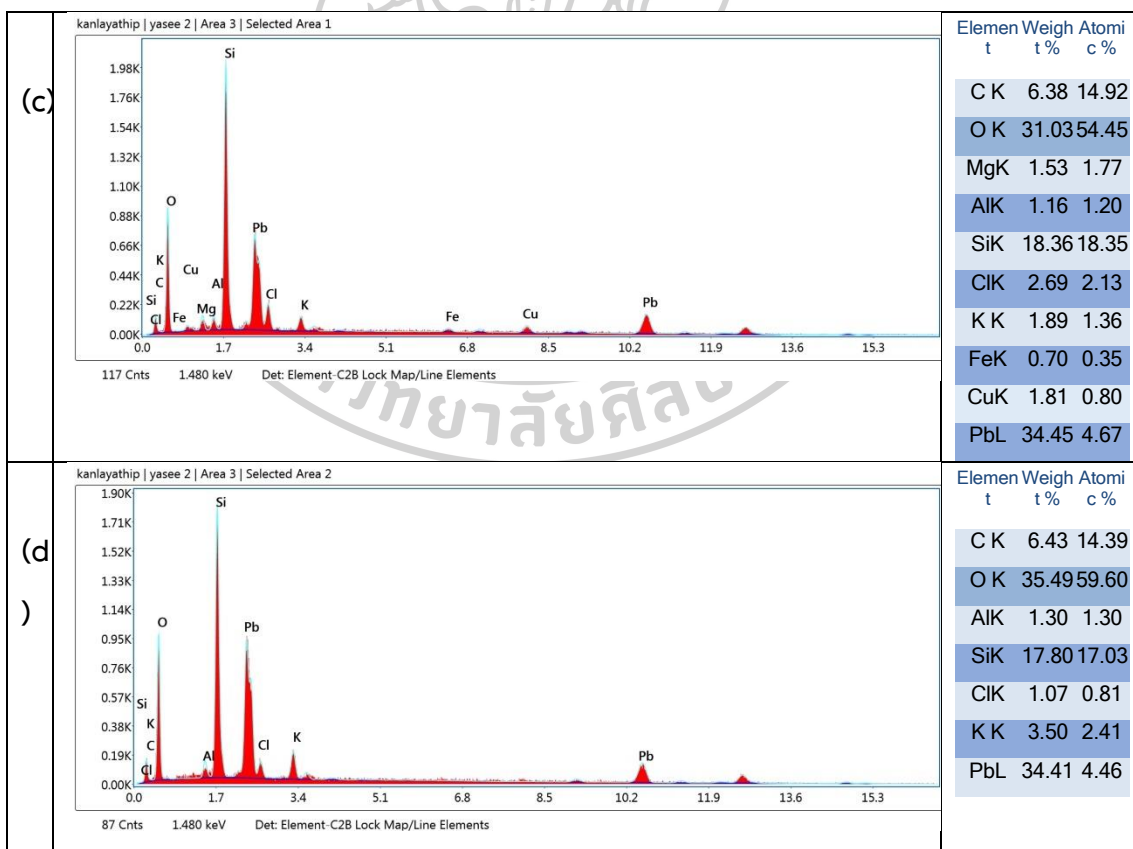
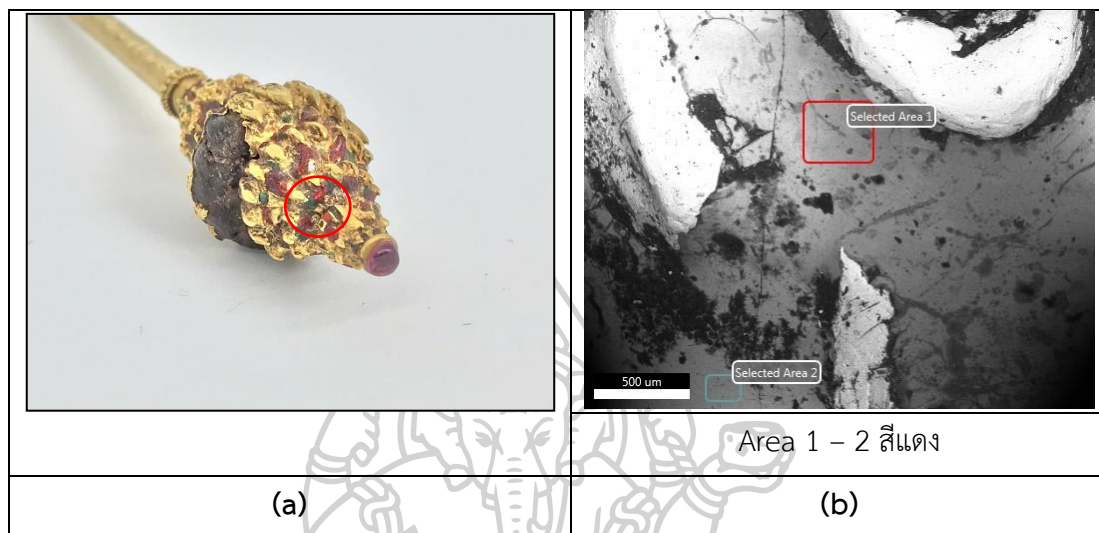


Spot 1 - 3 แกนกลางของพระปิ่น

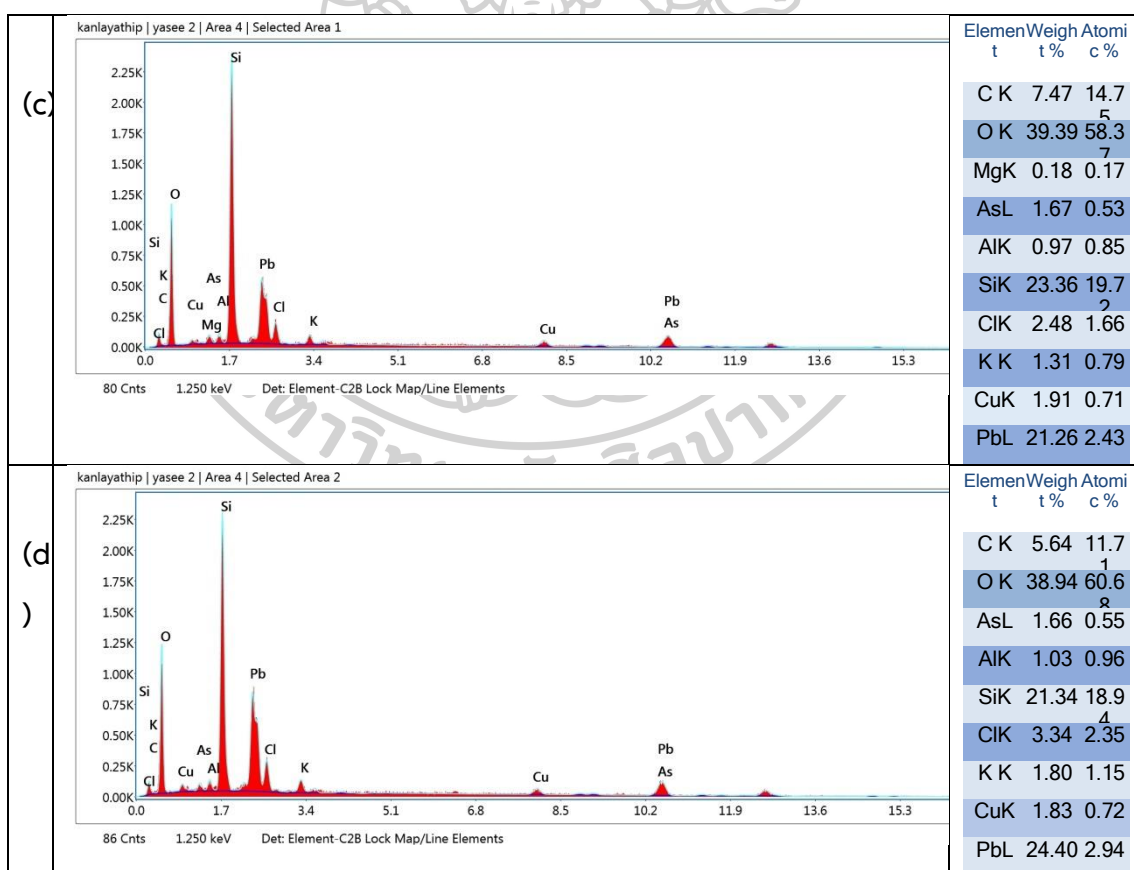
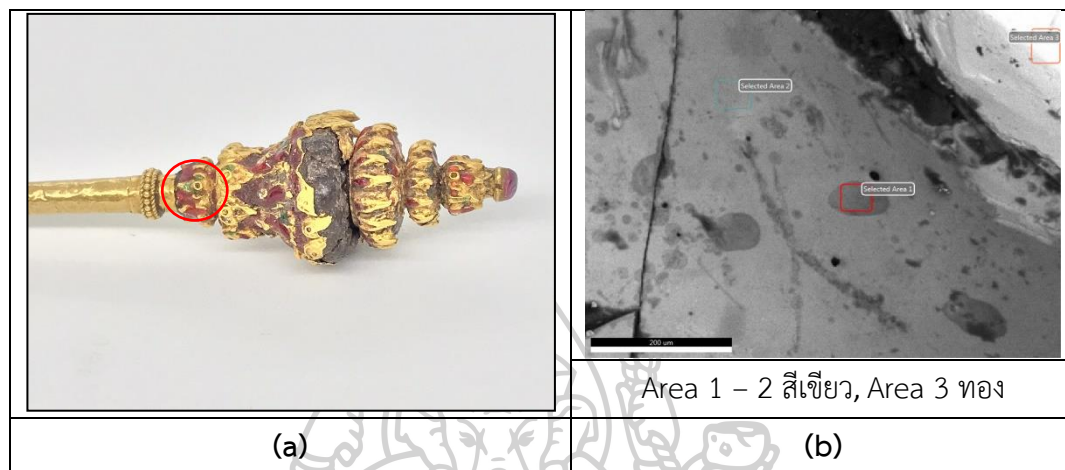


