



การศึกษาสมบัติของกาวยาในงานจิตรกรรมไทยเพื่อต่อยอดในงานอนุรักษ์ศิลปกรรมผ่านการทดสอบ

วัสดุ

โดย

นางสาวนภัสกร มีชาญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีศึกษา แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาเคมี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยเพื่อต่อยอดในงานอนุรักษ์ศิลปกรรมผ่านการ  
ทดสอบวัสดุ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีศึกษา แผน ก แบบ ก 2

ภาควิชาเคมี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

UNDERSTANDING GLUE PROPERTIES IN THAI FINE ART ADVANCED ART  
CONSERVATION THROUGH MATERIALS TESTING.



By  
MISS Napatsakorn MEECHAN


A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science CHEMICAL STUDIES  
Department of CHEMISTRY  
Academic Year 2024  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ การศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยเพื่อต่อยอดในงาน  
อนุรักษ์ศิลปกรรมผ่านการทดสอบวัสดุ  
โดย นางสาวนภัสกร มีชาญ  
สาขาวิชา เคมีศึกษา แผนก ก แบบ ก 2  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. สุธินี เกิดเทพ

---

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรกช ชั้นนำจรัสกุล)  
พิจารณาเห็นชอบโดย  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัฐพล ยอดศิลป์)  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธินี เกิดเทพ)  
..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. รุจวรรณ แดงเงิน)



660720014 : เคมีศึกษา แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์, กาวธรรมชาติ, สมบัติของกาวธรรมชาติ, การกัดกร่อน โลหะ

นางสาว นภัสกร มีชาญ: การศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยเพื่อต่อยอดในงานอนุรักษ์ศิลปกรรมผ่านการทดสอบวัสดุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. สุธินี เกิดเทพ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยในเทอมของการประยุกต์ใช้ในงานด้านอนุรักษ์ ตรวจสอบกาวในงานจิตรกรรมด้วยวิธี Oddy ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อคาดการณ์ความเหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านอนุรักษ์และสร้างเป็นฐานข้อมูลของกาวที่ใช้ในงานจิตรกรรมไทยสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นกาวในงานอนุรักษ์

จากการศึกษาสมบัติของตัวอย่างกาวทั้ง 11 ชนิด แบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบ ได้แก่ กาวจากพืช กาวจากสัตว์ รวมไปถึงกาวจากการสังเคราะห์ ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมี ศึกษาสมบัติทางความร้อนและศึกษาสมบัติอื่น ๆ เช่น ความโปร่งแสงของกาวและทดสอบการยึดเกาะของกาว นอกเหนือจากนี้ได้ประยุกต์เข้ากับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ หรือเรียกว่า การทดสอบ Oddy (Oddy testing) เป็นวิธีการประเมินความปลอดภัยของวัสดุที่จะนำไปใช้ในงานอนุรักษ์ โดยมีการใช้แผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว เป็นตัววัดปริมาณการกัดกร่อนบนพื้นผิวโลหะ เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดจะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยออกมาจากตัวอย่างกาวเพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำกาวธรรมชาติมาใช้งานด้านการอนุรักษ์ โดยผ่านวิเคราะห์ทางเคมีร่วมกับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ เช่น การวัดค่าสีของแผ่นโลหะ การชั่งน้ำหนักของแผ่นโลหะ การถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวโลหะ การวัดความเงาของแผ่นโลหะและการวัดค่าการนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะ

จากการทดสอบที่สำคัญในการเป็นกาวนั้นคือการยึดเกาะของกาวพบว่า สามารถเรียงลำดับความสามารถในการยึดเกาะของกาวเมื่อผสมผงสีจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้ดังนี้ กาวเจลาติน กาวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) กาวมะขาม กาวหนังวัว กาวหนังควาย กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวไข่แดง กาวกระถิน กาวมะขวิดและกาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการประเมินความเหมาะสมในการนำกาวธรรมชาติมาใช้งานด้านการอนุรักษ์ในเรื่องของลักษณะทางกายภาพของโลหะทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับผลการวิเคราะห์การกัดกร่อนจากวิธีทางเคมีไฟฟ้าไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry) ซึ่งให้เห็นว่า กาวมะขวิด กาวน้ำผึ้ง กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาว

หนังวัวและกาวหนังควาย มีแนวโน้มในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอนุรักษ์ได้



660720014 : Major CHEMICAL STUDIES

Keyword : Oddy testing, Properties of natural glues, Conservation, Thai Glues, Metal coupons

MISS Napatsakorn MEECHAN : Understanding Glue Properties in Thai Fine Art advanced Art Conservation through Materials Testing. Thesis advisor : Associate Professor Dr. Sutinee Girdthep

This research studies the properties of glues in Thai fine art in terms of their application in conservation work. Glues in Thai paintings were examined using the Oddy testing along with chemical analysis to predict their suitability for conservation use and create a database of glues used in Thai paintings for application in conservation work.

From the study of the properties of 11 samples. It was divided into 3 categories: plant glue, animal glue and synthetic glue. The chemical properties, thermal properties and other properties such as the transparency of the glue and the adhesion of the glue were studied. In addition, it was applied to the testing of materials for conservation, or the so-called Oddy testing, which is a method to assess the safety of materials to be used in conservation work. Copper, silver, and lead coupons were used to measure the amount of corrosion on the metal surface. This was because each metal reacts with various pollutants released from the glue samples to assess the suitability of using natural glue in conservation work. This was done through chemical analysis in conjunction with materials testing for conservation work, such as measuring the color of the metal coupons, weighing the metal coupons, taking pictures with Optical microscope to analyze the metal surface, measuring the gloss of the metal coupons and measuring the Cyclic voltammetry of the metal coupons.

From the important test of adhesives, that is, the adhesion of the adhesives, it was found that the adhesion ability of the adhesives when mixed with pigments can be ranked from most to least as follows: gelatin, carboxymethyl cellulose (CMC), tamarind, cowhide, buffalo hide, polyvinyl alcohol (PVA), synthetic fig, egg yolk,

acacia, tamarind and honey, respectively. In addition, the results of the evaluation of the suitability of using natural glues in conservation work in terms of the physical characteristics of the three types of metals, together with the results of the corrosion analysis by cyclic voltammetry, indicated that tamarind, honey, gelatin, egg yolk, cowhide and buffalo hide have potential for application in conservation work.



## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธินี เกียรติเทพ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ช่วยเหลือในการดำเนินงาน และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์แบบ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งตลอดงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัฐพล ยอดศิลป์ และรองศาสตราจารย์ ดร. รฐวรรัตน์ แดงเงิน ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในด้านสารเคมี และอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ ตลอดงานวิจัย ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

นภัสกร มีชาญ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	12
สารบัญรูปภาพ.....	16
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	7
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 .....	8
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาฬพิศ .....	8
2.1.1 มะขาม.....	8
2.1.2 กระถิน.....	9
2.1.3 มะขวิด.....	11
2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาฬสัตว์.....	12

2.2.1	หนังควาย .....	12
2.2.2	หนังวัว.....	13
2.2.3	เจลาติน .....	14
2.2.4	ไข่แดง.....	15
2.2.5	น้ำผึ้ง .....	16
2.3	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาวสังเคราะห์ .....	17
2.3.1	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์.....	17
2.3.2	คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส .....	19
2.3.3	มะเดื่อสังเคราะห์.....	20
2.4	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการตรวจสอบวัสดุในงานอนุรักษ์ .....	20
บทที่ 3	.....	23
วิธีดำเนินงานวิจัย	.....	23
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	23
3.2	วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.3	การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกาวธรรมชาติ .....	29
3.3.1	การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของกาว .....	29
3.3.2	การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกาว .....	29
3.3.3	การศึกษาความเสถียรต่อความร้อนและอุณหภูมิของการสลายตัวของกาว.....	30
3.3.4	การทดสอบหาค่าความหนืดของกาว.....	30
3.4	การทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของกาว .....	32
3.4.1	การการวิเคราะห์ความโปร่งแสงของกาว.....	32
3.4.2	การทดสอบการยึดเกาะของกาว .....	33
3.5	การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์.....	37
3.5.1	การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing).....	37

3.5.2 การวิเคราะห์ทางเคมีควบคู่กับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	40
3.5.3 การทดสอบการถลอก (การนำออก หรือการทำความสะดวก) .....	45
บทที่ 4 .....	48
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง .....	48
4.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกาวยธรรมชาติ .....	48
4.1.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของกาว .....	48
4.1.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกาว .....	57
4.1.3 ผลการศึกษาความเสถียรต่อความร้อนและอุณหภูมิของการสลายตัวของกาว .....	63
4.1.4 ผลการทดสอบหาค่าความหนืดของกาว .....	77
4.2 ผลการทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของกาว .....	78
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความโปร่งแสงของกาว .....	78
4.2.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของกาว .....	79
4.3 การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	94
4.3.1 ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	94
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีควบคู่กับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	96
4.3.3 ผลการทดสอบการถลอก .....	172
บทที่ 5 .....	183
5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง .....	183
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	185
รายการอ้างอิง .....	186
ประวัติผู้เขียน .....	189

### สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	แสดงตัวอย่างของกาวและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	23
ตารางที่ 3.2	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	26
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของกาว .....	54
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการวิเคราะห์กาวด้วยเทคนิค DSC.....	63
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการวิเคราะห์กาวด้วยเทคนิค TGA.....	77
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงค่าความหนืดที่แท้จริงของกาวแต่ละชนิด.....	77
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงค่าความโปร่งแสงของฟิล์มกาวแต่ละชนิด .....	78
ตารางที่ 4.6	การถ่ายรูปการทดสอบการยึดเกาะของกาวบนพื้นผ้าใบ .....	79
ตารางที่ 4.7	การถ่ายรูปการยึดเกาะของกาวบนพื้นผ้าใบภายใต้แสงยูวี .....	83
ตารางที่ 4.8	การทดสอบการยึดเกาะของกาวโดยใช้เทปใส .....	88
ตารางที่ 4.9	ผลการถ่ายรูปการทดสอบการยึดเกาะของกาว.....	90
ตารางที่ 4.10	การประเมินการทดสอบการยึดเกาะ.....	93
ตารางที่ 4.11	ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาว.....	94
ตารางที่ 4.12	ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) โดยใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ .....	95
ตารางที่ 4.13	ค่าสีของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกาว .....	98
ตารางที่ 4.14	ค่าสีของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่าง .....	99
ตารางที่ 4.15	ค่าสีของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกาว.....	100
ตารางที่ 4.16	ค่าสีของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกรดอะซีติก.....	101



ตารางที่ 4.30 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นตะกั่วหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องาน อนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ .....	145
ตารางที่ 4.31 ผลการประเมินการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาว.....	152
ตารางที่ 4.32 ผลการประเมินการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติก.....	153
ตารางที่ 4.33 การวัดความเงาของแผ่นทองแดงที่ใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องาน อนุรักษ์.....	155
ตารางที่ 4.34 การวัดความเงาของแผ่นทองแดงที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่อ งานอนุรักษ์.....	156
ตารางที่ 4.35 การวัดความเงาของแผ่นเงินที่ใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	158
ตารางที่ 4.36 การวัดความเงาของแผ่นเงินที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องาน อนุรักษ์.....	159
ตารางที่ 4.37 การวัดความเงาของแผ่นตะกั่วที่ใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ .....	160
ตารางที่ 4.38 การวัดความเงาของแผ่นตะกั่วที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องาน อนุรักษ์.....	161
ตารางที่ 4.39 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ .....	164
ตารางที่ 4.40 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติก .....	165
ตารางที่ 4.41 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ.....	167
ตารางที่ 4.42 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติก .....	168
ตารางที่ 4.43 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ.....	170

ตารางที่ 4.44 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซิติก .....	171
ตารางที่ 4.45 การถ่ายภาพการทำความสะอาดกาวบนพื้นผ้าใบ.....	172
ตารางที่ 4.46 การถ่ายรูปการถอดออกหรือการทำความสะอาดกาวบนพื้นผ้าใบโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์.....	175
ตารางที่ 4.47 การถ่ายรูปการถอดออกหรือการทำความสะอาดกาวบนพื้นผ้าใบภายใต้แสงยูวี .....	180
ตารางที่ 4.48 ผลการทดสอบการถอดออกหรือการทำความสะอาดออกของกาวต่าง ๆ.....	182



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างกาวที่ได้จากพีช (ก) เมล็ดมะขาม (ข) กาวเมล็ดมะขามและ (ค) โครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์ .....	2
รูปที่ 1.2 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน (Gelatin).....	3
รูปที่ 1.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose).....	3
รูปที่ 1.4 ตัวอย่างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) .....	5
รูปที่ 1.5 ลักษณะแผ่นโลหะที่ได้รับการทดสอบ Oddy (ก) แผ่นโลหะควบคุม (ข) แผ่นโลหะหลังการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงสีและได้รับการประเมิน.....	6
รูปที่ 2.1 กาวเมล็ดมะขาม หรือกาวเมล็ดมะขาม (Tamarind glue) และเมล็ดมะขาม (Tamarind seed).....	8
รูปที่ 2.2 กาวยางกระถิน (Gum Arabic).....	10
รูปที่ 2.3 ยางอะคาเซีย 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Acacia senegal var. senegal (ASG), Acacia mellifera (AMF), Acacia seyal var. seyal (ASY) และ Acacia tortilis var. raddiana (ATR).....	11
รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายพื้นผิวของกาวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (a) กาวมะขวิด และ (b) กาวกระถิน .....	12
รูปที่ 2.5 กาวหนังควายและกาวหนังวัว .....	13
รูปที่ 2.6 (ซ้าย) โครงสร้างลำดับชั้นของคอลลาเจน จาก Single alpha helix ไปเป็น Tropocollagen triple helix ไปจนถึง Collagen microfibril และไปจนถึงเส้นใยคอลลาเจน (ขวา) โครงสร้างอสังฐานของสายโซ่เจลาตินเมื่อละลายในน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงสภาพและการก่อตัวของ triple helix ในโครง .....	14
รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน (Gelatin).....	15
รูปที่ 2.8 น้ำผึ้ง (Honey).....	17
รูปที่ 2.9 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate, PVAc) เป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) .....	18