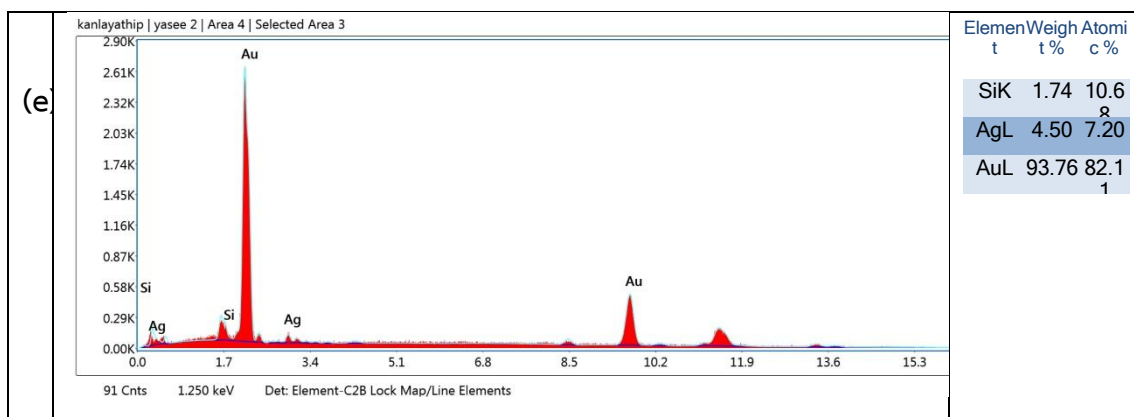


ภาพที่ 71 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

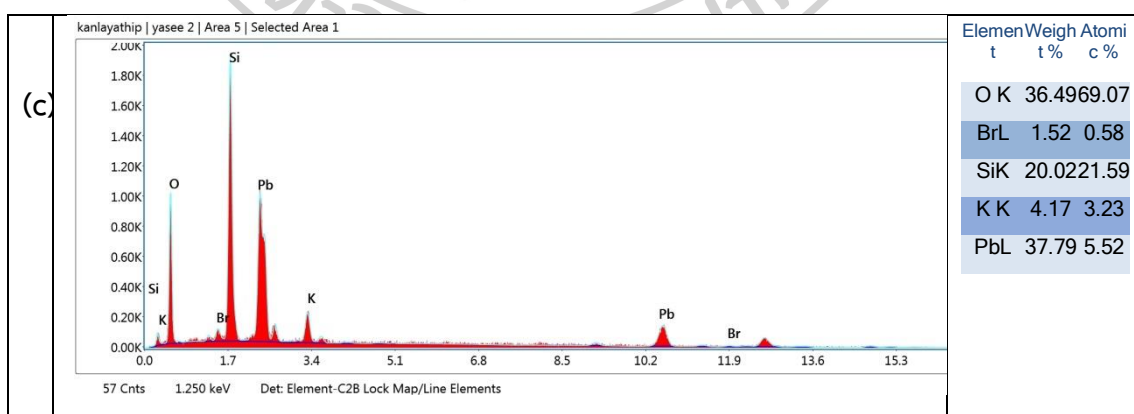
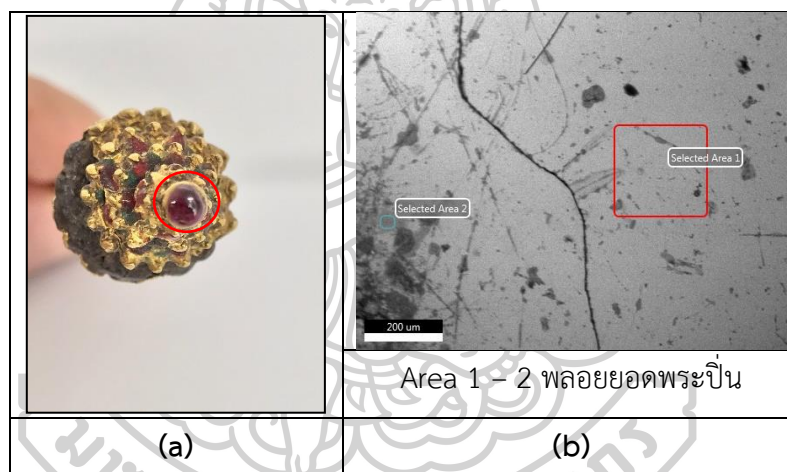


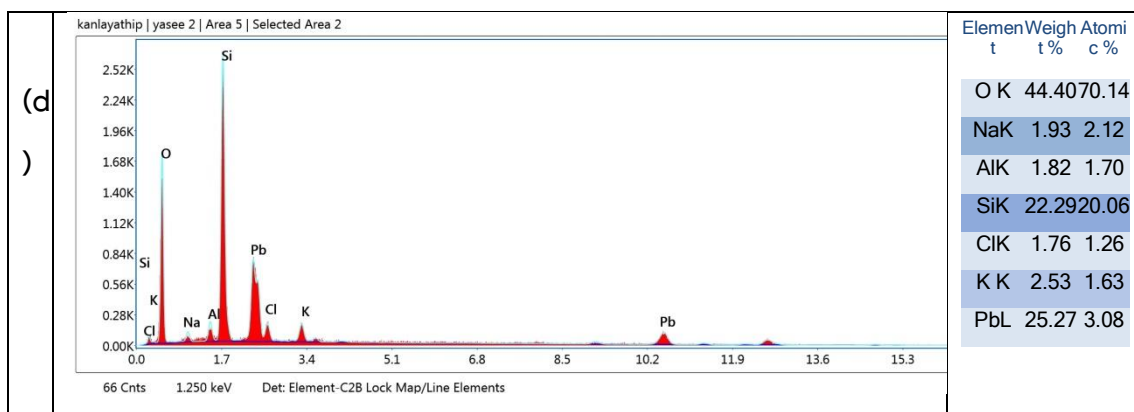
ภาพที่ 72 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ





ภาพที่ 73 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-e) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ





ภาพที่ 74 ผล การวิเคราะห์ SEM-EDS ของวัตถุ (a) บริเวณตัวอย่างที่อยู่บนวัตถุ (b) ภาพบริเวณภายใต้กล้อง SEM และบริเวณที่วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัตถุ และ (c-d) กราฟ EDS ของตัวอย่างที่บริเวณต่าง ๆ

### 4.3 ทางเลือกและแนวทางในการอนุรักษ์

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาวัสดุทดแทนยาสีในการอนุรักษ์วัตถุเคลือบด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิเมอร์เกรดอนุรักษ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดประเภทเทอร์โมพลาสติก (พาราลอยด์ B44, B48N, B66 และ B72) โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายและพอลิเมอร์ (เรซิน) ที่เหมาะสมที่สุดจากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มบนพื้นผิววัสดุที่เป็นโลหะซึ่งทำการจำลองโดยใช้โลหะเงินด้วยและมีการจำลองลดขนาดการรบกวน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความแข็งและความแข็งแรงของฟิล์มพาราลอยด์ สัณฐานวิทยา ความเสถียรทางความร้อน ในท้ายที่สุดมีนำเสนอถึงประสิทธิภาพในการทดแทนยาสีซึ่งจะทำการศึกษากับสีเขียวที่เป็นตัวแทนของสีที่ใช้ซึ่งอยู่ในกลุ่มเบญจรงค์ โดยในงานวิจัยนี้ถือเป็นการรายงานครั้งแรกที่มีการรายงานการเลือกใช้พาราลอยด์เรซินโดยใช้การตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ โดยแสดงให้เห็นผลลัพธ์ทางวิทยาศาสตร์ของการทำงานที่มีประสิทธิภาพ โดยให้ทางเลือกที่เป็นประโยชน์สำหรับการอนุรักษ์และเติมเต็มรูปแบบของเครื่องทองลงยาในอนาคต