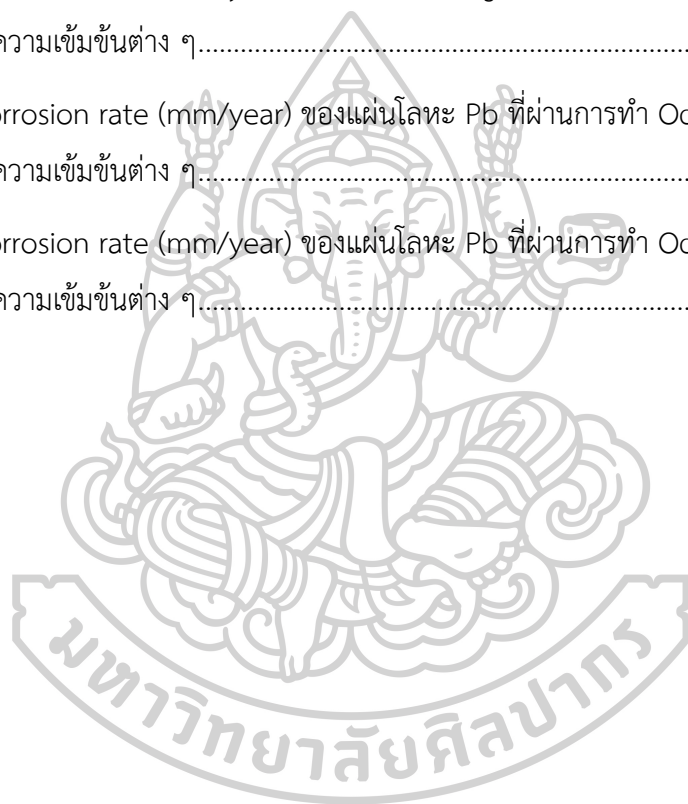
รูปที่ 2.10 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose).....	19
รูปที่ 2.11 กาวมะเดื่อและกาวมะเดื่อสังเคราะห์ .....	20
รูปที่ 2.12 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy test) และแผ่นโลหะที่ผ่านการทดสอบ .....	21
รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายการทดสอบการถดถอก หรือการทำความสะอาด (Cleaning) โดยใช้เจลทำความสะอาด โดยเปรียบเทียบการถ่ายภาพภายใต้แสงปกติและแสงยูวี .....	22
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความหนืด (Viscometer) และ Ostwald type C .....	32
รูปที่ 3.2 Microplate reader และ 96 well plate .....	33
รูปที่ 3.3 การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลองสำหรับการทากาว .....	34
รูปที่ 3.4 การเตรียมกาว .....	34
รูปที่ 3.5 การเตรียมกาวผสมกับผงสี .....	35
รูปที่ 3.6 การทากาวลงบนพื้นผ้าใบ .....	35
รูปที่ 3.7 การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลอง .....	35
รูปที่ 3.8 การทดสอบการยึดเกาะ .....	36
รูปที่ 3.9 การทดสอบการยึดเกาะของกาว .....	36
รูปที่ 3.10 การทดสอบการยึดเกาะของกาวผสมผงสี .....	37
รูปที่ 3.11 การเตรียมแผ่นโลหะใส่หลอดทดลอง .....	38
รูปที่ 3.12 การนำหลอดทดลองเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 28 วัน .....	38
รูปที่ 3.13 ลักษณะแผ่นโลหะที่ได้รับการทดสอบ Oddy (A) แผ่นโลหะควบคุม (D) แผ่นโลหะหลังการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงสีและได้รับการประเมิน .....	39
รูปที่ 3.14 การถ่ายรูปแผ่นโลหะ (A) แผ่นโลหะควบคุม (B) แผ่นโลหะที่มีการบรรจุตัวอย่างกาวมะขาม .....	40
รูปที่ 3.15 แผนภาพค่าสีในระบบ CIE .....	41

รูปที่ 3.16 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer .....	42
รูปที่ 3.17 เครื่องชั่งน้ำหนัก .....	42
รูปที่ 3.18 การถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope).....	43
รูปที่ 3.19 เครื่องวัดความเงา (Gloss meter) .....	44
รูปที่ 3.20 การทดลองการนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะ.....	45
รูปที่ 3.21 การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลองสำหรับการทากาว.....	45
รูปที่ 3.22 การเตรียมกาว .....	46
รูปที่ 3.23 การเตรียมกาวผสมกับสี.....	46
รูปที่ 3.24 การทากาวลงบนพื้นผ้าใบ .....	46
รูปที่ 3.25 การทดสอบการถอดออก (Cleaning).....	47
รูปที่ 3.26 การเปรียบเทียบบริเวณอ้างอิงและบริเวณที่ถูกถอดออก .....	47
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวมะขาม.....	48
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวกระถิน.....	49
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของมะขวิด.....	49
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวหนังควาย .....	50
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวหนังวัว.....	50
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวเจลาติน .....	51
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวไข่แดง.....	51
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวน้ำผึ้ง .....	52
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาว PVA.....	52
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาว CMC .....	53
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวมะเดื่อสังเคราะห์ .....	53
รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะขาม .....	57

รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวกระถิน.....	58
รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะขวิด.....	58
รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวหนังควาย.....	59
รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวหนังวัว.....	59
รูปที่ 4.17 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวเจลาติน.....	60
รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวไข่แดง.....	60
รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวน้ำผึ้ง.....	61
รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาว PVA.....	61
รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาว CMC.....	62
รูปที่ 4.22 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะเดื่อสังเคราะห์... ..	62
รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวมะขาม.....	64
รูปที่ 4.24 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวมะขาม.....	64
รูปที่ 4.25 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวกระถิน.....	65
รูปที่ 4.26 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวกระถิน.....	65
รูปที่ 4.27 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวมะขวิด.....	66
รูปที่ 4.28 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวมะขวิด.....	66
รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวหนังควาย.....	67
รูปที่ 4.30 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวหนังควาย.....	67

รูปที่ 4.31 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวหนังวัว	68
รูปที่ 4.32 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวหนังวัว	69
รูปที่ 4.33 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวเจลาติน	70
รูปที่ 4.34 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวเจลาติน	70
รูปที่ 4.35 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวไข่แดง	71
รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวไข่แดง	71
รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวน้ำผึ้ง	72
รูปที่ 4.38 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวน้ำผึ้ง	73
รูปที่ 4.39 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาว PVA	73
รูปที่ 4.40 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาว PVA	74
รูปที่ 4.41 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาว CMC	75
รูปที่ 4.42 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาว CMC	75
รูปที่ 4.43 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวมะเดื่อสังเคราะห์	76
รูปที่ 4.44 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวมะเดื่อสังเคราะห์	76
รูปที่ 4.45 การพล็อตกราฟระหว่าง Log current และ Potential applied (V) เพื่อหา $I_{corr}$	163

รูปที่ 4.46 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ.....	165
รูปที่ 4.47 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	166
รูปที่ 4.48 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ.....	168
รูปที่ 4.49 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	169
รูปที่ 4.50 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	171
รูปที่ 4.51 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	172



## บทที่ 1

### บทนำ

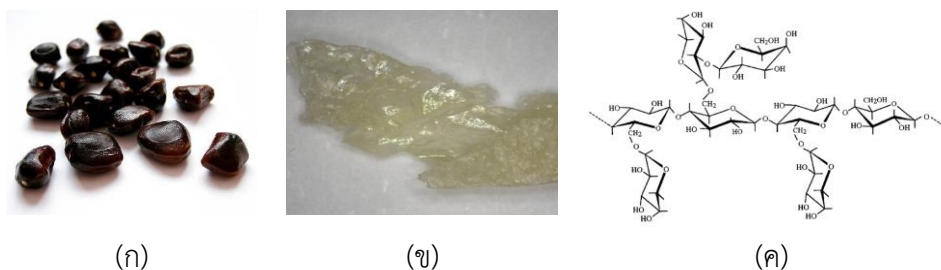
#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยมีงานศิลปะที่เป็นเอกลักษณ์ของตนโดยเฉพาะจิตรกรรมไทย ซึ่งเป็นภาพเขียนที่มีลักษณะแบบอย่างของไทยที่แตกต่างจากศิลปะของชนชาติอื่น ถึงแม้จะมีอิทธิพลศิลปะของชาติอื่นอยู่บ้าง แต่ก็สามารถดัดแปลง หรือเพิ่มเติมจนมีเอกลักษณ์เฉพาะตน เช่น การเขียนภาพจิตรกรรมฝาผนังมีวัตถุประสงค์เพื่อการประดับพื้นผนังให้สวยงาม จิตรกรรมฝาผนังจึงเป็นงานศิลปกรรมที่มีคุณค่าทางด้านประวัติศาสตร์ ปรชญา ที่บ่งบอกถึงเรื่องราวความเป็นมา วิถีชีวิต คติธรรม ความเชื่อ ศิลปะ วัฒนธรรม ประเพณี และความเป็นอยู่ของคนยุคนั้นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากในอดีตเทคโนโลยีการถ่ายภาพยังไม่แพร่หลายเหมือนปัจจุบัน เพราะฉะนั้นการเขียนภาพ จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการบันทึกประวัติศาสตร์ของคนยุคก่อนได้เป็นอย่างดี! นอกจากนี้งานจิตรกรรมไทยเป็นหนึ่งในมรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่าอย่างสูง แต่การอนุรักษ์งานจิตรกรรมไทยเผชิญกับความท้าทายหลากหลายประการ อาทิ การเสื่อมสภาพของสีและวัสดุที่ใช้ในการสร้างสรรค์ภาพจิตรกรรม ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และมลพิษ นอกจากนี้การเสื่อมสภาพทางกายภาพ เช่น การแตกร้าว การลอกหลุดของสี และการขูดของพื้นผิวที่ใช้เขียนภาพจิตรกรรม ก็เป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน การอนุรักษ์งานจิตรกรรมไทยจึงต้องใช้วิธีการและเทคนิคที่เหมาะสม เพื่อรักษาความงดงามและความสมบูรณ์ของผลงานให้คงอยู่ได้นานที่สุด

จิตรกรรมไทยมีการใช้วัสดุในท้องถิ่นมาประกอบเป็นงานศิลปกรรม เช่น สีจาก หิน ดิน แร่รวมไปถึงวัสดุธรรมชาติ เช่น ยางไม้ ในการทำเป็นสีผสม (Binder) หรือกาว ตัวอย่างในกรรมวิธีสร้างจิตรกรรมฝาผนังไทยโบราณ มีการใช้ปูนขาวเพื่อทำผนัง โดยมีการหมักปูน และผสมน้ำอ้อยที่มีความเหนียวคล้ายน้ำผึ้ง มาใช้เพื่อฉาบเป็นรองพื้นบนผนังและยังมีส่วนผสมของกาวที่ได้จากยางไม้ หรือกาวหนังสัตว์ที่ได้จากการเคี้ยวหนังวัว หนัง ควาย หรือหนังกระต่ายก็มี บางแห่งมีทรายร่อนละเอียดเป็นส่วนผสมอยู่ด้วยนอกจากนี้ สีที่ใช้ระบายภาพเตรียมด้วย ธาตุ หรือแร่ เช่น สีดำได้จากเขม่า หรือถ่านของไม้เนื้อแข็ง สีเหลือง สีนวล ได้จากดินตามธรรมชาติ สีแดงได้จากดินแดง บางชนิดเตรียมจากแร่ก่อนเขียนต้องนำมาบดให้ละเอียด สีจะละลายน้ำได้ง่าย น้ำที่ใช้ผสมกับน้ำกาวเตรียมจากหนังสัตว์หรือกาวกระถิน โดยผสมในภาชนะเล็ก ๆ เช่น โกร่ง หรือกะลา เมื่อใช้ไปสีแห้งก็เติมน้ำ ใช้สากบดฝน

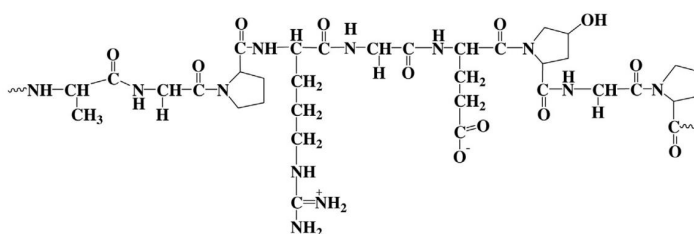
ให้กลับเป็นน้ำสีใช้งานได้อีก สีแดง เหลือง เขียว คราม ขาว ดำ ใช้เป็นหลักโดยนำมาผสมกันเกิดเป็นสีอื่น ๆ ได้อีก<sup>2</sup> จากที่กล่าวมา จะเห็นว่ามืองค์ประกอบของวัสดุธรรมชาติที่หลากหลาย เพื่อใช้ในการสร้างงานศิลปกรรมและประติมากรรมในอดีต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและต่อยอดวัสดุในธรรมชาติที่มีการจัดบันทึกและรายงานว่ามีการถูกนำมาใช้ในการสร้างงานศิลปกรรมและประติมากรรมในอดีต โดยเฉพาะกาวที่มีแหล่งที่มาจากธรรมชาติเพื่อต่อยอดขยายผลในการประยุกต์ใช้สำหรับงานอนุรักษ์ในอนาคต เนื่องจากงานศิลปกรรมและประติมากรรมที่มีมาตั้งแต่อดีตและยังคงหลงเหลือในปัจจุบันบางชิ้นงานต้องได้รับการอนุรักษ์ซ่อมแซม เช่น งานที่มีการแตกร้าวบนชิ้นสี งานที่มีชิ้นส่วนหลุดร่อน เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องทำการอนุรักษ์โดยใช้กาวเป็นตัวยึดประสาน โดยปกติในการอนุรักษ์จะเป็นกาวเกรตอนุรักษ์และกาวชนิดนี้ก็เป็นกาวสังเคราะห์ ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาการใช้ในงานศิลปกรรมและประติมากรรมในอดีตโดยมีแหล่งที่มาจากธรรมชาติ จึงถือเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ดีทางหนึ่งสำหรับงานทางด้านงานอนุรักษ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการทำการต่อยอดกาวที่มีการใช้ในงานศิลปะแต่เดิมมาทำการศึกษาเพื่อขยายผลในการประยุกต์ใช้สำหรับงานอนุรักษ์ในอนาคต

จากงานวิจัยก่อนหน้าของผู้วิจัยเอง พบว่ากาวที่ถูกใช้ในงานจิตรกรรมที่นำมาศึกษาทั้ง 12 ชนิด แบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบ ได้แก่ กาวจากพืช เช่น กาวมะขาม กาวมะขวิด กาวมะเดื่อ และกาวกระถิน นอกจากนี้ยังมีกาวจากสัตว์ เช่น กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวไข่แดง กาวเจลาติน และกาวน้ำผึ้ง รวมถึงกาวจากการสังเคราะห์ เช่น กาวคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) กาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, PVA) และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ สำหรับในกรณีกาวจากพืช เช่น กาวมะขาม กาวมะขวิด กาวมะเดื่อ และกาวกระถิน มักมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่จัดอยู่ในประเภทเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) เป็นหลัก แสดงโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างกาวที่ได้จากพืช (ก) เมล็ดมะขาม (ข) กาวเมล็ดมะขามและ (ค) โครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์