#### 4.3.1 การทดสอบวัสดุทางเลือกในงานยาสี

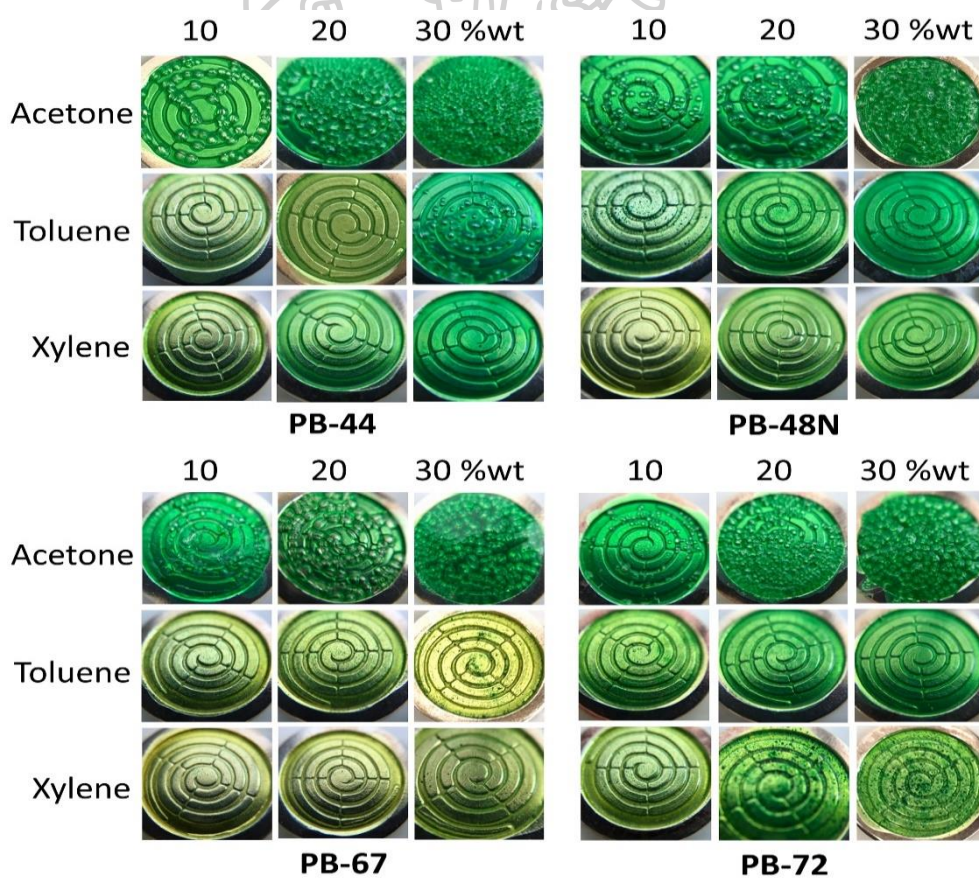
##### 4.3.1.1 การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับการลงยาสีทางเลือก

การหาตัวทำละลายที่เหมาะสมกับการลงยาสี มีความสวยงาม โดยสารทดสอบสารพาราลอยด์เรซิน 4 ชนิด ได้แก่ พาราลอยด์ B-72 พาราลอยด์ B-44 พาราลอยด์ B-48N พาราลอยด์ B-67 กำหนดความเข้มข้น 10% 20% และ 30% ในตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ อะซิโตน โทลูอีน ไซรีน และผสมยาสีอะคริลิก 1% หยอดบนแผ่นโลหะเงินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซ็นติเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตรแบบมีร่อง โดยเทคนิคการลงยาสีแบบยาเย็น ได้ตัวอย่างทั้งหมด 36 ตัวอย่าง

จากการประเมินด้วยสายตาพบว่า พาราลอยด์ทั้ง 4 ชนิดละลายได้ดีในตัวทำละลายทั้ง 3 ตัว แต่อะซิโตนมีระยะเวลาการระเหยของตัวที่เร็วเกินไปจะทำให้ยาสีเกิดฟองอากาศ เป็นฟิล์มขาวเหนียวขึ้น ขณะที่หยอดยาสีลงบนแผ่นเงินและเกิดรอยย่นของผิวยาสี หากความเข้มข้นของสารพาราลอยด์ในตัวทำละลายมีมากจะยิ่งส่งผลให้เกิดฟองอากาศมากตามไปด้วย และส่งผลให้ยาสีไม่สวยงาม

การระเหยของสารละลายพาราลอยด์ที่ผสมในโทลูอีนและไซลีน พบว่ามีระยะเวลาการระเหยใกล้เคียงกัน ยาสีเกิดฟองเล็กน้อยในพาราลอยด์ B-44 และ B-48N ที่ความเข้มข้น 30% ในโทลูอีนเมื่อพิจารณาการละลายตัวของสารสีอะคริลิกกับตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดพบว่าสารสีอะคริลิกละลายได้ดีในอะซิโตนมากที่สุด รองลงมาคือโทลูอีน และในไซลีนพบว่าสารสีอะคริลิกตกตะกอนในไซลีน เนื่องจากยาสีผสมเข้ากันยากกว่าเมื่อเทียบกับอะซิโตนและโทลูอีน และมีค่าสีที่อ่อนที่สุด (เมื่อผสมสีในอัตราส่วนที่เท่ากัน) ผิวของยาสีที่ได้ผลดีและมีความสวยงามมากที่สุดคือ การทำละลายในโทลูอีน รองลงมาคือไซลีน และอะซิโตนตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14

จากการทดสอบและการเลือกชนิดของเทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน และชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสม



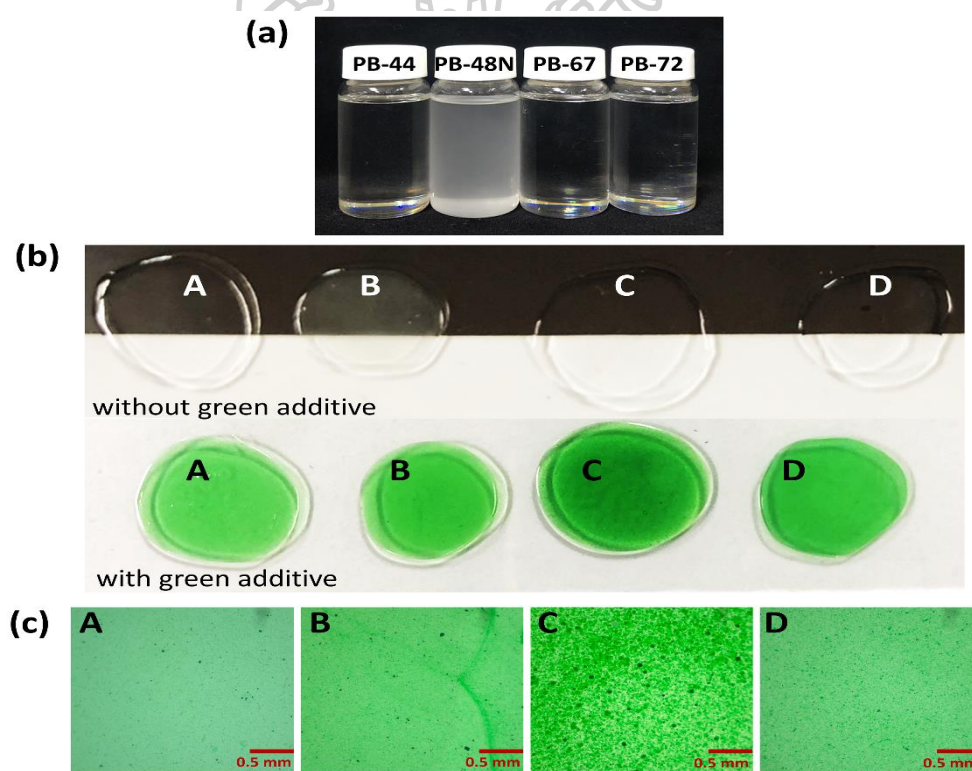
ภาพที่ 75 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพาราลอยด์หลังจากบ่มบนแผ่นทดสอบโลหะเงินที่มีลายนูน ลึกบนพื้นผิว

ผลการวิจัยพบว่าโพลูอินเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมและความเข้มข้นของพาราออยด์เรซินที่เหมาะสมคือ 20 %wt ต่อจากนั้นจึงทำการศึกษาฟิล์มพาราออยด์โดยเตรียมผ่านการหล่อสารละลายโพลีเมอร์ (รูปที่ 2a) ลงบนแผ่นกระจกโดยใช้โพลูอินเป็นตัวทำละลาย โดยมีความเข้มข้นของเรซิน 20 %wt กระบวนการนี้ดำเนินการเพื่อกำหนดลักษณะเฉพาะของฟิล์มพาราออยด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน

#### 4.3.1.2 ลักษณะทางกายภาพและสีพารามิเตอร์

##### (1) พารามิเตอร์การวัดสีของตัวอย่างฟิล์มถูกวัดโดยใช้ซอฟต์แวร์ Cary Win UV

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพาราออยด์ที่มีและไม่มีสารเติมสีเขียวหลังการอบแห้งบนกระจกแสดงในรูปที่ 2b-c ความหนาของฟิล์มมีตั้งแต่ 0.24 - 0.37 มิลลิเมตร พบว่าการรวมตัวของสารเติมแต่งสีเขียวทำให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่งนี้มีเม็ดสีและส่วนประกอบอะคริลิกโพลีเมอร์อยู่ด้วย (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 76 ลักษณะทางกายภาพของ (a) สารละลายโพลีเมอร์ที่ใช้โพลูอินเป็นตัวทำละลายและความเข้มข้น 20 %wt ของพาราออยด์เรซิน และ (b) ฟิล์มพาราออยด์ที่ไม่มีสารเติมแต่งสีเขียวหลังการอบแห้งบนกระจก และ (c) ภาพถ่ายเชิงแสงของฟิล์มพาราออยด์ ด้วยสารเติมแต่งสีเขียว (A) 20%PB-44/โพลูอิน, (B) 20%PB-48N/โพลูอิน, (C) 20%PB-67/โพลูอิน และ 20%PB-72/โพลูอิน