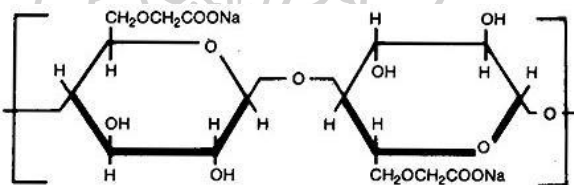
กรณีกาวจากสัตว์ เช่น กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวไข่แดง กาวเจลาติน และกาวน้ำผึ้ง มีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ที่แสดงตัวอย่างของกาวหนังควาย กาวหนังวัวที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเจลาติน



รูปที่ 1.2 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน (Gelatin)

ที่มา : Deshmukh (2017)

นอกจากนี้ในทางศิลปะร่วมสมัยยังมีการนำกาวสังเคราะห์มาใช้ในการสร้างสรรค์ผลงานด้วย กาวการสังเคราะห์ เช่น กาว CMC (โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 1.3) กาว PVA



รูปที่ 1.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose)

ที่มา : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1439/carboxy-methyl-cellulose-cmc>

หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการอนุรักษ์งานจิตรกรรมไทยคือการเลือกใช้กาวที่เหมาะสม การใช้กาวในกระบวนการซ่อมแซมและรักษางานจิตรกรรมไทยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของกาวที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมและวัสดุต่าง ๆ ได้อย่างดี กาวที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาการยึดติดไม่แข็งแรง หรืออาจเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดความเสียหายเพิ่มเติมต่อผลงาน การศึกษาและทดสอบสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้อาการอนุรักษ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถรักษาความงดงามและคุณค่าเชิงประวัติศาสตร์ของงานจิตรกรรมไทยให้คงอยู่ต่อไปได้อย่างยาวนาน นอกจากนี้เพื่อให้การอนุรักษ์งานจิตรกรรมไทยมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การศึกษาสมบัติของกาวจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรละเลย การทดสอบและประเมิน

คุณสมบัติของกาวยาแต่ละชนิด เช่น ความสามารถในการยึดติด ความยืดหยุ่น การทนต่อความชื้นและอุณหภูมิ รวมถึงความสามารถในการถอดออกเมื่อจำเป็น เป็นกระบวนการที่สำคัญในการเลือกใช้กาวยาที่เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุและเทคนิคที่มีความเหมาะสมเพื่อรักษาความคงทนและความสมบูรณ์ของผลงานให้คงอยู่ได้ในระยะยาว หนึ่งในขั้นตอนสำคัญในการเลือกใช้วัสดุสำหรับการอนุรักษ์คือการทดสอบสมบัติของวัสดุเหล่านั้นก่อนการนำไปใช้จริง โดยเฉพาะกาวยาที่ใช้ในการซ่อมแซมและรักษาผลงานศิลปกรรม

วัสดุที่สามารถนำมาใช้สำหรับงานอนุรักษ์สำหรับการจัดเก็บวัตถุพิพิธภัณฑ์หรือซ่อมแซมงานศิลปะจำเป็นต้องผ่านการทดสอบวัสดุสำหรับงานอนุรักษ์ (Material testing for conservation) หรือที่เรียกว่า Oddy test ซึ่งเป็นการประเมินวัสดุเพื่อการอนุรักษ์ (Assessing materials for conservation) โดยอาศัยจากการประเมินวัสดุที่ปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic components) ออกมาในสภาวะเร่ง-วิธีทดสอบนี้คิดค้นโดย William Andrew Oddy นักวิทยาศาสตร์เพื่ออนุรักษ์ของ British Museum ซึ่งเป็นการเร่งการกัดกร่อนเพื่อประเมินวัสดุที่มีการปล่อยแก๊สออกมาจากตัววัสดุ การทดสอบนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจากพิพิธภัณฑ์ในการคัดกรองและประเมินวัสดุเพื่อใช้งานอย่างปลอดภัยสำหรับวัตถุทางวัฒนธรรม-การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความเข้ากันได้ของวัสดุกับสภาพแวดล้อมและวัสดุอื่น ๆ ที่มีอยู่ในงานศิลปกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซหรือสารระเหยที่อาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลงานศิลปกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้การทดสอบดังกล่าวสามารถช่วยให้ประเมินความปลอดภัยและความเหมาะสมของกาวยาที่ใช้ในงานจิตรกรรมไทยที่จะถูกประยุกต์ไปใช้ในการอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

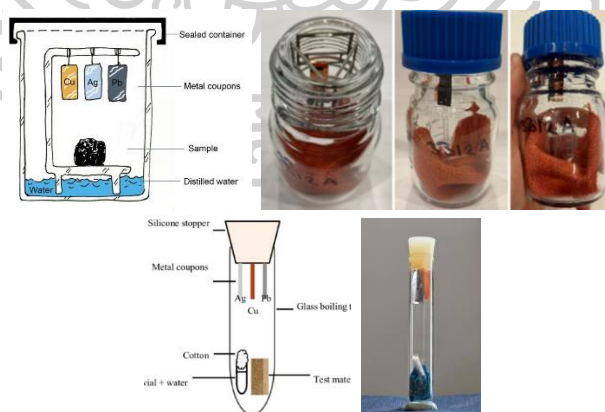
การทดสอบนี้ประกอบด้วยการใส่วัสดุที่จะทดสอบลงในภาชนะปิด พร้อมกับแผ่นทดสอบโลหะ (ทองแดง เงิน และตะกั่ว) ซึ่งจะถูกเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่ควบคุมได้ หลังจากช่วงเวลาที่กำหนดจะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแผ่นทดสอบโลหะเพื่อดูว่าวัสดุที่ทดสอบปล่อยสารที่เป็นอันตรายจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแผ่นโลหะ โดยมีเกณฑ์การประเมินผลการทดสอบแผ่นโลหะสามชนิดที่ขึ้นอยู่กับวิธีการกัดกร่อนที่สังเกตได้หลังจากช่วงเวลาที่ได้รับสารระเหย วัสดุที่ผ่านการทดสอบจะถูกจัดประเภทแบ่งเป็น 3 ระดับโดยเทียบกับแผ่นโลหะควบคุม ดังนี้

"P" Permanent แผ่นโลหะไม่ปรากฏร่องรอยการกัดกร่อน หมายความว่าวัสดุดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับใช้ระยะยาว โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบสามารถใช้ในงานนิทรรศการมรดกทางวัฒนธรรมได้นาน ไม่เป็นอันตรายต่องานศิลปะ

“T” Temporary แผ่นโลหะปรากฏคราบร่องรอยการกัดกร่อน สีเข้มขึ้น มีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีจุดต่างดำจำนวนเล็กน้อยอันเกิดจากการสีกร่อนไปเล็กน้อย หมายความว่าวัสดุตัวอย่างสามารถนำมาใช้งานได้ชั่วคราว ในระยะเวลา 3 ถึง 6 เดือน จะไม่ทำให้เกิดความอันตรายต่องานศิลปะ

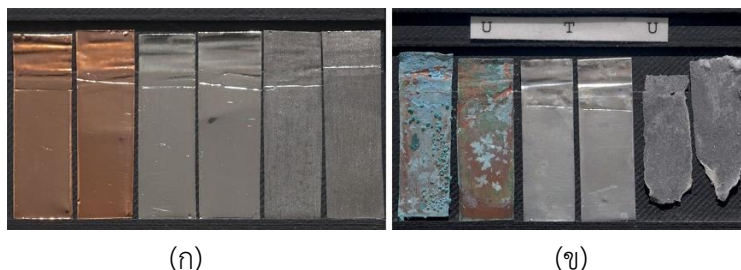
"U" Unsuitable แผ่นโลหะปรากฏคราบ ร่องรอยการกัดกร่อนสีที่เข้มขึ้นโดยเปลี่ยนแปลงชัดเจนหรือมีการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้น ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน หมายความว่าไม่แนะนำให้ใช้ โดยเฉพาะในงานมรดกทางวัฒนธรรม เนื่องจากมีความเป็นอันตรายต่องานศิลปะ <sup>3</sup>

สำหรับการกัดกร่อนบนแผ่นโลหะแต่ละชนิดที่จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ปล่อยปล่อยออกมาจากวัสดุขณะที่เร่งสภาวะ ได้แก่ แผ่นเงินไว้สำหรับตรวจจับสารประกอบกำมะถันและคาร์บอนิลซัลไฟด์ แผ่นตะกั่วใช้สำหรับตรวจจับกรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ และก๊าซที่เป็นกรด แผ่นทองแดงใช้สำหรับตรวจจับสารประกอบคลอไรด์ ออกไซด์และกำมะถัน ซึ่งโลหะทั้ง 3 ประเภทจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเสียบเข้ากับจุกยางของหลอดทดลอง ภายในหลอดทดลองจะมีตัวอย่างของวัสดุตามขนาดที่กำหนดกับหลอดขนาดเล็กบรรจุน้ำ เพื่อจำลองสภาพของพื้นที่ภายในตู้จัดแสดงหรือบรรจุภัณฑ์จัดเก็บวัตถุ จากนั้นหลอดทดลองจะถูกนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน ดังรูปที่ 1.4 หลังจากนั้นจะนำแผ่นทั้ง 3 ประเภท มาตรวจสอบผลด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยที่มีการประเมินผล P (ผ่าน) T (ชั่วคราว) และ F (ไม่ผ่าน) <sup>4</sup> ดังที่กล่าวมา โดยลักษณะแผ่นโลหะที่ถูกกัดกร่อนแสดงดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing)

ที่มา : [Oddy Test - MediaWiki \(conservation-wiki.com\)](https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test)



รูปที่ 1.5 ลักษณะแผ่นโลหะที่ได้รับการทดสอบ Oddy (ก) แผ่นโลหะควบคุม (ข) แผ่นโลหะหลังการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงสีและได้รับการประเมิน

ที่มา : <https://www.metmuseum.org/about-the-met/conservation-and-scientific-research/scientific-research/benchmarking-oddy-test>

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการต่อยอดการที่มีการใช้ในงานศิลปกรรมของไทยแต่เดิมที่มาจากแหล่งธรรมชาติมาทำการศึกษาสมบัติของกาวเพื่อขยายผลในการประยุกต์ใช้สำหรับงานอนุรักษ์ในอนาคต โดยมีการประเมินตรวจสอบกาวในงานจิตรกรรมด้วยวิธี Oddy ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อคาดการณ์ว่ามีกาวชนิดใดที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในด้านการอนุรักษ์ รวมถึงระบุการกัดกร่อนแผ่นโลหะทองแดง เงิน หรือตะกั่ว เพื่อใช้ในการสร้างเป็นฐานข้อมูลของกาวที่ถูกใช้ในงานจิตรกรรมไทยแต่เดิมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นกาวในงานอนุรักษ์ โดยงานวิจัยนี้จะช่วยให้ผู้อนุรักษ์สามารถเลือกใช้กาวที่มีสมบัติเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาและซ่อมแซมผลงานจิตรกรรมไทย ซึ่งเป็นการสนับสนุนการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมไทยให้คงอยู่ต่อไปอย่างยั่งยืนในระยะยาว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยในเทอมของการประยุกต์ใช้ในงานด้านอนุรักษ์ เช่น การยัดเกาะ

1.2.2 เพื่อตรวจสอบกาวในงานจิตรกรรมด้วยวิธี Oddy ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อคาดการณ์ความเหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านอนุรักษ์

1.2.3 เพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูลของกาวที่ใช้ในงานจิตรกรรมไทยสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นกาวในงานอนุรักษ์

### 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

กาวที่มีการใช้ในงานศิลปะแต่เดิมในงานศิลปกรรมของไทยที่มีแหล่งที่มาจากรธรรมชาติสามารถขยายผลในการประยุกต์ใช้สำหรับงานอนุรักษ์ได้

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

กาวที่นำมาศึกษาเป็นกาวที่มีการสืบค้นและบันทึกว่าเป็นกาวที่ใช้ในงานจิตรกรรมไทยในสมัยรัตนโกสินตอนต้น

### 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ดำเนินการทดลอง

- การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกาวธรรมชาติ
- การทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของกาวธรรมชาติ
- การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

1.5.3 รวบรวมข้อมูล ประเมินผล และวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.4 เขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5.5 นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการ

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถศึกษาสมบัติของกาวในงานจิตรกรรมไทยในเทอมของการประยุกต์ใช้ในงานด้านอนุรักษ์ เช่น การยัดเกาะ

1.6.2 สามารถตรวจสอบกาวในงานจิตรกรรมด้วยวิธี Oddy ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อคาดการณ์ความเหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านอนุรักษ์ได้

1.6.3 สามารถสร้างเป็นฐานข้อมูลของกาวที่ใช้ในงานจิตรกรรมไทยสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นกาวในงานอนุรักษ์ได้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาวพืช

##### 2.1.1 มะขาม

กาวเมล็ดมะขาม ได้จากต้นมะขามเปรี้ยว (*Tamarindus indica*) ในฝักมะขามมีเมล็ดแก่ ลักษณะแบนเป็นมันและมีสีน้ำตาล การทำกาวเมล็ดมะขาม จะนำเมล็ดมะขามมาคั่ว แล้วกะเทาะเปลือกออก แช่น้ำทิ้งไว้หนึ่งคืน จากนั้นนำมาต้มและเคี่ยวไปเรื่อย ๆ เติมน้ำตลอด จนกลายเป็นกาว เมล็ดมะขามออกมาผสมกับน้ำจนเหนียว นำมากรองเอาเฉพาะน้ำกาว เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการรองพื้น<sup>2</sup> แสดงดังรูปที่ 2.1

การทารองพื้นก่อนการเขียนภาพ โดยใช้ดินสอพองบดละเอียด นำไปหมักในน้ำ กรองเอาสิ่งสกปรกออกไป แล้วทบน้ำให้หมาด นำมาผสมกับกาวที่ได้จากน้ำต้มเมล็ดในของมะขาม เมื่อแห้งจึงขัดให้เรียบ ก่อนเริ่มขั้นตอนการเขียนภาพ เช่น ภาพเขียนบนผืนผ้า ภาพเขียนบนแผ่นไม้ หรือบนกระดาษที่เรียกว่า สมุดข่อย ก็ต้องรองพื้นด้วยวิธีเดียวกันด้วย<sup>2</sup>



รูปที่ 2.1 กาวเมล็ดมะขาม หรือกาวเมล็ดมะขาม (Tamarind glue) และเมล็ดมะขาม (Tamarind seed)

ที่มา : <https://www.amazon.in/NatureHerbs-Tamarind-Seeds-100g>

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวมะขามมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ดังนี้ Rishabha Malviya และคณะได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานของพอลิเมอร์เมล็ดมะขามมีลักษณะเฉพาะสำหรับการเริ่มต้นในอุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม โพลีเมอร์เมล็ดถูกสกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและ

เอทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมทางสัณฐานของสารละลายโพลีเมอร์ได้รับการศึกษา นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ความหนืด ความตึงผิว พลังงานกระตุ้น พลังงานอิสระของกิบส์ จำนวนเรย์โนลด์ และเอนโทรปีของฟิวชันคำนวณโดยใช้สมการ Arrhenius, Gibbs-Helmholtz, Frenkel-Eyring และ Eotvos ตามลำดับ: พลังงานกระตุ้นของเหงือกพบว่าอยู่ที่  $20.46 \pm 1.06$  kJ/mol การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีและเอนทาลปีพบว่า  $23.66 \pm 0.97$  และ  $-0.10 \pm 0.01$  kJ/mol ตามลำดับ ปริมาณเอนโทรปีของฟิวชันที่คำนวณได้พบว่า  $0.88$  kJ/mol เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดและความตึงผิวที่เห็นได้ชัดลดลงอย่างมาก การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า สารละลายเมล็ดมะขาม (Tamarind seed) มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ *Allizia lebbac gum*, *Ficus ghumosa gum* และ *A. marcocorpu gum* การศึกษาครั้งนี้ยังสรุปด้วยว่า การบรรจุสถานะการเปลี่ยนแปลงของกระแสความหนืดของเมล็ดมะขามควบคู่ไปกับการหักพันระ คุณสมบัติทางเคมีที่ยืดหยุ่นของพอลิเมอร์เมล็ดมะขามทำให้พอลิเมอร์เมล็ดมะขามมีประสิทธิภาพในการผลิตยาในอนาคตและทำให้การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางเป็นไปได้<sup>5</sup>

### 2.1.2 กระถิน

กาวยางกระถินเป็นยางไม้จากต้นกระถินณรงค์ ลักษณะเป็นเม็ดใสสีน้ำตาลเข้ม วิธีการใช้ให้นำเม็ดกาวกระถินมาชงกับน้ำร้อนจนละลาย กรองด้วยผ้าขาวบาง จนสะอาด และใส่ขวดไว้ ก็สามารถนำมาใช้ผสมได้เลย แต่ไม่ควรทำไว้มากเกินไป เพราะกาวกระถินจะเสียและส่งกลิ่นเหม็นจากการเน่าบูด สาเหตุที่ต้องใช้น้ำร้อนชง เพราะถ้าใช้วิธีการต้มกาวกระถินให้ละลาย เมื่อเย็นลงกาวกระถินจะคืนตัวเกาะกันเป็นก้อน<sup>2</sup>

ในการเตรียมกาวผสมผงสีเพื่อใช้ระบายภาพเตรียมด้วยใช้ผงสีที่มาจากแร่ธาตุ เช่น สีดำได้จากเขม่า หรือถ่านของไม้เนื้อแข็ง สีเหลือง สีนวล ได้จากดินตามธรรมชาติ สีแดงได้จากดินแดง บางชนิดเตรียมจากแร่ ก่อนเขียนต้องนำมาบดให้ละเอียด สีจะละลายน้ำได้ง่าย จากนั้นเตรียมกาวโดยผสมน้ำกับน้ำกาวกระถิน โดยผสมในภาชนะเล็ก ๆ เช่น โกร่ง เมื่อใช้ไปสีแห้งก็เติมน้ำ ใช้สากบดผนให้กลับเป็นน้ำสีใช้งานได้อีก<sup>2</sup>



รูปที่ 2.2 กาวยางกระถิน (Gum Arabic)

ที่มา : <https://www.foodnavigator.com/Article/2017/02/20/Will-acacia-gum-finally-get-the-clean-label-recognition-it-wants>

ในงานวิจัยนี้ต้องการต่อยอดการที่มีการใช้ในงานศิลปะแต่เดิม มาทำการศึกษาเพื่อขยายผลในการประยุกต์ใช้สำหรับงานอนุรักษ์ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของกาวจากพืช ดังนี้ Rabea M.A. Daob และคณะ ได้ทำการตรวจสอบลักษณะและคุณสมบัติของยางอะคาเซีย (Acacia gum) 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Acacia senegal var. senegal (ASG), Acacia mellifera (AMF), Acacia seyal var. seyal (ASY) และ Acacia tortilis var. raddiana (ATR) ด้วยเทคนิค NMR, ATR-FTIR, DSC และ TGA โดยสเปกตรัม  $^{13}\text{C}$  NMR พบว่ายางอะคาเซียมีองค์ประกอบของคาร์บอนของหมู่เมทิลของ rhamnose เป็นน้ำตาลประเภท deoxygenated และพบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นองค์ประกอบอีกด้วย นอกจากนี้ สเปกตรัมของ FTIR แสดงให้เห็นหมู่ฟังก์ชัน -OH ของน้ำตาล ได้แก่ galactose, arabinose และ rhamnose ยังพบหมู่ฟังก์ชัน C-O และ C-N แสดงถึง polysaccharide และ galactoproteins ที่เป็นองค์ประกอบ จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC จากเทอร์โมแกรมของยาง ASG AMF ASY และ ATR พบว่าพีคของการดูดความร้อน (Endothermic) ที่อุณหภูมิตั้งแต่  $100^{\circ}\text{C}$  ถึง  $150^{\circ}\text{C}$  และพีคของการคายความร้อน (Exothermic) จะที่อุณหภูมิตั้งแต่  $300^{\circ}\text{C}$  ถึง  $315^{\circ}\text{C}$  จุดดูดความร้อนสูงสุดเกิดจากการสูญเสียน้ำในโครงสร้าง จะเห็นว่าเทอร์โมแกรมของยาง ASG แสดงค่าการดูดกลืนความร้อนสูงสุดในช่วงกว้าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำที่ตกผลึก น้ำที่มีพันธะไฮโดรเจน และน้ำที่ถูกดูดซับทางกายภาพอื่น ๆ สำหรับเทอร์โมแกรมของ AMF แสดงค่าการดูดกลืนความร้อนสูงสุดมีความชัดเจน ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของการตกผลึก (Crystallization) ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของผลึก (Crystal) มากกว่า ASG นอกจากนี้ทำการทดสอบเสถียรทางความร้อนและพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเทคนิค

TGA โดยให้ความร้อนไปที่ยางอะคาเซียจาก 30°C ถึง 400°C ที่อัตราเร็ว 10 °C/min จากเทอร์โมแกรมพบว่าเกิดการสูญเสียมวลสองครั้ง ซึ่งการสูญเสียมวลครั้งแรกเกิดจากการสูญเสียน้ำที่ดูดซับและโครงสร้างของยางอะคาเซีย ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30°C ถึง 150°C หรือเกิดจากการดูดซับความชื้นในรูปของน้ำที่มีพันธะไฮโดรเจน ของโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์ และการสลายตัวของโพลีแซ็กคาไรด์ สัมพันธ์กับการสูญเสียมวลครั้งที่สอง โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 260°C ส่งผลให้เกิดการสูญเสียมวล 60% และยังเหลือมวลตกค้างอีก 30% ถึง 35% อุณหภูมิเริ่มต้นของการสลายตัวที่ 260°C แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์มีความเสถียรทางความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิเริ่มต้นมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียมวลครั้งที่สองของยางอะคาเซีย ซึ่งบ่งบอกได้ว่าโครงสร้างและความเสถียรที่แตกต่างกัน<sup>6</sup>

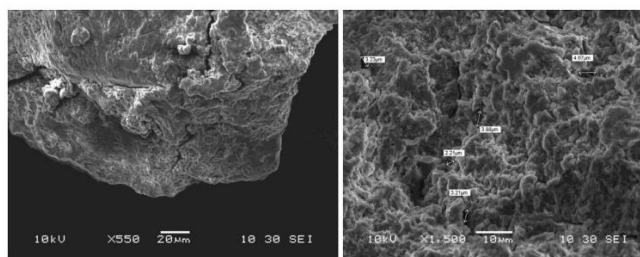


**รูปที่ 2.3** ยางอะคาเซีย 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Acacia senegal* var. *senegal* (ASG), *Acacia mellifera* (AMF), *Acacia seyal* var. *seyal* (ASY) และ *Acacia tortilis* var. *raddiana* (ATR)

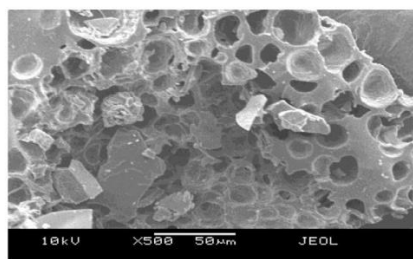
### 2.1.3 มะขวิด

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวมะขวิดมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ Rishabha Malviya และคณะได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและหน้าที่ของยางมะขวิดเปรียบเทียบกับยางกระถินและการประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมในการแปรรูปยางพืชให้บริสุทธิ์ละลายน้ำได้และแสดงพฤติกรรมพลาสติกเทียม (pseudo-plastic) องค์ประกอบโมโนแซ็กคาไรด์ของยางกระถินมีปริมาณน้ำตาลอาราบินอส 38.81% เป็นองค์ประกอบหลัก การวิเคราะห์จากเทคนิค SEM และ XRD ยืนยันฐานฐานวิทยาศาสตร์ที่แน่นอนขององค์ประกอบของยางทั้งสอง ในขณะที่การวิเคราะห์ DSC และ TGA แสดงถึงความเสถียรทางความร้อนที่ดีของยางทั้งสอง ผลของยางทั้งสองต่อการปรุงอาหารแบบ extrusion และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ extruded ได้รับการศึกษาโดยการประเมินดัชนีการดูดซึมน้ำ อัตราส่วนการขยายความหนาแน่น ดัชนีการละลายน้ำ และความแข็งของ extrudates คุณสมบัติเด่นของยางทั้งสอง

ได้รับการยืนยันว่า ยางพืชทั้งสองมีศักยภาพที่จะใช้เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่น ๆ <sup>5</sup>



(a)



(b)

รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายพื้นผิวของกาวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (a) กาวมะขวิด และ (b) กาวกระถิน

## 2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาวสัตว์

### 2.2.1 หนังกวาย

กาวสัตว์เป็นคอลลอยด์อินทรีย์ของรากศัพท์โปรตีนใช้เป็นกาว ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากคอลลาเจนในหนังและกระดูกสัตว์ หรือมาจากเจลาตินรีไซเคิล โปรตีน หรือคอลลอยด์จะเกิดขึ้นผ่านการย่อยสลายของคอลลาเจนจากหนังกระดูกเส้นเอ็นและเนื้อเยื่ออื่น ๆ คล้ายกับเจลาตินกาวหนังกวายแสดงดังรูปที่ 2.5



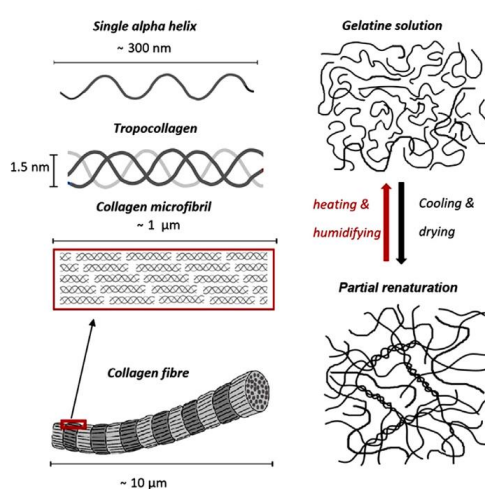
**รูปที่ 2.5** กาวหนังควายและกาวหนังวัว

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวหนังควายมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ Alexandra Bridarolli และคณะได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของกาวสัตว์ 7 ชนิดที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เพื่อการอนุรักษ์ ประสิทธิภาพของวัสดุเหล่านี้ในช่วงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พบโดยทั่วไปในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการควบคุมได้รับการวัดปริมาณบนฟิล์มกาวโดยใช้การวิเคราะห์เชิงกลแบบไดนามิก (DMA) และการทดสอบแรงดึง การทดลองที่ใช้ส่งผลให้มีการระบุการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะคล้ายแก้วและสถานะคล้ายยางและการประเมินในสถานะความแข็ง ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง ความตึงเครียดเมื่อกาวที่ทดสอบแต่ละชิ้นแตก ผลลัพธ์ที่น่าเสนอช่วยให้สามารถคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของกาวและช่วยให้เลือกกาวที่เหมาะสมที่สุดจากมุมมองทางกลศาสตร์<sup>7</sup>

### 2.2.2 หนังวัว

กาวที่มีแหล่งที่มาจากสัตว์ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับกาวจากสัตว์ ดังนี้ Yasmine Mosleh และคณะ ได้ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาค เช่น triple helix ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกาว 4 ชนิด ได้แก่ กาวกระดูกวัว กาวหนังวัว กาวหนังกระต่าย และกาวปลา ด้วยการขึ้นรูปฟิล์มกาวแต่ละชนิด จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค XRD และ DSC เพื่อวัดปริมาณ triple helix ที่พบในโครงสร้างทางเคมีร่วมกับผลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน พบว่า กาวกระดูกวัวมีปริมาณ triple helix สูงสุดและกาวปลามีปริมาณ triple helix ต่ำสุด ต่อมาทำการทดลองการดูดซับไอน้ำแบบไดนามิก (Dynamic vapor sorption) แสดงความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณ triple helix และการดูดซับน้ำ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และ 90% กาวกระดูกวัวดูดซับความชื้นได้มากที่สุด ในขณะที่กาวปลาดูดซับความชื้นได้น้อยที่สุด ดังนั้น ปริมาณ triple helix ที่มีปริมาณสูงหมายถึงบริเวณอสัณฐาน (Amorphous) ในปริมาณที่ต่ำกว่า ดังนั้น บริเวณอสัณฐานสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น สรุปได้ว่า จากงานวิจัยช่วยให้นักอนุรักษ์