ฟิล์มบริสุทธิ์ 20%PB-44/โทลูอีน 20%PB-67/โทลูอีนและ 20%PB-72/โทลูอีนที่ไม่มีสารเติมแต่งสีเขียวแสดงความโปร่งใสสูง เป็นฟิล์มใสที่ %T  $99.88 \pm 0.15$ ,  $98.46 \pm 0.21$  และ  $98.10 \pm 0.18$  ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ในทางกลับกัน 20%PB-48N/โทลูอีนแสดงฟิล์มโปร่งแสงที่มีค่า %T เท่ากับ 77.65 ตามที่แสดงในสารละลายโปร่งแสง (รูปที่ 5a) หลังจากการเติมสารเพิ่มสีเขียว ฟิล์มที่แห้งจะมีความโปร่งใสลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มบริสุทธิ์ ฟิล์มทุกประเภทที่มีสารให้สีแสดงฟิล์มโปร่งแสงที่มี %T ตั้งแต่ 61 - 77 % นี้เป็นเพราะการมีอยู่ของอนุภาคเม็ดสีที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสง [24] ยิ่งไปกว่านั้น สังเกตพบว่า %T ของ 20%PB-67/T/G ลดลงมากที่สุด จาก  $98.46 \pm 0.21$  % ใน 20%PB-67/T (ไม่มีสารเติมแต่งสีเขียว) เป็น  $61.93 \pm 0.17$  % ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการกระจายตัวของสารเติมแต่งสีในพอลิเมอร์เกิดขึ้นไม่ดี ดังแสดงในรูปที่ 5c; C ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงเพิ่มขึ้น [24] สีที่ปรากฏของฟิล์มทุกชนิดที่มีสารเติมแต่งสีเขียวคือสีเขียว ดังแสดงในรูปที่ 5b เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีสารเติมแต่งสีเขียว ฟิล์มที่มีสารเติมแต่งสีเขียวมีค่า  $a^*$  สูงกว่าตั้งแต่ -56 ถึง -68 ค่ามุมสี ( $H^\circ$ ) ระหว่าง 140-143 และความเข้มสี (โครมา, C) ระหว่าง 73-88 (ตาม ในตารางที่ 14) ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับอักษรสีเขียว ซึ่งบ่งชี้ว่าพาราลอยด์เรซินทุกชนิดที่มีโทลูอีนเป็นตัวทำละลายไม่ส่งผลต่อเฉดสีของสารเติมแต่งสี

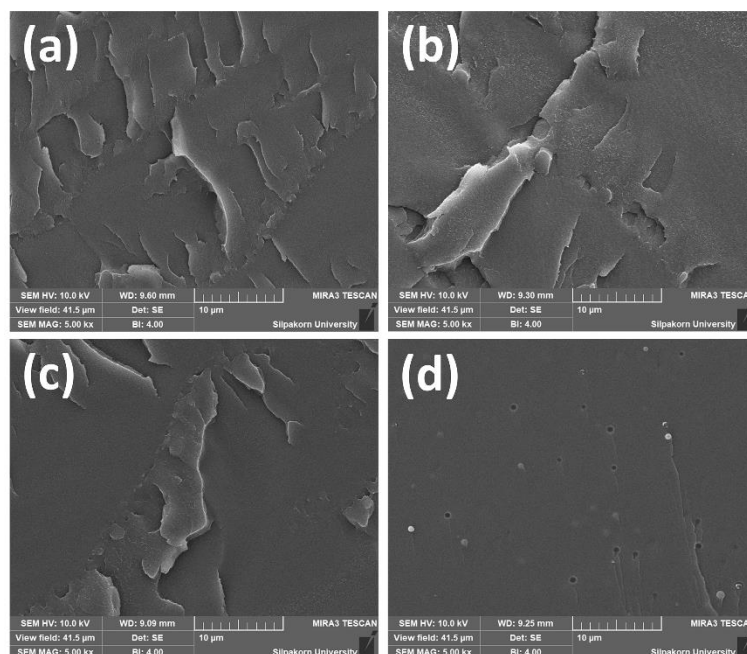
ตารางที่ 19 ความหนา การส่งผ่าน และสีของฟิล์มพาราลอยด์

ฟิล์ม	ความหนา (mm)	การส่งผ่าน ที่ 550 nm (%)	L*	a*	b*	C	H
20%PB-44/Toluene	$0.2429 \pm 0.0168$	$99.88 \pm 0.15$	100.00	0.00	0.52	0.52	89.83
20%PB-44/ Toluene /G	$0.2672 \pm 0.0558$	$77.63 \pm 0.18$	82.87	-59.44	43.25	73.51	143.96
20%PB-48N/Toluene	$0.2858 \pm 0.0625$	$77.65 \pm 0.60$	90.87	0.17	2.03	2.03	85.33
20%PB-48N/Toluene/G	$0.3795 \pm 0.0289$	$69.93 \pm 0.51$	77.75	-64.57	50.38	81.90	142.04
20%PB-67/Toluene	$0.3032 \pm 0.0519$	$98.46 \pm 0.21$	99.38	0.08	-0.05	0.10	325.82
20%PB-67/Toluene/G	$0.3628 \pm 0.0614$	$61.93 \pm 0.17$	72.48	-68.83	56.29	88.91	140.72
20%PB-72/Toluene	$0.2810 \pm 0.0279$	$98.10 \pm 0.18$	100.00	0.09	0.02	0.09	12.08
20%PB-72/Toluene/G	$0.3071 \pm 0.0174$	$70.22 \pm 0.14$	78.48	-62.41	48.21	78.87	142.31

## (2) สันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสนาม (FESEM)

จากรูปที่ 3 แสดงภาพ SEM ของพื้นที่ภาคตัดขวางของฟิล์มพาราลอยด์ ประเภทต่าง ๆ 20% PB-44 โทลูอีน, 20%PB-48N/โทลูอีน และ 20%PB-67/โทลูอีน มีการแตกหักที่ค่อนข้างเรียบ พื้นผิวการแตกตัวของฟิล์ม PB-44, PB-48N, PB-67 ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการเสีรูปร่างของพลาสติก ในขณะที่

20%PB-72/โพลูอิน แสดงลักษณะที่เหนียวชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของสมบัติเชิงกล (ตามข้อ 3.5 ความแข็งและสมบัติเชิงกล)



ภาพที่ 77 พื้นผิวแตกของฟิล์มพาราลอยด์ชนิดต่างๆ (A) 20%PB-44/โพลูอิน, (B) 20%PB-48N/โพลูอิน, (C) 20%PB-67/โพลูอิน และ 20%PB- 72/โพลูอิน

### (3) เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo gravimetric Analysis

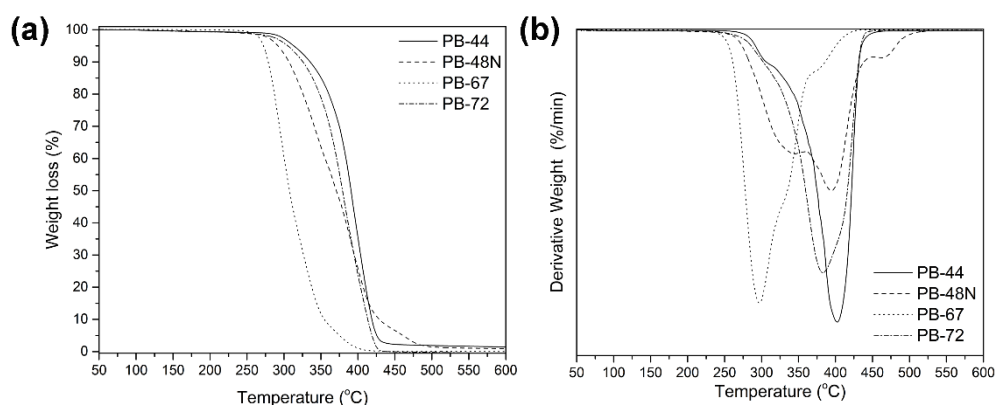
#### (TGA)

เทอร์โมแกรม TGA ของพาราลอยด์เรซินในตารางที่ 18 และรูปที่ 78 รูปที่ 78a และรูปที่ 78b แสดงถึงการสูญเสียน้ำหนัก (TGA) และอนุพันธ์ของเส้นโค้งการสูญเสียมวล (DTA) ตามลำดับ สิ่งที่สำคัญที่สุดของพารามิเตอร์เกี่ยวกับความคงตัวทางความร้อนของวัสดุ ที่ตรวจสอบได้สรุปไว้ในตารางที่ 18 พฤติกรรมการระบายความร้อนของพาราลอยด์เรซิน แสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสะท้อนถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์และการจัดเรียงโมเลกุลของหน่วยโครงสร้างในปฏิกิริยาการย่อยสลาย

จากรูปที่ 78 และตารางที่ 20 แสดงลำดับของพอลิเมอร์ที่มีความเสถียรทางความร้อนสูงสุด โดยพิจารณาจาก  $T_{d, initial}$  และ  $T_{d, max}$  เป็นดังนี้  $PB-44 > PB-72 > PB-48N > PB-67$  กระบวนการย่อยสลายได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างและองค์ประกอบของโคพอลิเมอร์ PB44, PB48N และ PB72 เป็นโคโพลิเมอร์ ในขณะที่ B67 เป็นโฮโมพอลิเมอร์ไอโซบิวทิลเมทาคริเลต (PiBMA) โดย M. Lazzari



และ O. Chiantore [8] รายงานว่า B44 อาจถูกพิจารณาว่าเป็นโคพอลิเมอร์แบบไบนารีของเอทิลอะครีเลต / เมทิลเมทาครีเลต (EA/MMA) ที่มีหน่วย BMA ในปริมาณต่ำ B48N เป็นโคพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาครีเลต/บิวทิลเมทาครีเลต (MMA/BMA) โดยทั่วไป B72 จะถูกระบุโดยผู้ผลิตว่าเป็นโคพอลิเมอร์ของเมทิลอะครีเลต/เอทิลเมทาครีเลต (MA/EMA) [8, 27]



ภาพที่ 78 เส้นโค้ง TGA ของฟิล์มพาราออยด์ (a) น้ำหนักที่ลดลง และ (b) น้ำหนักอนุพันธ์ของฟิล์มพาราออยด์

ตารางที่ 20 ความคงตัวทางความร้อนของฟิล์มพาราออยด์

ฟิล์ม	เสถียรภาพทางความร้อน			มวลสารตกค้าง (%)
	T <sub>d</sub> , เริ่มต้น (°C)	T <sub>d</sub> , สูงสุด (°C)	T <sub>d</sub> , จบ (°C)	
PB-44	254.89	402.57	453.74	4.669
PB-48N	236.76	398.40	515.38	7.634
PB-67	242.89	296.43	411.43	5.408
PB-72	250.66	382.79	438.02	3.696

\*n/d = ตรวจไม่พบ

PB44 เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่มที่เกิดจากหน่วยโครงสร้าง MMA > EA > BMA เส้นโค้งความร้อนนี้แสดงสองขั้นตอนของการสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการสลายตัว ซึ่งคล้ายกับการย่อยสลายด้วยความร้อนของ PMMA (โดย MMA เป็นโมโนเมอร์) ขั้นตอนแรก เริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 315 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการย่อยสลายตัวอย่าง PB44 จำนวนเล็กน้อย การเปิดตัวนี้เกี่ยวข้องกับโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาที่ตกค้างอยู่ในโพลีเมอร์ [18] ขั้นตอนที่สอง (T<sub>d</sub>, สูงสุด = 402.57 องศาเซลเซียส) เสนอกระบวนการสลายตัวอย่างรุนแรง ซึ่งเริ่มต้นจากปลายสายโซ่โพลีเมอร์ที่มีพันธะไม่

อิมตัวใน PB44 ซึ่งสร้างโมโนเมอร์จำนวนมากขึ้นใหม่ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน [10, 28]

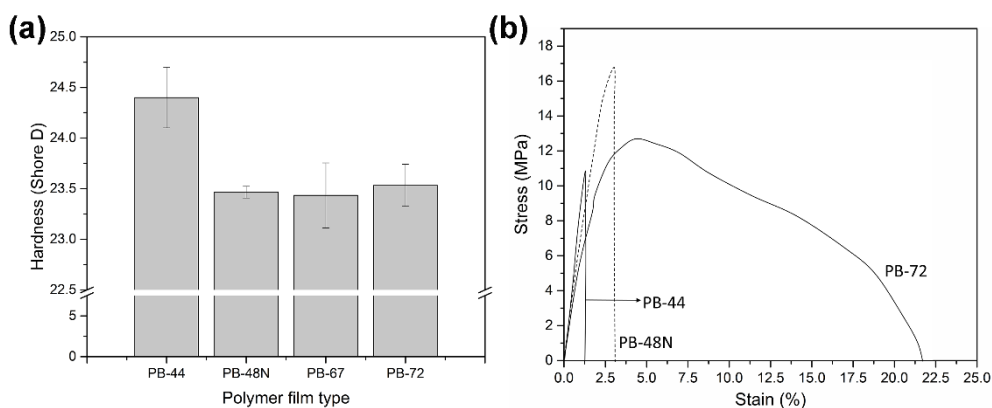
PB72 ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม EMA-MA และ MA-BMA โดยมีองค์ประกอบหลักเป็น EMA (หน่วย  $EVA > MA > BMA$ ) [18] พฤติกรรมการสลายตัวเนื่องจากความร้อนจึงคล้ายกับของโพลี (เอทิล แมทาครีเลต, PEMA) ชั้นแรกที่อยู่เหนืออุณหภูมิการสลายตัว  $\approx 295.0$  องศาเซลเซียส มีสาเหตุมาจากการกำจัดโมเลกุลที่ระเหยออกในกลุ่มด้านข้างของพอลิเมอร์ซินและโมโนเมอร์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ ชั้นตอนที่สองของการลดน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิสูงสุด  $\approx 382.79$  องศาเซลเซียส มีสาเหตุมาจากการย่อยสลายของสายกราฟต์แบบควอเตอร์ไนซ์และการสลายตัวของพอลิเมอร์แกนหลัก [29]

PB48N แสดงการสลายตัวเนื่องจากความร้อนเร็วกว่า PB44 ที่ 236.76 องศาเซลเซียส และ 398.40 ของ  $T_d, initial$  และ  $T_d, max$  ตามลำดับแม้ว่าจะมีองค์ประกอบหน่วยเดียวกันของ MMA และ BMA (ไม่มี EA) ในโครงสร้างโพลิเมอร์ จากข้อมูลของ Chiantore และ M. Lazzari [18] นี่อาจเป็นเพราะจำนวนหน่วย BMA ที่สูงขึ้นใน B48N ดังนั้นการตัดเฉือนแบบลูกโซ่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ลำดับ BMA ซึ่งเริ่มต้นการดีพอลิเมอไรเซชันที่สามารถพัฒนาไปสู่หน่วย MMA ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ทำให้เกิดการแยกของพันธะ MMA-MMA

PB67 ซึ่งเป็น PiBMA แสดงขั้นตอนเดียวของ TG และจุดสูงสุดเดียวบนเส้นโค้ง DTG ด้วย  $T_d$  เริ่มต้นที่ 250.66 องศาเซลเซียส และ  $T_d$  สูงสุด 295.32 องศาเซลเซียส สิ่งนี้บ่งชี้ว่าการสลายตัวเกิดจากการสลายตัวของกลุ่มไอโซบิวทิลและการแยกตัวของสายโซ่แบบสุ่ม โดยการสูญเสียมวลของ PiBMA เริ่มต้นที่ 250.66 องศาเซลเซียส [8, 30]

#### (4) ความแข็งและสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบความแข็งฝั่งดิจิทัล RH-250A, LANDTEK ( Shore D)

ความแข็ง (Shore D) ของ Pararoid แสดงไว้ในรูปที่ 5a พาราลอยด์ 4 ประเภทถูกระบุว่าเป็นพลาสติกที่อ่อนกว่า โดยแสดงระดับความแข็งระหว่าง 23 – 25 พบว่า PB44 มีความแข็งมากกว่าฟิล์ม Pararoid ชนิดอื่นๆซึ่งสอดคล้องกับเอกสารข้อมูลของ Dow Chemical ซึ่งแสดงว่า PB-44 มีความแข็งของฟิล์มใสสูงสุด (15-16)



ภาพที่ 79 (a) ความแข็ง (ฝั่ง D) และ (b) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของฟิล์มพาราลอยด์

ในทำนองเดียวกันผลลัพธ์ความต้านทานแรงดึงแสดงไว้ในตารางที่ 19 และรูปที่ 79b ระบุว่าฟิล์มพาราลอยด์ที่มีความแรงสูงสุดคือ PB-44 ตามด้วย PB-48N และ PB-72 ตามลำดับ PB44 แสดงความแข็งแรงขั้นสุดท้ายที่  $10.21 \pm 0.45$  Mpa, โมดูลัสของ Young  $827.94 \pm 50.87$  MPa และการยืดตัวที่จุดขาด  $1.29 \pm 0.08$  % ในทางกลับกัน PB-72 แสดงความยืดหยุ่นสูงสุดโดยมีการยืดตัวที่จุดขาด  $22.10 \pm 1.55$  % PB48N แสดงความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ B44 เป็นโมดูลัสของ Young ที่  $633.89 \pm 68.99$  MPa อย่างไรก็ตาม PB67 ไม่สามารถสร้างเป็นฟิล์มได้เนื่องจากมีความเปราะบาง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.6