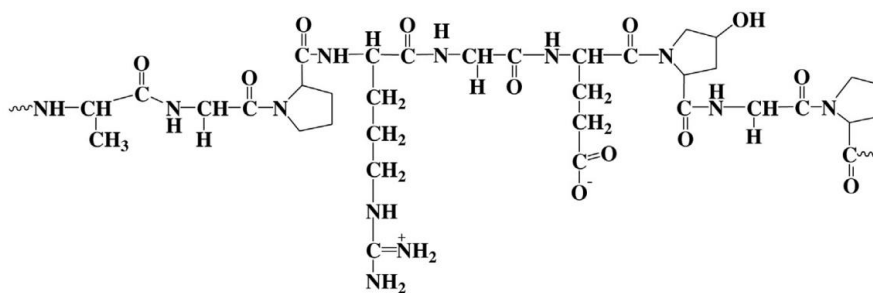
สามารถเลือกประเภทของกาวที่ใช้สำหรับการซ่อมแซมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากมีฐานข้อมูลเกี่ยวกับกาวจากสัตว์มากขึ้น ตัวอย่างเช่น จากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมสามารถส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนของกาว และส่งผลให้กาวอ่อนตัวลงก่อนเวลาอันควรในสภาพแวดล้อมที่ชื้น เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition state,  $T_g$ ) ลดลง นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้กาวที่มีความแข็งแรงและความเครียดสูง เช่น กาวปลา สามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงขึ้นได้ จึงมีค่าความเหนียวที่สูงขึ้น ทำให้ทนต่อแรงเค้นและแรงกระแทกได้ดี<sup>8</sup>



**รูปที่ 2.6** (ซ้าย) โครงสร้างลำดับชั้นของคอลลาเจน จาก Single alpha helix ไปเป็น Tropocollagen triple helix ไปจนถึง Collagen microfibril และไปจนถึงเส้นใยคอลลาเจน (ขวา) โครงสร้างอสังฐานของสายโซ่เจลาตินเมื่อละลายในน้ำ มีการเปลี่ยนสภาพและการก่อตัวของ triple helix ในโครง

### 2.2.3 เจลาติน

เจลาตินเป็นสารสารถือเจลประเภทโปรตีน ได้มาจากการสลายคอลลาเจนของเนื้อเยื่อในหนัง เอ็น และกระดูกโดยใช้กรดหรือเบส และสกัดด้วยน้ำร้อน สำหรับวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเจลาตินในระดับอุตสาหกรรมนั้น มักใช้กระดูกและหนัง จากวัว ควายและหมู โครงสร้างของเจลาตินเป็นสายพอลิเมอร์ของโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ มาต่อกันเป็นสายยาวแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน (Gelatin)

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวเจลาตินมีการรายงานไว้ก่อนหน้าดังนี้ Lucretia Miu และ Mihaela Niculescu ได้ทำการศึกษาการทำจากคอลลาเจนที่สกัดจากผิวหนัง สัตว์เลี้ยง กระดูกอ่อน กระดูกของสัตว์และปลา ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานในฐานะสารยึดเกาะและสารทำให้วัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ แข็งตัว การใช้กาวเจลาตินประเภทนี้ในการบูรณะนั้นได้รับการฝึกฝนโดยผู้บูรณะเนื่องมาจากคุณสมบัติของกาว แต่ยังคงรวมถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับการถอดออกของการอนุรักษ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานระดับชาติและระดับนานาชาติที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการบูรณะวัตถุโบราณ เพื่อจุดประสงค์นี้ ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีการสกัดเจลาตินจากหนังวัว จากนั้นจึงทำการกำหนดลักษณะของเจลาตินในแง่ของคุณสมบัติทางเคมี (ไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนของกรดอะมิโน สารในผิวหนัง ค่า pH ของสารละลาย) และทำการทดสอบการติดกาวบนพื้นผิวคอลลาเจน (หนังและกระดาษที่ทำขึ้นใหม่โดยเฉพาะสำหรับการบูรณะและตัวอย่างกระดาษโบราณบางส่วน ชิ้นส่วนกระดาษที่แยกออกมาจากด้านหลังของโบราณวัตถุ) และกำหนดลักษณะในแง่ของคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล (ความแข็งแรงในการฉีกและ ความแข็งแรงในการลอก) เจลาตินที่ทำจากหนังวัวยังถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์อย่างกาวกระดาษ ซึ่งเป็นวัสดุที่มักใช้ในงานด้านการบูรณะหรือการอนุรักษ์<sup>9</sup>

#### 2.2.4 ไขมัน

ไขมันประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 51 ซึ่งเป็นโปรตีนร้อยละ 16 และไขมันร้อยละ 31 ไขมันประกอบด้วยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ไขมันเป็นส่วนผสมที่ค่อนข้างซับซ้อนของโปรตีนและไขมัน ครึ่งหนึ่งของน้ำในไขมันเป็นน้ำอิสระ (free water) ที่ไม่ได้จับกับสารใด ส่วนที่เหลือเป็นน้ำที่จับอยู่กับสารอื่น (bound water) โดยจะอยู่ใน 3 ส่วน คือ water-soluble protein high-density lipoprotein (HDL) และ low-density lipoprotein (LDL) ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของ LDL โดยไตรกลีเซอไรด์จะเป็นแกนกลางของ LDL ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของพอสโพลิปิดและโปรตีน

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวไขแดงมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ Sabine M Harrison และคณะได้ทำการศึกษาการสกัดที่มีถูกใช้ในวัตถุทางประวัติศาสตร์และศิลปะ เช่น รองพื้น สีประสานสำหรับเม็ดสี หรือกาว แผลงที่มาคือไข เคซีน หรือคอลลาเจนที่แตกต่างกัน เพื่อวัตถุประสงค์ในการฟื้นฟูและอนุรักษ์เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรู้ว่าวัตถุพิพิธภัณฑณ์มีกาวชนิดใด การวิเคราะห์ด้วยไฟฟ้าแบบแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส (Capillary electrophoresis, CE) สามารถช่วยในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างโปรตีน 3 ประเภทที่อยู่ในกาว โดยมีหมู่กรดอะมิโนที่แตกต่างกันหลังจากการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) งานนี้จัดการกับปัญหาที่เกี่ยวข้องอย่างมากที่สุดในทางปฏิบัติหรือไม่ว่าการระบุนี้ถูกขัดขวางโดยการมีตัวเชื่อมอื่น ๆ ซึ่งผสมอยู่ในตัวอย่างจริงจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแทรกแซงจากยางจากพืชและน้ำมันแห้ง ได้รับการวิเคราะห์ด้วยไฟฟ้าแบบแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส (Capillary electrophoresis, CE) (หลังจากทำปฏิกิริยากับ 6M HCl) ดำเนินการด้วยอิเล็กโตรไลต์พื้นหลัง (Background electrolyte) ที่เป็นกรดประกอบด้วยกรดคลอโรแอซิดิก (Chloroacetic acid, 51.9 mM) ปรับด้วย LiOH ถึง pH 2.26 การวิเคราะห์ถูกตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจจับการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนประกอบของยางพืช (monosaccharide) หรือน้ำมันแห้ง (กรดไขมันสายโซ่ยาวและกรดไตรคาร์บอกซิลิกสายโซ่สั้น) ไม่เคยรบกวนการระบุกาวในสัตว์ ดังแสดงสำหรับส่วนผสมเทียมของตัวเชื่อมต่าง ๆ แม้จะเกินกาวในสัตว์ถึงสิบเท่า และสำหรับตัวอย่างสีไข วิธีการนี้ใช้เพื่อระบุวัสดุเดิมจากรูปปั้นจากศตวรรษที่ 18

### 2.2.5 น้ำผึ้ง

น้ำผึ้ง (honey) เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) ที่มาจากน้ำหวานของดอกไม้ที่ผึ้งงานนำมาเก็บสะสมไว้และผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ โดยเกิดจากน้ำหวานของดอกไม้ลงสู่กระเพาะของผึ้งซึ่งมีเอนไซม์จากต่อมน้ำลายขับออกมาเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลกลูโคส (glucose) และฟรุคโทส (fructose) ได้เป็นน้ำตาลเดกซ์โทรส (dextrose) และมอลโทส (maltose)

น้ำผึ้งมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ เพราะถ้าหักปริมาณน้ำหรือความชื้นออกแล้ว 95-99% ที่เหลือจะเป็นน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำตาลฟรุคโทส (fructose) และกลูโคส (glucose) ที่ผึ้งย่อยสลายจากน้ำตาลซูโครสในน้ำหวาน น้ำตาลทั้งสองชนิดซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำผึ้งมีสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่นดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ น้ำผึ้งที่ดีควรมีน้ำตาลทั้งสองชนิดไม่น้อยกว่า 65% นอกจากน้ำตาลทั้งสองชนิดแล้ว น้ำผึ้งยังประกอบด้วย น้ำตาลซูโครส มอลโทส (maltose) แล็กโทส (lactose) และน้ำตาลอื่นๆ รวม 17 ชนิด



รูปที่ 2.8 น้ำผึ้ง (Honey)

ที่มา : <https://www.marthastewart.com/1539484/how-store-honey-best-ways>

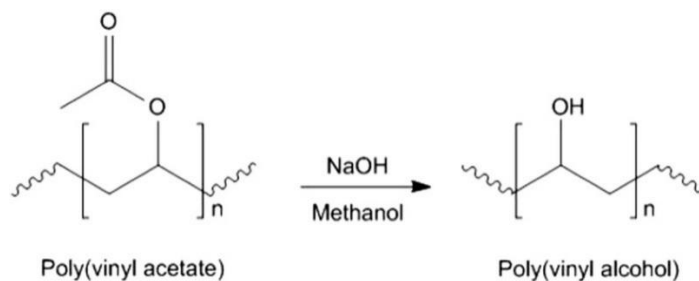
สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวน้ำผึ้งมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ Mircea Oroian ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ (20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 °C) และความเข้มข้นในวิวัฒนาการของคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน (ความหนาแน่น ความหนืด ความเร็วอัลตราโซนิกและความตึงผิว) ของน้ำผึ้ง อุณหภูมิมีอิทธิพลในทางลบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้ง มีการสังเกตความสัมพันธ์ที่ตรงกันระหว่างความหนาแน่น ความหนืด ความเร็วอัลตราโซนิกและความตึงผิว โดยใช้สมการเชิงเส้นและพอลิโนเมียล นอกจากนี้ยังได้ความสัมพันธ์ที่ตรงกันระหว่างความหนาแน่น ความเร็วอัลตราโซนิกและความตึงผิวสำหรับตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งหมด ( $R^2=0.954$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงผิวและความหนืดของพื้นผิวถูกสร้างขึ้นโดยใช้แบบจำลอง Pelofsky และแบบจำลองเอกซ์โปเนนเชียลอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความตึงผิวและความหนืดของพื้นผิวได้ดีกว่า

## 2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในกาวสังเคราะห์

### 2.3.1 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate, PVAc) เป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) แสดงดังรูปที่ 2.9 เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ โดยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว และการยึดติด (เป็นกาว) ที่ยอดเยี่ยม อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมันและตัวทำละลายได้ดี โพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีความแข็งแรงดีและความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน โดยคุณสมบัติต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากความชื้นสูงขึ้นน้ำก็จะถูกดูดซับได้มาก

ขึ้น โดยน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ดังนั้นก็จะลดความเค้นแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงยึดและแรงเฉือนให้มากขึ้น



**รูปที่ 2.9** การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate, PVAc) เป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA)

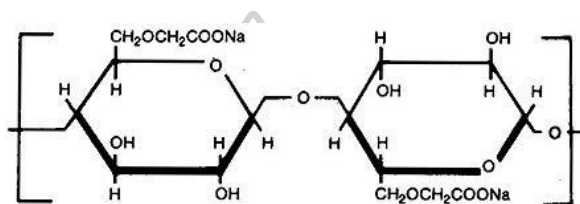
ที่มา :

[https://www.researchgate.net/publication/339061152\\_Adsorption\\_of\\_Dyes\\_Using\\_Polyvinyl\\_alcohol\\_PVA\\_and\\_PVA-Based\\_Polymer\\_Composite\\_Adsorbents\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/339061152_Adsorption_of_Dyes_Using_Polyvinyl_alcohol_PVA_and_PVA-Based_Polymer_Composite_Adsorbents_A_Review)

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มีการรายงานไว้ก่อนหน้าดังนี้ Alireza Kaboorani และ Bernard Riedl ได้ทำการศึกษาการประเมินว่าการผสม PVA กับ MUF และ MF เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของ PVA ต่อน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้น MF และ MUF ถูกเพิ่มลงใน PVA ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน: 15%, 30%, 50%, 70% และ 100% ส่วนผสมของ PVA กับ MF และ MUF ถูกใช้เป็นตัวเชื่อมยึดไม้ แรงเฉือนของข้อต่อไม้ถูกวัดในสถานะแห้งและเปียก และอุณหภูมิสูงขึ้น การวิเคราะห์อุณหภูมิศาสตร์ถูกใช้เพื่อศึกษาความคงที่ของความร้อนของ PVA และส่วนผสมของมันกับ MF และ MUF การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดจากการรวมมีลักษณะเฉพาะโดย Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงในการตัดเฉือนของข้อต่อไม้ได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่ม MF และ MUF ลงใน PVA ในทุกสภาพ การเพิ่ม MUF หรือ MF จำนวนเล็กน้อย (ต่ำถึง 15%) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของข้อต่อไม้ต่อน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้น บางครั้งขอบเขตของการปรับปรุงสูงมากจนความแข็งแรงของสายกาวเกินความแข็งแรงของไม้ในสภาพเปียกซึ่งนำไปสู่ความล้มเหลวของไม้มากกว่าความล้มเหลวของกาว ประสิทธิภาพในการปรับปรุงแรงเฉือนของข้อต่อไม้มากกว่า MUF ในทุกสภาพ เสถียรภาพความร้อนของ PVA เพิ่มขึ้น MF แต่ผลกระทบของ MUF ต่อเสถียรภาพความร้อนของ PVA ขึ้นอยู่กับสัดส่วนและอุณหภูมิของ MUF การวิเคราะห์ FTIR แสดงให้เห็นว่ามีพันธะเคมีบางอย่างระหว่าง PVA และ MF เมื่อพิจารณาต้นทุน ประสิทธิภาพ และการปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์แล้ว การเพิ่ม MF 15% ใน PVA ดูเหมือนจะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของ MF ในส่วนผสม PVA <sup>10</sup>

### 2.3.2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (carboxymethyl cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้ เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล



รูปที่ 2.10 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose)

ที่มา : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1439/carboxy-methyl-cellulose-cmc>

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับกาวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ S. El-Sayed และคณะได้ทำการศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีการหล่อ โดยการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimetry, DSC) การวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อน (Thermal gravimetric analysis, TGA) และการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Dielectric spectroscopy, DS) ขององค์ประกอบทั้งหมดแล้ว พบว่า PVA และ CMC เข้ากันได้ในช่วงของการศึกษาองค์ประกอบ ด้วยปริมาณ CMC ที่เพิ่มขึ้น ความเสถียรทางความร้อนของ PVA จะเพิ่มขึ้น ตามข้อมูล DSC และ TGA ผลงานการเปิดใช้งานของตัวอย่างที่ได้รับการตรวจสอบทั้งหมดได้รับการคำนวณ วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเทคนิค UV-vis spectrophotometry การศึกษาการนำไฟฟ้าของตัวอย่างทั้งหมดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความถี่ ผลแสดงว่า การกระจายการกระจายของไดอิเล็กตริก (Dielectric) ประกอบด้วยเกิดการโพลาไรเซชันแบบ dipolar และ interfacial polarization มากไปกว่านั้น การอาศัยความถี่ของความสามารถในการนำไฟฟ้าบ่งบอกได้ว่าการกระโดดข้ามสิ่งกีดขวางที่เกี่ยวข้อง (Correlated barrier hopping, CBH) เป็นกลไกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไฟฟ้า นอกจากนี้

พลังงานยึดขั้ว (Polaron binding energy,  $U_M$ ) ถูกกำหนดผลลัพธ์ของระบบปัจจุบันถูกเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของวัสดุที่คล้ายกัน <sup>11</sup>

### 2.3.3 มะเตือสังเคราะห์

ยางมะเตือใช้สำหรับปิดทองภาพจิตรกรรมไทยได้มาจากต้นมะเตือเป็นน้ำยางสีขาวเมื่อถูกอากาศจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล ทิ้งไว้หนึ่งคืนให้ยางเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีส้ม นำน้ำยามาผสมกับสูตรกาวจนได้น้ำยางที่เหนียวและคงทน จากนั้นก็เขียนยางลงไปบนผ้า เป็นขั้นตอนที่ยากและต้องใช้ความระมัดระวังมาก เพราะต้องบังคับเส้นให้คม สวยงาม ไม่ให้แตก หรือน้ำยางหยดลงบนผ้า เพราะจะทำให้ไม่สวยงามเวลาปิดทอง จากนั้นแปะด้วยทองคำเปลวซึ่งต้องเป็นทองคำแท้คัดพิเศษ ถ้าเป็นทองคำเปลวที่ตีด้วยมือก็จะดีที่สุด เพราะให้ทองสีส้มมาเสมอไม่ขาดเสมอกัน ยางมะเตือชนิดเดียวกันนี้ยังใช้ปิดทองในงานจิตรกรรมไทยมาแต่โบราณและสามารถอยู่ได้เป็นร้อยปี <sup>2</sup>

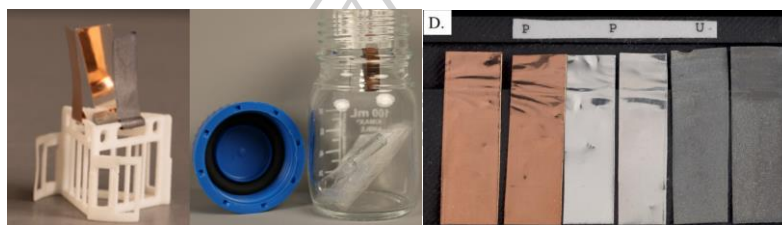


รูปที่ 2.11 กาวมะเตือและกาวมะเตือสังเคราะห์

### 2.4 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการตรวจสอบวัสดุในงานอนุรักษ์

สำหรับการทดสอบ Oddy มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ Catherine H. Stephen และ Eric M Breitung ได้ทำการทดสอบกาวอะคริลิกสองหน้า (Acrylic pressure-sensitive adhesives-PSAs) ที่มีขายในท้องตลาดจำนวน 17 ชนิด ด้วยวิธี Oddy ร่วมกับเทคนิค Headspace solid phase micro-extraction (SPME) gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) เพื่อระบุว่ากาวอะคริลิกสองหน้าชนิดใดบ้างที่ปลอดภัยและเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการจัดแสดงนิทรรศการศิลปะที่เป็นมรดกทางวัฒนธรรม โดยอาศัยวิธี Oddy ที่มีการใช้แผ่นโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นเงิน แผ่นทองแดง และแผ่นสังกะสี ซึ่งโลหะทั้ง 3 ชนิดจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเสียบเข้า Nylon 3D printed ภายในขวดทดลองจะมีตัวอย่างและหลอดขนาดเล็กบรรจุน้ำ เพื่อจำลองสภาพของพื้นที่ภายในตู้จัดแสดงหรือบรรจุภัณฑ์จัดเก็บวัตถุ จากนั้นขวดทดลองจะถูกนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60

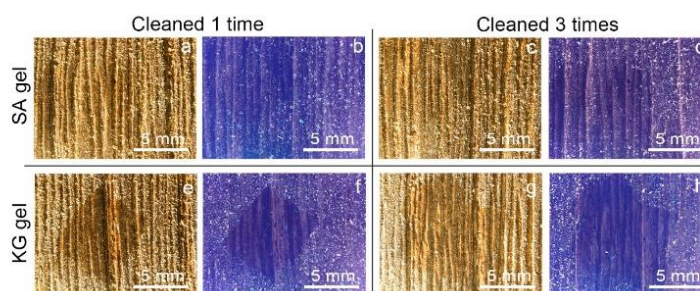
องศาเซลเซียส ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน จากนั้นสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compound, VOCs) ของสารตั้งต้นที่เป็นองค์ประกอบของกาวอะคริลิกสองหน้า ได้แก่ ethyl acrylate, n-butyl acrylate, 2-ethylhexyl acrylate, acrylic acid, acetic acid และ abietic acid โดยที่ acrylic acid และ acetic acid เกิดการกัดกร่อนโลหะตะกั่วอย่างมาก ที่ความเข้มข้น  $5 \times 10^{-5} \text{ mg/L}$  ซึ่งมีความเป็นอันตรายอย่างมากต่องานศิลปะ ดังนั้นกาวสองหน้าที่มี acrylic acid และ acetic acid เป็นองค์ประกอบจึงมีความเป็นอันตรายต่องานศิลปะ พบว่ากาวอะคริลิกสองหน้าทั้งหมดมีการกัดกร่อนแผ่นโลหะ แต่มีกาวอะคริลิกสองหน้า 3 ชนิดที่ปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับงานนิทรรศการศิลปะ<sup>3</sup>



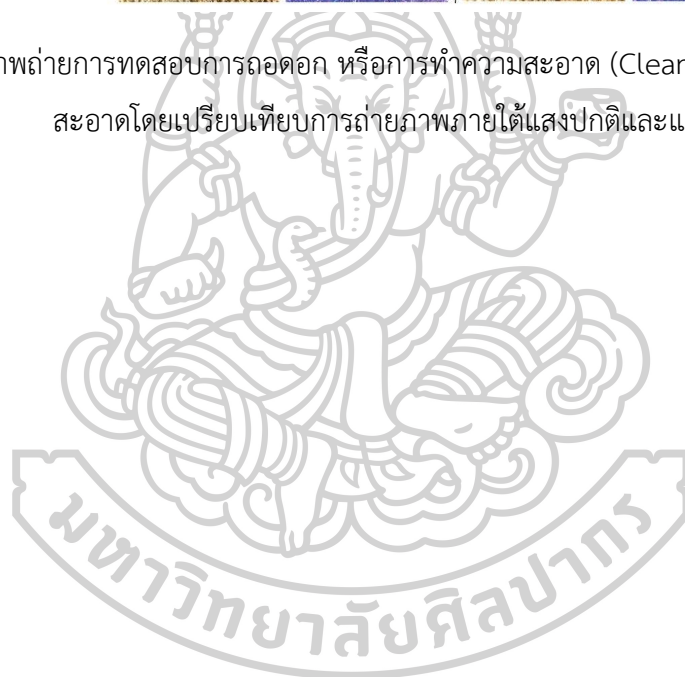
รูปที่ 2.12 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy test) และแผ่นโลหะที่ผ่านการทดสอบ

สำหรับการทดสอบการถอดออก หรือการทำความสะอาดวัสดุในงานอนุรักษ์ มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ว่า Chaehoon Lee และคณะ ได้ทดลองทำความสะอาดเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสาย เป็นเรื่องท้าทายเนื่องจากการรักษานิ้วมือแบบดั้งเดิมที่ใช้โดยผู้ผลิต ระบบเคลือบผิวหลายชั้นถูกนำไปใช้กับเครื่องดนตรีเวสเท็ม ในขณะที่เทคนิค Nakdong ถูกนำไปใช้ในเอเชียตะวันออก นอกจากนี้ โดยการฟื้นฟูและประสิทธิภาพ ฝุ่นและตะแกรงถูกทับด้วยสารขัดเงา สารยึดเกาะ และสารเคลือบเงา การทำความสะอาดเจลมีความสำคัญในด้านการอนุรักษ์ เนื่องจากความสามารถในการคัดแยกผลิตภัณฑ์การเสื่อมสภาพทางเคมีและชีวภาพออกจากพื้นผิว ลดปฏิสัมพันธ์กับชั้นใน ในการศึกษาครั้งนี้ มีการเตรียมไฮโดรเจลโดยใช้โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate, SA) และโพลีแซคคาไรด์ (Konjac glucomannan, KG) มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง (Mock up) ในห้องปฏิบัติการของเครื่องมือเอเชียตะวันออกและตะวันตก เพื่อทดสอบความสามารถในการขจัดสิ่งสกปรกสังเคราะห์ และเหงื่อออกจากพื้นผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีการใช้ SA cross-linked กับแคลเซียมและ KG cross-linked กับบอเรตเจล เพื่อควบคุมการสัมผัสของสารละลายทำความสะอาดบนพื้นผิวของแบบจำลอง มีการกำหนดปริมาณความเข้มข้นของเจล ประสิทธิภาพของการกำจัดสารปนเปื้อนสังเคราะห์ที่ได้รับการตรวจสอบโดยวิธีการวิเคราะห์แบบไม่รุกราน การตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereomicroscopy) และการวัดค่า (Colorimetry) ร่วมกับการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

(Fourier Transform Infrared spectroscopy, FTIR) ในโหมดสะท้อนแสงและการวิเคราะห์ธาตุบนพื้นผิววัสดุโดยใช้รังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำความสะอาด โดยรวมแล้ว พอลิแซ็กคาไรด์ ไฮโดรเจล ส่งผลให้มีระบบคณบดีที่ดีทั้งบนพื้นผิวเรียบและหยาบของไม้<sup>12</sup>



รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายการทดสอบการถอดดอก หรือการทำความสะอาด (Cleaning) โดยใช้เจลทำความสะอาดโดยเปรียบเทียบการถ่ายภาพภายใต้แสงปกติและแสงยูวี






### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย



สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 โดยที่สารเคมีที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วยกาวยชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของกาวและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง





ลำดับที่	ชนิดของยาง	รูปภาพ	แหล่งที่มา
1.	ยางมะขาม		สกัดจากเมล็ดมะขาม (Hemi-cellulose)
2.	ยางมะขวิด		กรีดยางได้จากต้นมะขวิดใน มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยา เขตพระราชวังสนามจันทร์
3.	ยางกระถิน		กรีดยางได้จากต้นกระถินใน มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยา เขตพระราชวังสนามจันทร์




ลำดับที่	ชนิดของยาง	รูปภาพ	แหล่งที่มา
4.	กาวหนังควาย		สั่งซื้อผ่านทางออนไลน์
5.	กาวหนังวัว		ญี่ปุ่น
6.	ไข่แดง		หาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป
7.	น้ำผึ้ง		หาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป
8.	เจลาติน		หาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป




ลำดับที่	ชนิดของยาง	รูปภาพ	แหล่งที่มา
			
9.	CMC		สั่งซื้อผ่านทางออนไลน์
10.	PVA		บริษัท Kuraray poval Singapore.
11.	กาวมะเดื่อ สังเคราะห์		ซื้อได้จากร้านอุปกรณ์เครื่อง เขียนทั่วไป
12.	กรดอะซีติก		
13.	กรดซัลฟิวริก		

### 3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	บริษัทผู้ผลิต/ประเทศ	หมายเหตุ
1.	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum 100 FT-IR	ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments	
	เครื่อง Attenuated Total Reflectance (ATR)	ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Universal ATR Sampling accessory	ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments	
2.	เครื่อง Field Emission-Scanning Electron Microscope (FE-SEM)	ยี่ห้อ Tescan รุ่น Mira3	จากประเทศ Czech Republic	
3.	เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)	ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Pyris Diamond DSC	ผลิตโดย Perkin Elmer Instruments	
4.	เครื่อง	ยี่ห้อ Perkin	ผลิตโดย	

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	บริษัทผู้ผลิต/ประเทศ	หมายเหตุ
	Thermogravimetric analyzer (TGA)	Elmer รุ่น Pyris1 TGA	Perkin Elmer Instruments	
5.	เครื่อง UV-Vis spectrophotometer	ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 60 UV-Vis	ผลิตโดย Agilent Instrument	
	เครื่องวัดค่าสี		ผลิตโดย Agilent Instrument	

ลำดับที่	เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น	บริษัทผู้ผลิต/ประเทศ	หมายเหตุ
7.	เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 5 ตำแหน่ง)	ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Mettler MS205DU semi micro	ผลิตโดย American Instrument Exchange (AIE)	
8.	เครื่องวัดความเงา (Gloss meter)	ยี่ห้อ Artbull	ผลิตโดย ประเทศจีน	
9.	กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)	ยี่ห้อ Olympus รุ่น EP50		