ตารางที่ 21 สมบัติเชิงกลของฟิล์มพาราลอยด์

ฟิล์ม	คุณสมบัติทางกล		
	ค่าความต้านทานแรงดึง (MPa)	ระยะการยืดตัวเมื่อขาด (%)	โมดูลัสของยัง (MPa)
PB-44	$10.21 \pm 0.45$	$1.29 \pm 0.08$	$827.94 \pm 50.87$
PB-48N	$15.32 \pm 0.78$	$2.80 \pm 0.26$	$633.89 \pm 68.99$
PB-67	n/d*		
PB-72	$11.48 \pm 0.96$	$22.10 \pm 1.55$	$408.32 \pm 49.29$

\*n/d = ตรวจไม่พบ

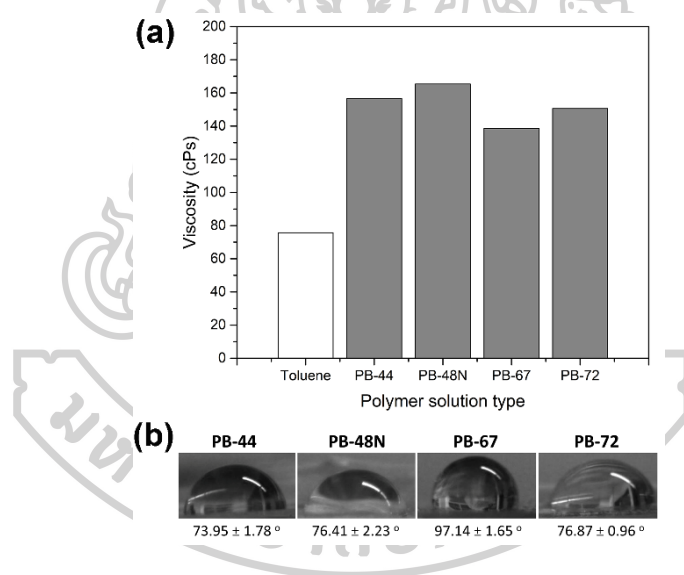
#### 4.3.1.3 ประสิทธิภาพในการทดแทนการลงยาสี

การเลือกเรซินเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มลวดลายและเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุเครื่องทองลงยา ควรมีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้ เช่น ความโปร่งใส และไม่มีสี ความยืดหยุ่น กันน้ำ และใช้งานง่าย: ความหนืด กำจัดส่วนเกินได้ง่าย ใช้งานได้ที่อุณหภูมิห้อง

จากการศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายและโพลีเมอร์ที่เหมาะสมที่สุด พบว่าโทลูอีนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมและความเข้มข้นของพาราโลยด์เรซินที่เหมาะสมคือ 20 % wt फिल्मที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแผ่นเงินที่มีลายนูนลึกก็พบว่าไม่มีก้อนเรซินและฟองสบู่หลงเหลืออยู่

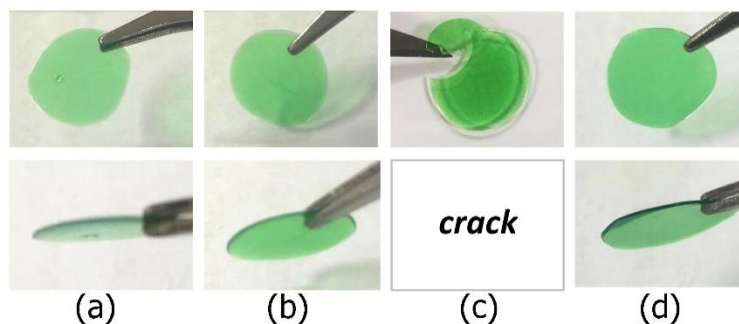
การเตรียมสารละลายและการก่อตัวของฟิล์มผ่านการระเหยของโทลูอีนทำให้ง่ายต่อการทำ นอกจากนี้ สารละลายของ PB-48N มีความหนืดสูงสุด (รูปที่ 80a) โดยที่ PB-44 และ PB-72 มีอันดับตามหลังอยู่ไม่กี่กล ในขณะที่ยังมีสารละลาย PB-67 มีความหนืดต่ำที่สุดในการทดสอบ การค้นพบความหนืดเหล่านี้สอดคล้องกับการวิจัยที่รายงานโดย A. Tomaszewska และ A. T-Szewczyk [14]

ฟิล์มพาราโลยด์ทั้ง 4 ฟิล์มแสดงความชัดเจนดี (ผลลัพธ์ความโปร่งใส) และความยืดหยุ่น (ผลลัพธ์ด้านความแข็งและคุณสมบัติทางกล) โดยเฉพาะ PB72 โดดเด่นด้วยความสามารถพิเศษในการโค้งงอและปรับเข้ากับรูปร่างของชิ้นการลงยา นอกจากนี้ ฟิล์มที่ได้จะไม่เปลี่ยนสีเมื่อเติมสารเติมแต่งสี



ภาพที่ 80 (a) ความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ของพาราโลยด์เรซินแต่ละชนิด และ (b) มุมสัมผัสน้ำของฟิล์มพาราโลยด์

นอกจากนี้ มุมสัมผัสของน้ำ (รูปที่ 80a) ของฟิล์มทั้งสี่แสดงมุมสัมผัสสูงพร้อมพลังงานพื้นผิวต่ำ อยู่ระหว่าง 73 - 97 ° ซึ่งเกี่ยวข้องกับ E ผลของ Ntelia และ I. Karapanagiotis [21] โดยเฉพาะ PB-67 มีมุมสัมผัส 97 ° ซึ่งบ่งบอกถึงคุณลักษณะของพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำสูง ดังนั้นฟิล์มพาราโลยด์ทั้ง 4 ฟิล์มจึงมีคุณสมบัติกันน้ำได้



ภาพที่ 81 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มหลังจากลอกออกจากผิวกระจก (a) 20%PB-44/T/G, (b) 20%PB-48N/T/G, (c) 20%PB-67/T /G และ (d) 20%PB-72/T/G

ฟิล์มพาราไลต์ถูกกำจัดออกได้อย่างง่ายดายโดยใช้โทลูอีน อะซิโตน และไซลีน เนื่องจากสามารถละลายได้ง่ายโดยไม่เหลือก้อนเรซินตกค้าง นอกจากนี้ยังสามารถลอกออกจากพื้นผิวได้ ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มหลังจากการลอกออกแสดงในรูปที่ 81 แม้ว่าฟิล์ม 20% PB-67/T/G จะไม่สามารถลอกออกได้เหมือนเดิม แต่ก็สามารถลอกออกได้ง่ายโดยไม่ทิ้งร่องรอย (รูปที่ 81c) สารละลายพาราไลต์เป็นสารละลายที่อุณหภูมิห้องซึ่งสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มได้โดยการระเหยของตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ในประเทศไทย) เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการลงยาคล้ายแก้ว [3] เทคนิคนี้ไม่ได้ใช้อุณหภูมิสูง

นอกจากนี้ ฟิล์มที่ได้รับยังแนะนำความเสถียรทางความร้อนโดยมีอุณหภูมิการสลายตัวเริ่มต้นต่ำสุดที่ 236.76 องศาเซลเซียส (PB-48N) นอกจากนี้ สมบัติทางความร้อนในรูปของอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของพาราไลต์เรซินในการวิจัยครั้งนี้มีค่ามากกว่า 50 องศาเซลเซียส [31-35] ซึ่งเป็นการยืนยันว่าฟิล์มโพลีเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะคล้ายแก้ว โดยไม่มีการซึมหรือละลายเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่ใช้เมื่อนำมาเคลือบที่อุณหภูมิห้องในประเทศไทย (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ซึ่งไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบคุณสมบัติของพาราไลยด์เรซินและความหนืดของสารละลายความเข้มข้น 20%wt โทลูอิน

ตัวอย่าง เลขที่	ชื่อ	รูปร่าง	ความต้านทานต่อการขีดข่วน (g)	ความเสถียรสภาพทางความร้อน (ค่าTd)	ความหนืด	การเกาะยึด		ความต้านน้ำ		การนำออก
						ค่าอธิบาย	ระดับการเกาะยึด	มุมสัมพัทธ์น้ำ	คุณลักษณะของพื้นผิว	
1	Paralioid B-44	ความโปร่งใสสูง, ความมันวาว, สม่ำเสมอ	100	60 C°	ความหนืดสูง	ยึดเกาะได้ดี	10	73.95 ± 1.78 C°	ไม่ชอบน้ำ	ไม่ทิ้งร่องรอย
2	Paralioid B-48N	ความโปร่งใสสูง, ความมันวาว, สม่ำเสมอ	95	50 C°	ความหนืดสูง	ยึดเกาะได้ดี	10	76.41 ± 2.23 C°	ไม่ชอบน้ำ	ไม่ทิ้งร่องรอย
3	Paralioid B-67	ขุ่นมัว, มีความมันวาว, สม่ำเสมอ	50	50 C°	ความหนืดต่ำ	ยึดเกาะได้ดี	9	97.14 ± 1.65 C°	ไม่ชอบน้ำสูง	ไม่ทิ้งร่องรอย
4	Paralioid B-72	ความโปร่งใสสูง, ความมันวาว, สม่ำเสมอ	96	40 C°	ความหนืดสูง	ยึดเกาะได้ดี	10	76.87 ± 0.96 C°	ไม่ชอบน้ำ	ไม่ทิ้งร่องรอย