### 3.3 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกาวธรรมชาติ

#### 3.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของกาว

การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของกาวจะอาศัยเทคนิคฟูรีเยร์ ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโกปีและแอทเทนูเอท โททอล รีเฟล็กแทนซ์ สเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR & Attenuated Total Reflectance Spectroscopy, ATR) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์และศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลของสารได้ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยศึกษาทรานซิชันการสั่นหรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเกิดจากกระบวนการการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดของโมเลกุล จึงเป็นการวัดการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ทำให้เกิดการทรานซิชันของการสั่นของโมเลกุลและมีผลต่อการสั่น (Vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล เช่น การยืด-หดของพันธะ (Stretching vibration) หรือการโค้งงอของพันธะ (Bending vibration) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้ เปิดเครื่อง FTIR และคอมพิวเตอร์ นำอุปกรณ์ ATR ประกอบเข้ากับเครื่อง FTIR จากนั้นเปิดโปรแกรม Spectrum ทำการสแกน Background โดยตั้งค่าการสแกนตั้งแต่ 4000-450  $\text{cm}^{-1}$  ที่ 4 scan จากนั้นตั้ง Resolution ที่ 4  $\text{cm}^{-1}$  ระบุชื่อตัวอย่าง บรรจุตัวอย่างลงบนแท่นของ ATR หมุนหัวเข็มให้สัมผัสกับตัวอย่างและกดแสกน เครื่องมือจะวัดและบันทึกผล ทำเช่นเดียวกันนี้จนครบทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ปรากฏเป็นค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่องมือแสดงในตารางที่ 3.2

#### 3.3.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกาว

การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกาวโดยอาศัยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) ใช้วิเคราะห์วัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า enthalpy ของสารตัวอย่างสามารถได้ข้อมูลที่ น่าสนใจของสารตัวอย่างเช่น อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) อุณหภูมิหลอมผลึก (crystalline melting temperature,  $T_m$ ) อุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature,  $T_c$ ) อุณหภูมิออกซิเดชัน (oxidation Stability,  $T_{ox}$ ) และอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ (degradation temperature,  $T_d$ ) ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างจะถูกวางบน ถ้วยอะลูมิเนียม (aluminum pan) ที่อยู่ในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสาร

อ้างอิงซึ่งเป็นถ้วยอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ นำถ้วยอะลูมิเนียมเปล่าและฝาปิดมาชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า แล้วกด set zero บรรจุกตัวอย่างลงในถ้วยอะลูมิเนียมแล้วนำไปชั่ง โดยต้องชั่งฝาปิดด้วย ให้ได้น้ำหนักประมาณ 10-15 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่อ่านได้ และถ้วยอะลูมิเนียมที่มีตัวอย่าง (Sample pan) กับถ้วยอะลูมิเนียมเปล่า (Reference pan) เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่สภาวะเดียวกันลงในเครื่อง DSC โดยตั้งค่าเครื่อง DSC ดังนี้ Heat เท่ากับ 45 °C ถึง 250 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เท่ากับ 10 °C/min Hold เท่ากับ 0.5 min ที่ 250 °C Cool เท่ากับ 250 °C – 45 °C อัตราการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 10 °C/min Hold เท่ากับ 0.5 min ที่ 45 °C Heat เท่ากับ 45 °C – 250 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เท่ากับ 10 °C/min อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 20 mL/min จากนั้นกด Go to temperature และกด Start โปรแกรมจะเริ่มทำการวิเคราะห์ บันทึกข้อมูลเมื่อเสร็จสิ้นและนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลต่อไป โดยเครื่องมือแสดงในตารางที่ 3.2

### 3.3.3 การศึกษาความเสถียรต่อความร้อนและอุณหภูมิของการสลายตัวของกาว

การศึกษาความเสถียรต่อความร้อนและอุณหภูมิของการสลายตัวของกาวโดยอาศัยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก อะนาไลซิส (Thermogravimetric analysis, TGA) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะถูกวางบนกระเช้าขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่อุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่ในเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้ ทำการตัดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กและชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 10-15 มิลลิกรัม มาใส่ในกระเช้าขนาดเล็กแล้วนำไปวิเคราะห์ โดยการเพิ่มความร้อนตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 600 องศาเซลเซียส จากข้อมูลส่วนนี้จะทำให้ทราบอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของตัวอย่าง โดยเครื่องมือแสดงในตารางที่ 3.2

### 3.3.4 การทดสอบหาค่าความหนืดของกาว

การทดสอบหาค่าความหนืดของกาวนำตัวอย่างกาวมาทำการวัดความหนืดอาศัยการวัดความหนืดแบบ Intrinsic viscosity ของสารละลายพอลิเมอร์เจือจางเพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลแบบความหนืด ( $M_v$ ) โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์จะสัมพันธ์กับความหนืด กล่าวคือยิ่งพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงก็จะยิ่งทำให้ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์หรือความ

หนืดของพอลิเมอร์ในขณะหลอมเหลว มีค่าสูงขึ้นสำหรับในกรณีของสารละลายพอลิเมอร์ค่าความหนืดกับน้ำหนักโมเลกุลจะสัมพันธ์กันตามสมการของ Mark-Houwink ดังนี้

$$[\eta] = kM_v^a$$

เมื่อ  $[\eta]$  = intrinsic viscosity

$k$  และ  $a$  คือค่าคงที่ Mark-Houwink

ซึ่ง  $k$  และ  $a$  จะเป็นค่าคงที่เฉพาะของแต่ละคู่ของพอลิเมอร์และตัวทำละลายที่อุณหภูมิหนึ่งๆ กล่าวคือ ถ้าเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายหรือใช้อุณหภูมิในการวัดความหนืดเปลี่ยนไป จะใช้ค่า  $k$  และ  $a$  เดิมในการคำนวณไม่ได้ โดยทั่วไปแล้ว  $a$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-1

-โดยในกรณีที่โมเลกุลพอลิเมอร์มีความอ่อนตัว (flexible) ค่า  $a$  จะอยู่ที่ประมาณ 0.5-0.9

-ในขณะที่โมเลกุลที่เริ่มมี flexibility ลดลง เช่น โมเลกุลที่มี conformation แบบ linear chain หรือ worm like (เช่น ในกรณี cellulose หรือ polyelectrolyte) ค่า  $a$  จะเข้าใกล้ 1 มาก ๆ

-ยิ่งไปกว่านั้น ค่า  $a$  ในบางกรณีอาจมากกว่า 1 ก็ได้ เช่น conformation แบบ rod จะมีค่า  $a$  อยู่ระหว่าง 1.7-2.0

หลักการในการหาค่าคงที่  $k$  และ  $a$  จะอาศัยสมการที่ได้จากการใส่ค่า natural log (ln) ของสมการ Mark-Houwink

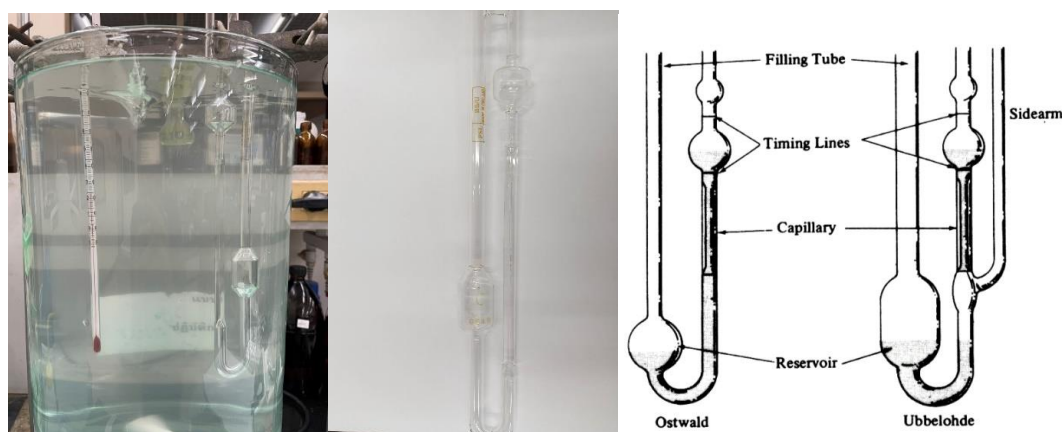
$$\ln [\eta] = \ln k + a \ln [M_v]$$

จากนั้นจะทำการวัดค่า intrinsic viscosity  $[\eta]$  ของสารตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ทราบค่า  $\bar{M}_v$  มาแล้วจากเทคนิคอื่นๆ เช่นในกรณีของ monodisperse polymer อาจจะใช้ทราบ  $M_n$  หรือ  $M_w$  จากเทคนิคอื่น (เช่น osmometry, LS) และถ้าถือว่า  $M_v = M_n = M_w$  (เนื่องจากเป็น monodisperse)

ดังนั้นเมื่อทำการวัดค่า intrinsic viscosity  $[\eta]$  แล้วทำการ plot กราฟระหว่าง  $\ln [\eta]$  กับ  $\ln [M_v]$  จะได้ค่าความชันเท่ากับ  $a$  และ จุดตัดแกน y เท่ากับ  $\ln k$

ทำการทดลองวัดค่าความหนืดได้ดังนี้ บรรจุน้ำประปาลงในโหลแก้วขนาดใหญ่จนเต็มเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส ใช้ที่จับยึดเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำเพื่อสังเกตอุณหภูมิ และใช้

Ostwald viscometer type C ทำการชั่งตัวอย่าง 0.1XXX กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนบน Magnetic stirrer จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร นำสารละลายบรรจุลงใน Ostwald viscometer ทำการจับเวลา (Flow time) ของแต่ละตัวอย่างในหน่วยวินาที โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งในขั้นตอนแรก ต้องบันทึกเวลาที่ใช้ (Flow time) ของน้ำปราศจากไอออนที่เป็นตัวทำละลายก่อน และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนืดที่แท้จริงของตัวอย่าง โดยเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความหนืด (Viscometer) และ Ostwald type C

### 3.4 การทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของกาว

#### 3.4.1 การวิเคราะห์ความโปร่งแสงของกาว

การวิเคราะห์ความโปร่งแสงของกาวโดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Vis spectrophotometry) เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis Spectrophotometry ไปใช้งาน โดยเครื่องทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ ที่เหมือนกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง เกรตติงหรือโมนโครเมเตอร์ เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัวที่นิยมใช้ คือหลอดทังสแตน-ฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดิวทีเรียมซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้โมนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการหลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ (cuvettes) ซึ่งมีรูปร่าง

ต่างกันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความกว้างภายใน 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง ตามกฎของ Beer-Lambert) เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ ในระบุชนิดและปริมาณ ของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ วิธีการวิเคราะห์ทำได้ดังนี้ นำแผ่นฟิล์ม ตัวอย่างมาตัดด้วยเครื่องเจาะรูกระดาษ จะได้เป็นแผ่นฟิล์มวงกลมขนาดพอดีกับหลุมของเพลต บรรจุ ตัวอย่างลงใน 96 well plate โดยตัวอย่างละ 3 หลุมและบันทึกลำดับของตัวอย่าง นำตัวอย่างเข้า เครื่อง Micro plate reader ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) จากนั้น นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance, T) ได้จากสมการดังนี้

$$\text{Log } \%T = 2 - A \quad \text{หรือ} \quad A = 2 - \log \%T$$

ในงานวิจัยวิเคราะห์ความใสของแผ่นฟิล์มโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600นาโนเมตร โดยใช้อากาศเป็นตัวอ้างอิง บันทึกค่าที่วัดได้เป็นค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (%T) แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความขุ่น

$$\text{Opacity} = \frac{A_{600}}{X}$$

โดยที่  $X$  คือความหนาของแผ่นฟิล์มในหน่วยมิลลิเมตร (mm.) โดยเครื่องมือแสดงดังรูปที่



รูปที่ 3.2 Microplate reader และ 96 well plate

### 3.4.2 การทดสอบการยึดเกาะของกาว

ขั้นตอนการเตรียมผืนผ้าใบสำหรับใช้เป็นชิ้นงานจำลอง ทำได้โดยตัดแผ่นใสและผ้าใบให้มีขนาดเท่ากัน 3.0X8.0 เซนติเมตร จากนั้นกรีดแผ่นใสให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.0X1.0

เซนติเมตร ทั้งด้านซ้ายและขวา นำแผ่นใสวางบนผ้าใบและกรีดให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมโดนไม่ต้องกรีดให้ผ้าใบขาด แสดงดังรูปที่



**รูปที่ 3.3** การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลองสำหรับการตาก

การเตรียมกาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนัง กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 35%w/w ชั่งกาวหนัก 3.5XXX กรัม ใส่ขวดแก้วขนาดเล็ก เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร สำหรับกาวที่มีความหนืดมากจะปรับความเข้มข้นลดลงเป็น 7%w/w เช่น กาวมะขาม นอกจากนี้ กาว PVA และกาว CMC ปรับความเข้มข้นเป็น 5%w/w จากนั้นบรรจุ Magnetic bar และนำไปละลายบน Magnetic stirrer เมื่อกาวละลายแล้ว ใช้หลอดหยดดูดสารละลายระหว่าง กาว:น้ำกลั่น อัตราส่วน 1:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการใช้ในงานจิตรกรรมคือกาว 7 หยดต่อน้ำกลั่น 7 หยด ลงในโถรงบดยาและบดให้เข้ากันแสดงดังรูปที่ 3.3 จากนั้นใช้พู่กันขนาดเล็กจุ่มกาวมาทาบนผืนผ้าใบให้เต็มช่องสี่เหลี่ยมที่กรีดเป็นขอบเขตไว้แสดงดังรูปที่ 3.5

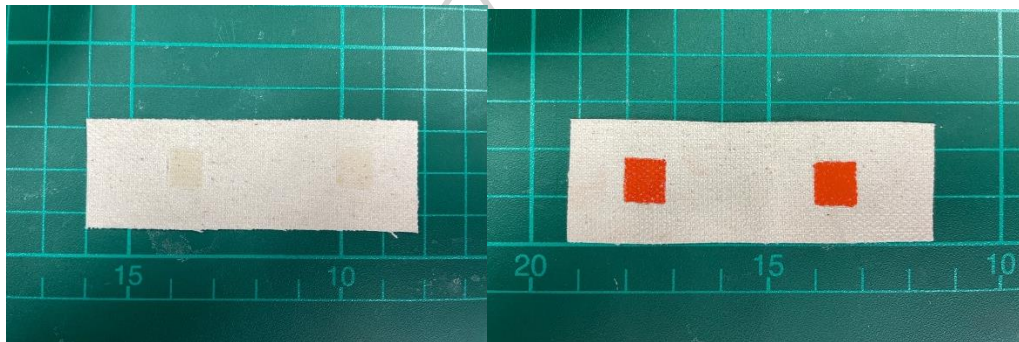


**รูปที่ 3.4** การเตรียมกาว

สำหรับกาวที่ผสมผงสีจะใช้อัตราส่วนระหว่าง กาว:น้ำกลั่น:ผงสี 1:1:1 โดยผงสีจะใช้ปริมาณหนึ่งหัวไม้ขีดไฟลงในโถรงบดยาและบดให้เข้ากันแสดงดังรูปที่ 3.4 จากนั้นใช้พู่กันขนาดเล็กจุ่มกาวมาทาบนผืนผ้าใบให้เต็มช่องสี่เหลี่ยมที่กรีดเป็นขอบเขตไว้แสดงดังรูปที่ 3.5