จากการทดสอบพาราลอยด์เรซิน (เทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน) 4 ชนิดที่มีความเข้มข้น 20 %wt โดยใช้โพลูอินเป็นตัวทำละลาย ส่วนใหญ่มีความโปร่งใส ความมันวาว ความสม่ำเสมอสูง ยกเว้น Paraliod B-67 ซึ่งมีความขุ่นและกึ่งเงา फिल्मที่เกิดจาก Paraliod B-44 มีความทนทานต่อการขีดข่วนได้ดี คะแนนในการทดสอบความแข็งของ Paraliod อื่นๆ ได้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ในขณะที่ Paraliod B-67 ต่ำกว่า Paraliod B-44 ถึงสองเท่า फिल्मทั้งหมดยังมีความยึดเกาะได้ดี แต่มีความแตกต่างกันในแง่ของความหนืด ค่าสูงสุดถูกบันทึกไว้สำหรับ Paraliod B-44 , B-48N B-72 และต่ำสุด B-67 ในการทดสอบความต้านน้ำ Paraliod B44, B-48N,B-72,B-67 ไม่ชอบน้ำ และสามารถนำออกได้ง่าย จากผลลัพธ์จากการทดสอบ พาราลอยด์เรซิน ทั้ง 4 ชนิด แสดงให้เห็นว่าพาราลอยด์ B-44 มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับวัสดุเดิม มีความโปร่งใส มันวาว ความหนืดสูง ยึดเกาะได้ดี และมีคุณสมบัติด้านความแข็งมากกว่าฟิล์มพาราลอยด์ชนิดอื่นๆ ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่เหมาะสมด้วยเหตุนี้จึงเลือกนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนและเสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุเครื่องทองลงยาสี

#### 4.4 การอนุรักษ์เบื้องต้น

หลังจากการศึกษาด้านการเสื่อมสภาพ การศึกษา การทดลอง และ การทดสอบผลทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุทดแทนประเภทเทอร์โมพลาสติกอะคริลิกเรซิน โดยการนำวัสดุเครื่องทองลงยาสีที่เสื่อมสภาพ ซ้ำรูด หลุดร่อน จำนวน 2 ชิ้น มาเติมยาสีบริเวณที่ซ้ำรูด โดยใช้วัสดุทดแทน Paraliod B-44 20%wt โพลูอิน ซึ่งมีคุณสมบัติ ลักษณะ ที่ใกล้เคียงกับยาสีร้อนแบบดั้งเดิม ดังรูปภาพที่ 82 ภาพที่ 83



ก่อนอนุรักษ์



หลังอนุรักษ์

ภาพที่ 82 วัสดุเครื่องทองลงยาสี โดยการใช้วัสดุทดแทน Paraliod B-44 20%wt โทลูอิน ชั้นที่ 1





ก่อนอนุรักษ์



หลังอนุรักษ์

ภาพที่ 83 วัสดุเครื่องทองลงยาสี โดยการใช้วัสดุทดแทน Paraliod B-44 20%wt โทลูอิน ชั้นที่ 2

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์สภาพพระจุฑามณีทั้ง 2 ชั้น พบว่าสภาพโครงสร้างเกิดการเสียหายของรูปทรง และมีรอยฉีกขาดของทองบริเวณลายกระจังตาอ้อย (ชั้นบัวกลุ่ม) สภาพของพื้นผิวพบรอยขีดข่วน ฉีกขาด วัสดุมีสภาพม่นหมอง ไม่สุกกว่า มีฝุ่นและคราบสกปรกสะสมบริเวณผิวและซอกเล็กๆ บริเวณ ยาสี พบว่าบางส่วนหลุดกะเทาะและมีรอยแตกร้าว ส่วนปลายมีการชำรุดของทองที่หุ้มและอัญมณีหลุดหาย ส่วนปลายด้านทอง พบเห็นส่วนแกนโลหะโผล่ออกมา

จากการศึกษาด้วยเทคนิคต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ทำให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบของโลหะและสี รวมถึงเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่

1. กล้องจุลทรรศน์ Celestron Compound Microscope Labs CB2000CF โดยพบว่ามีสภาพเสื่อมสภาพของพระจุฑามณี ที่พบรอยร้าว รอยขีดข่วน โลหะเสีयरูปทรง ยาสีกะเทาะหลุดร่อน คราบฝุ่นคราบสกปรก

2. เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ GOLDSCOPE SD<sup>®</sup> 510 ยี่ห้อ Fischer ของ Laser Jewelry Center ได้ข้อมูลโลหะมีค่าและโลหะผสมในพระจุฑามณี พบว่าพระจุฑามณี ทั้ง 2 ชั้น มีค่าทองคำ (Au) มากที่สุด และมีค่าเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) ตามลำดับ

3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM-EDX)) ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3 ในการตรวจสอบสารอินทรีย์ ที่เป็นสารประกอบของวัสดุในวัตถุ พบว่ามีองค์ประกอบของพระจุฑามณีนี้คือโลหะประเภททอง จากนั้นสำรวจพบว่าสีทั้งหมด 3 สี สีขาว สีแดง และสีเขียว ซึ่งมีส่วนประกอบของแก้วคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ส่วนของสีขาวนั้น มาจากผงสี (Pigment) ประเภทขาวตะกั่ว หรือ lead white สีแดง พบธาตุ Pb เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแสดงถึงตะกั่วแดง หรือเสน สีเขียวเป็นออกไซด์ของทองแดง เรียกว่า Copper(I) oxide นอกจากนี้ยังพบธาตุ Pb เป็นส่วนประกอบด้วย เนื่องจาก Pb เป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่ช่วยให้แก้วหลอมละลายเร็วในงานยาสีจึงพบ Pb เป็นส่วนประกอบของตัวอย่างบนวัตถุ

การศึกษาทางเลือกที่เป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์และเติมเต็มรูปแบบของเครื่องทองลงยา ในอนาคตเป็นผลสำเร็จโดยผ่านการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์คุณสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ ความหนัก

ความแข็ง การทนความร้อน ความโปร่งใส การกันน้ำ และความสะอาดในการใช้งานของพาราลอยด์เรซิน ถูกนำมาพิจารณาเพื่อประเมินประสิทธิภาพเพื่อใช้แทนการลงยาสีร่อน

ศึกษาพาราลอยด์เรซิน 4 ชนิด ที่มีสารเติมแต่งอะคริลิกสีเขียวเพื่อหาความเข้มข้นและตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มบนแผ่นทดสอบที่ทำจากโลหะเงิน ที่มีพื้นผิวเป็นร่องลึกจำลอง พบว่าโทลูอีนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม และความเข้มข้นที่เหมาะสมของพาราลอยด์เรซิน 20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่ส่งผลต่อเฉดสีของสารเติมแต่ง เมื่อสร้างฟิล์ม การปรากฏตัวของสารเติมแต่งสีเขียวอะคริลิก ทำให้มองเห็นได้ดีขึ้น ทำให้สามารถสังเกตฟองอากาศ ก่อนเรซินที่ตกค้าง และสารเติมแต่งสีที่กระจายตัว เนื่องจากฟิล์มพาราลอยด์ที่สะอาดมีแนวโน้มที่จะมีความโปร่งใสูง ฟิล์มพาราลอยด์ทั้งหมดมีความใสและยืดหยุ่น โดยเฉพาะ พาราลอยด์ บี-72, ซึ่งแสดงความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ พาราลอยด์แต่ละประเภทมีลักษณะที่แตกต่างกัน ; พาราลอยด์ บี-44 มีความแข็งกว่าฟิล์มพาราลอยด์อื่น, พาราลอยด์ บี-48เอ็น แสดงความหนืดสูงสุด, และ พาราลอยด์ บี-67 มีพื้นผิวแข็งคล้ายแก้ว มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ

นอกจากนี้ สารละลายพาราลอยด์ แสดงให้เห็นถึงการใช้งานที่อุณหภูมิห้องและสามารถสร้างฟิล์มผ่านการระเหยของตัวทำละลายในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย นอกจากนี้ เรซินเหล่านี้ยังแสดงความคงตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส ,ที่มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเกิน 50 องศาเซลเซียส นี่เป็นการยืนยันว่าฟิล์มโพลีเมอร์ที่ได้นั้นยังคงเหมือนกระจก ป้องกันการซึมหรือละลายบนพื้นผิวที่ทำ แม้ในอุณหภูมิห้องในประเทศไทยซึ่งยังคงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งคุณสมบัติ ลักษณะที่ปรากฏ มีความเป็นไปได้สูงมาก ที่สามารถจะนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีได้

### ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การนำตัวอย่างปิ่นพระจุฑาภรณ์ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากอาจสร้างความเสียหายให้ปิ่นพระจุฑาภรณ์เพิ่มมากขึ้น
2. คุณสมบัติของสารละลายและตัวทำละลายของแต่ละชนิด ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ควรนำมาใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

### ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้วัสดุทดแทนยาสีสามารถสร้างสีขึ้นให้ใช้งานได้สวยงามและสมบูรณ์ สิ่งสำคัญจะต้องเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมผลกระทบจากสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความชื้น ของ สภาวะจริง หรือ สภาวะจำลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์



## รายการอ้างอิง

- Alicia Perea, O. G.-V. *Gold usage: wear marks and/or deterioration in site conditions*. Retrieved July 24 from [https://www.researchgate.net/publication/346096819\\_Gold\\_usage\\_wear\\_marks\\_andor\\_deterioration\\_in\\_site\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/346096819_Gold_usage_wear_marks_andor_deterioration_in_site_conditions)
- Caring for ceramic and glass objects*. Retrieved May 29 from <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/ceramics-glass-preventive-conservation.html>
- Causes of Metals deterioration*. <https://aiccm.org.au/carer-guide/metals/>
- Chinese Cloisonné*. (2021). Retrieved December 14 from [https://www.metmuseum.org/toah/hd/clos/hd\\_clos.htm](https://www.metmuseum.org/toah/hd/clos/hd_clos.htm)
- Effect of solvent on PARALOID®. *B72 and B44 acrylic resins used as adhesives in conservation*. Retrieved June 8 from <https://link.springer.com/article/10.1186/s40494-019-0283-9>
- Effect of solvent on PARALOID®. *Effect of solvent on PARALOID® B72 and B44 acrylic resins used as adhesives in conservation*. Retrieved June 8 from <https://link.springer.com/article/10.1186/s40494-019-0283-9>
- Enamelwork*. (2021). Retrieved December 10 from <https://www.britannica.com/art/enamelwork/History>
- History and Future of Plastics. *Science History Institute*. Retrieved May 25 from <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- The History of Enamel Jewelry. (2021, December 14). <https://www.marketsquarejewelers.com/blogs/msj-handbook/the-history-of-enamel-jewelry>
- Identifying Archaeological Metal. *Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 4/1*. Retrieved June 2 from <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/identifying-archaeological-metal.html>
- IRON4Raw Idener, S. <https://ion4raw.eu/service/gold/>
- Martí Beltrán. (2020). *Analysis and degradation mechanisms of enamels, grisailles and*

- silver stains on modernist stained glass*. Retrieved June 2 from [https://www.academia.edu/45173767/Analysis\\_and\\_degradation\\_mechanisms\\_of\\_enamels\\_grisailles\\_and\\_silver\\_stains\\_on\\_modernist\\_stained\\_glass](https://www.academia.edu/45173767/Analysis_and_degradation_mechanisms_of_enamels_grisailles_and_silver_stains_on_modernist_stained_glass)
- Rika S. and other. (1987). *An Investigation into the Deterioration of Painted Limoges Enamel Plaques c. 1470-1530*. Retrieved May 30 from <https://www.jstor.org/stable/1506214>
- Science Matters. *The Case of Plastics*. Retrieved May 24 from <https://www.sciencehistory.org/science-of-plastics>
- Science notes. *Interesting Gold Facts*. Retrieved May 5 from <https://sciencenotes.org/interesting-gold-facts/>
- Stefano R., F. R., and Attilio. (2021). *A brief history of porcelain enamel: from artistic enamel to technical enamelling*. Retrieved December 12 from <https://encyclopedia.pub/revision/11460/v1>
- Vitreous Enamel Association. (2022). *History of Vitreous Enamel*. Retrieved January 15 from <https://www.vea.org.uk/history-of-vitreousenamel/>
- ZOIC PALAEOTECH. *Paraloid™ B-72 and its uses in Fossil Preparation*. Retrieved June 8 from <https://www.zoicpalaeotech.com/pages/paraloid-b72-in-fossil-preparation?shpxid=80630843-1dc6-44ff-9ae5-f9b0cdf76bf>
- กรมธนารักษ์. (2557). ทรัพย์สินมีค่าของแผ่นดินในพระราชพิธีโสกันต์.
- กรมศิลปากร. (2539). ตำราแบบธรรมเนียมในราชสำนักครั้งกรุงศรีอยุธยาถึงพระราชวิจารณ์ของสมเด็จพระยาดำรงราชานุภาพ.
- กรมศิลปากร. (2560). โลหะศิลป์ ๖ พระที่นั่งปัจฉิมภาณุ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พระนคร.
- กรมศิลปากร, ก. ส. (2553). โครงการสร้างต้นแบบเพื่อเพื่อจัดทำองค์ความรู้ เรื่องสร้างลวดลายในงานโลหะ.
- กาญจนาภิเษกวิทยาลัย ช่างทองหลวง. (2555). โครงการศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้ งานยาสี.
- โครงการสืบสานมรดกวัฒนธรรมไทย. (2552). มรดกช่างศิลป์ไทย.
- ชมพูนุช ประศาสน์เศรษฐ. (2547). การป้องกันรักษาวัตถุพิพิธภัณฑ.
- ณัฐภัทร จันทวิช. เครื่องเงิน เครื่องทอง เครื่องถม เครื่องลงยา และเครื่องถมปัทม.
- ทองคำ (Au). Retrieved 1 เมษายน from [https://www.git.or.th/thai/testing\\_center/lab\\_notes/alab/2005/gold.html](https://www.git.or.th/thai/testing_center/lab_notes/alab/2005/gold.html)
- นิทรรศการพลังแผ่นดิน อัจฉรย์งานศิลป์แผ่นดินสยาม. Retrieved 25 มกราคม from <https://www.facebook.com/Signnagas/photos/a.410266515756916/1055589177891310/?type=3>

- พันจันทนุมาศ (เจิม). พระราชพงศาวดารกรุงศรีอยุธยา ฉบับพันจันทนุมาศ (เจิม).  
 พิพิธภัณฑ์เหรียญกษาปณ์ารักษ์ โดยกรมธนารักษ์. เครื่องราชูปโภคทองคำลงยาสีชมพู ในเครื่องประกอบอิสริยยศ  
 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารี. Retrieved 2 กุมภาพันธ์ from  
[http://coinmuseum.treasury.go.th/news\\_view.php?nid=158](http://coinmuseum.treasury.go.th/news_view.php?nid=158)
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2541). พจนานุกรมศัพท์ศิลปะ อังกฤษ – ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน.  
 ราชบัณฑิตยสถาน. (2556). พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554.  
 รื้อรอบเรื่องพลาสติกจากต้นกำเนิดสู่การจัดการ. Retrieved 24 พฤษภาคม from  
<https://adeq.or.th/knowledge-about-plastic-01/>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. Retrieved 3 มิถุนายน from  
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B9%82%E0%B8%97%E0%B8%99>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. Retrieved 6 มิถุนายน from <https://en.wikipedia.org/wiki/Toluene>  
 วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. Retrieved 6 มิถุนายน from <https://en.wikipedia.org/wiki/Xylene>
- ศุภาวีดา จรรยา. คลังความรู้ SciMath. Retrieved 24 พฤษภาคม from <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/9631-1-9631>
- ศุภาวีดา จรรยา (2563). คลังความรู้ SciMath Retrieved 24 พฤษภาคม from  
<https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/9631-1-9631>
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. Retrieved 26 พฤษภาคม from <https://www.mtec.or.th/>  
 สรภัทร สาราพฤษ. (2561). การศึกษาและพัฒนาเครื่องมรรมกับเทคนิคการลงยาสีสำหรับงานเครื่องประดับ  
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบเครื่องประดับ คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย  
 ศิลปากร].
- สำนักข่าวไทย TNAMCOT. SAC/CT เล่าเรื่อง เครื่องลงยาสี ครอบงุมณี. Retrieved 9 มกราคม from  
<https://www.youtube.com/watch?v=UlwDXLBOzw>
- สุริยวุฒิ สุขสวัสดิ์. (2539). เครื่องอิสริยยศ พระบรมราชวงศ์กรุงรัตนโกสินทร์  
 องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ NSM. (14 ธันวาคม 2565 ). นางสาวอัครานีย์ สติรักษ์ Retrieved 26  
 พฤษภาคม from <https://www.nsm.or.th/nsm/th/node/5669>





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายธีรพงษ์ ภูเขียว วัน เดือน ปี เกิด 2 กันยายน 2526  
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

วุฒิการศึกษา

2545 - 2547 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ช่างทองหลวง) สถาบัน  
เทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร  
2557 - 2559 ปริญญาโท รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการ  
บริหารการจัดการภาครัฐ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม กรุงเทพมหานคร

ผลงานตีพิมพ์

ที่อยู่ปัจจุบัน จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการทำงาน ปัจจุบัน รัชการ ฝ้ายอนุรักษ์หัตถ์ภัณฑ์ แผนก  
ช่างทองหลวง กองศิลปกรรม สำนักพระราชวัง

กรณีศึกษาทางเลือกในการอนุรักษ์เครื่องทองลงยาสีโดยใช้เทอร์โมพลาสติก  
อะคริลิกเรซิน ผ่านการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์

Study of Alternatives for Preserving Enamelled Goldware Using  
Thermoplastic Acrylic Resin via Scientific Examination