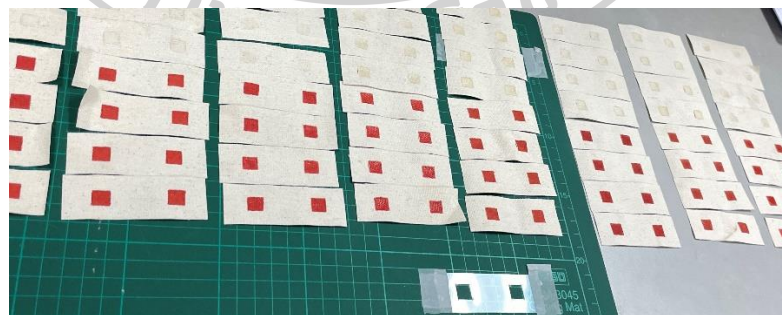


รูปที่ 3.5 การเตรียมกาวผสมกับผงสี



รูปที่ 3.6 การทาขาวลงบนพื้นผ้าใบ

เมื่อทาขาวลงผ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการเตรียมชิ้นงานจำลองจะเตรียมไว้สำหรับการทดสอบ การถอดออกด้วยเช่นกัน ผู้วิจัยทำการทาขาวลงบนผ้าใบตัวอย่างละ 2 ชิ้นสำหรับใช้ในการทดสอบ การยึดเกาะ โดยให้ช่องสี่เหลี่ยมที่ 1 เป็นช่องอ้างอิง (ไม่ถูกทดสอบ) และช่องสี่เหลี่ยมที่ 2 3 และ 4 เป็นที่เอาไว้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.6

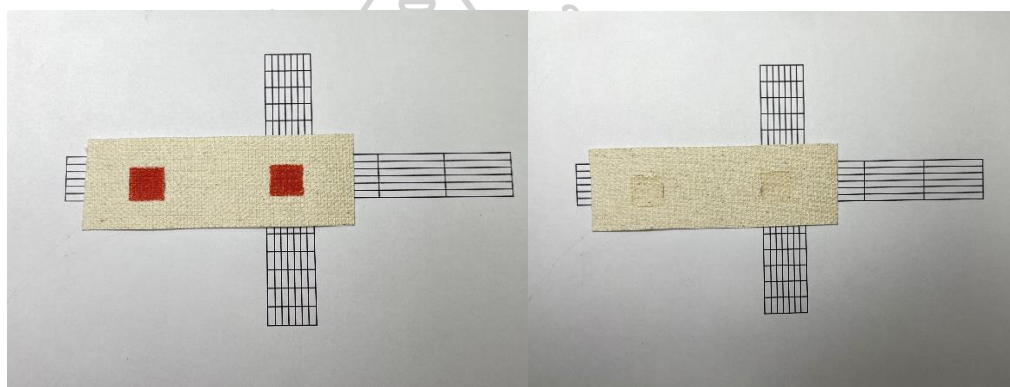


รูปที่ 3.7 การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลอง

การทดสอบการยึดเกาะ (Adhesion test) ตามมาตรฐาน ASTM D3359 ระบุการทดสอบไว้ 2 วิธี ได้แก่ วิธี A การตัดแบบ X (X-cut) และวิธี B การตัดแบบขวาง (Cross-cut) ซึ่งวิธี A ใช้สำหรับการทดสอบตัวอย่างที่มีสารเคลือบหนามากกว่า 5 มิลลิเมตร และวิธี B ใช้ทดสอบตัวอย่างที่มีสาร

เคลือบหนาน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร การทดสอบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินการยึดเกาะของสารเคลือบกับเหล็ก แต่สามารถใช้กับพื้นผิวแข็งอื่น ๆ ได้เช่นกัน

โดยวิธีการทดสอบจะใช้ใบมีดปลายแหลมกรีดลงบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยจะทำการสร้างรูปแบบโครงตาข่ายแบบตัดขวางขนาด 1.00X1.00 เซนติเมตร แต่ละช่องขนาด 0.20X0.20 เซนติเมตร ดังนั้นช่องสี่เหลี่ยมที่เกิดจากการกรีดจะเท่ากับ 25 ช่องซึ่งคิดเป็นร้อยละ 100 โดยทั้งสองวิธีต้องใช้ไม้บรรทัดวัดเพื่อต้องการให้ตัดได้ตรง กรีดจากแนวตรง 5 ช่องและแนวนอน 5 ช่อง จากนั้นติดเทปพลาสติกตามรอยกรีดและดึงเทปออกจากพื้นผิวอย่างรวดเร็ว ทำการประเมินการทดสอบการยึดเกาะแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 การทดสอบการยึดเกาะ

เมื่อแปะเทปใสและดึงออก นำเทปใสที่ได้มาแปะลงบนแผ่นกระดาษ A4 ทำการทดลองเช่นเดียวกัน 3 ซ้ำทั้งกาวจากนั้นประเมินการยึดเกาะจากการที่มีกาวหลุดติดเทปแสดงดังรูป 3.8-3.9



รูปที่ 3.9 การทดสอบการยึดเกาะของกาว



รูปที่ 3.10 การทดสอบการยึดเกาะของกาวผสมผงสี

### 3.5 การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

#### 3.5.1 การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing)

ในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) เป็นวิธีที่ช่วยให้นักอนุรักษ์ หรือศิลปิน เลือกใช้วัสดุที่ปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อศิลปะที่เป็นมรดกทางวัฒนธรรมได้ ในการทดสอบนี้ ประกอบด้วยโลหะ 3 ชนิดซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับสารระเหยที่เป็นพิษ ได้แก่ เงิน (Ag) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) ซึ่งโลหะทั้ง 3 ประเภทจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็กเสียบเข้ากับจุกยางของหลอดทดลอง ภายในหลอดทดลองจะมีตัวอย่างของวัสดุตามขนาดที่กำหนดกับหลอดขนาดเล็กบรรจุน้ำ เพื่อจำลองสรุปของพื้นที่ภายในตู้จัดแสดงหรือบรรจุภัณฑ์จัดเก็บวัตถุ จากนั้นหลอดทดลองจะถูกนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจะนำแผ่นทั้ง 3 ประเภท มาตรวจสอบผลด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยที่มีการประเมินผล P (ผ่าน) T (ชั่วคราว) และ F (ไม่ผ่าน)

ในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) มีวิธีการทดลองดังนี้ การเตรียมแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เงิน (Ag) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) โดยตัดให้มีขนาดกว้าง X ยาวเท่ากับ 0.30 X 2.00 เซนติเมตร จากนั้นหนีบแผ่นโลหะเข้ากับจุกแอฟเพนดรอปและเสียบจุกเข้ากับหลอดทดลอง โดยภายในหลอดทดลองบรรจุกาว ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาวไข่แดง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ โดยแต่ละตัวใช้ปริมาตร 1.00 กรัม นอกจากนี้ยังใช้กรดอะซิติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์อีกด้วย โดยปีเปตสารละลายกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 15.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ปริมาตร 1.00 mL. ลงในหลอดทดลอง สำหรับแผ่นโลหะอ้างอิงจะมีการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.00 mL. ลงในหลอดทดลอง จากนั้น บรรจุหลอดแก้วขนาดเล็กสำหรับเติมน้ำกลั่นมีจุกสำลีอุดไว้ เพื่อควบคุมความชื้น จากนั้นปิด

ฝาและเขียนชื่อตัวอย่างด้านข้างหลอดทดลอง ทำการพันแผ่นพาราฟิล์มบริเวณฝาหลอดทดลองเพื่อป้องกันความชื้น แสดงดังรูปที่ 3.11



**รูปที่ 3.11** การเตรียมแผ่นโลหะใส่หลอดทดลอง

เมื่อเตรียมแผ่นโลหะใส่หลอดทดลองเรียบร้อยแล้ว นำหลอดทดลองเข้าตู้อบตั้งค่าอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28 วัน เพื่อควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาภายใต้สภาวะเร่ง แสดงดังรูปที่ 3.12 จากนั้นเมื่อครบกำหนดจึงนำหลอดทดลองออกจากตู้อบเพื่อทำการประเมินการทดสอบต่อไป



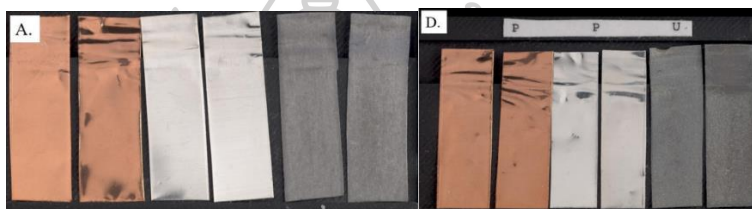
**รูปที่ 3.12** การนำหลอดทดลองเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 28 วัน

การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นวิธีการประเมินผลการทดสอบ Oddy โดยมีเกณฑ์การประเมินผลการทดสอบแผ่นโลหะสามชนิดที่ขึ้นอยู่กับการกัดกร่อนที่สังเกตได้หลังจากช่วงเวลาที่ได้รับสารระเหย วัสดุที่ผ่านการทดสอบจะถูกจัดประเภทแบ่งเป็น 3 ระดับโดยเทียบกับแผ่นโลหะควบคุม ดังนี้

เกณฑ์ที่หนึ่ง ได้รับผลการทดสอบ “P” Permanent แผ่นโลหะไม่ปรากฏร่องรอยการกัดกร่อน หมายความว่าวัสดุดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับใช้ระยะยาว โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบสามารถใช้ในงานนิทรรศการมรดกทางวัฒนธรรมได้นาน ไม่เป็นอันตรายต่องานศิลปะ

เกณฑ์ที่สอง ได้รับผลการทดสอบ “T” Temporary แผ่นโลหะปรากฏคราบร่องรอยการกัดกร่อน สีเข้มขึ้น มีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีจุดต่างดำจำนวนเล็กน้อยอันเกิดจากการสีกร่อนไปเล็กน้อย หมายความว่าวัสดุตัวอย่างสามารถนำมาใช้งานได้ชั่วคราว ในระยะเวลา 3 ถึง 6 เดือน จะไม่ทำให้เกิดความอันตรายต่องานศิลปะ

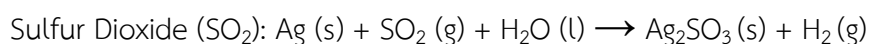
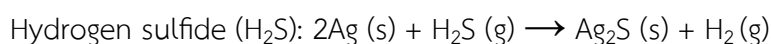
เกณฑ์ที่สาม ได้รับผลการทดสอบ “U” Unsuitable แผ่นโลหะปรากฏคราบ ร่องรอยการกัดกร่อนสีที่เข้มขึ้นโดยเปลี่ยนแปลงชัดเจนหรือมีการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้น ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน หมายความว่าไม่แนะนำให้ใช้ โดยเฉพาะในงานมรดกทางวัฒนธรรม เนื่องจากมีความเป็นอันตรายต่องานศิลปะ



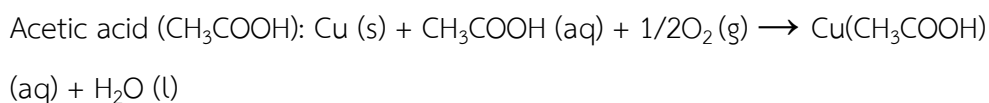
รูปที่ 3.13 ลักษณะแผ่นโลหะที่ได้รับการทดสอบ Oddy (A) แผ่นโลหะควบคุม (D) แผ่นโลหะหลังการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงสีและได้รับการประเมิน

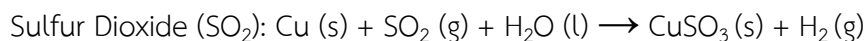
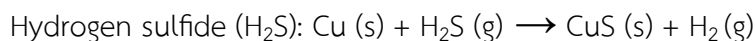
สำหรับการกัดกร่อนบนแผ่นโลหะแต่ละชนิดที่จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสารระเหยที่ปล่อยปปล่อยออกมาจากวัสดุขณะที่สภาวะแรง ได้แก่ แผ่นเงินไว้สำหรับตรวจจับสารประกอบกำมะถันและคาร์บอนิลซัลไฟด์ แผ่นตะกั่วใช้สำหรับตรวจจับกรดอินทรีย์ อัลดีไฮด์ และก๊าซที่เป็นกรด แผ่นทองแดงใช้สำหรับตรวจจับสารประกอบคลอไรด์ ออกไซด์และกำมะถัน ตัวอย่างสมการทางเคมีที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะเงินกับสารประกอบกำมะถันและคาร์บอนิลซัลไฟด์ เช่น

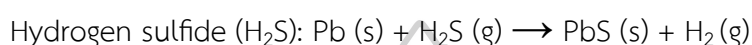
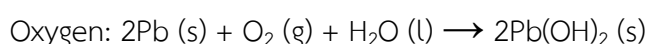


ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะทองแดงกับสารประกอบคลอไรด์และก๊าซที่เป็นกรด เช่น





ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะตะกั่วกับกรดอินทรีย์และกำมะถัน เช่น



สำหรับการถ่ายรูปเพื่อประเมินผลการทดสอบ Oddy ทำได้โดยนำแผ่นโลหะมาวางบนผ้ากำมะหยี่สีดำ โดยมี Color Checker หรือชาร์จสีเพื่อใช้สำหรับปรับสีให้ตรงความสีจริงของแผ่นโลหะ และใช้คอมพิวเตอร์อ่านหนังสือจำนวน 2 ตัวเพื่อให้แสงสว่างแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การถ่ายรูปแผ่นโลหะ (A) แผ่นโลหะควบคุม (B) แผ่นโลหะที่มีการบรรจุตัวอย่างกำมะขาม

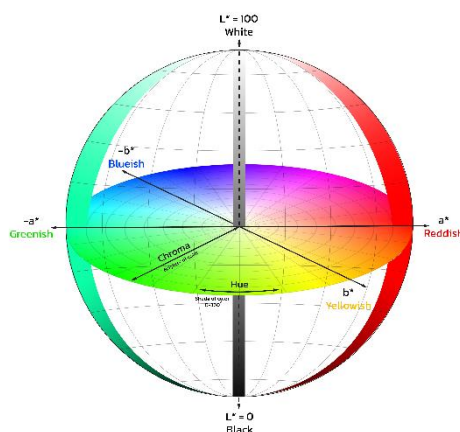
### 3.5.2 การวิเคราะห์ทางเคมีควบคู่กับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ในการวิเคราะห์ทางเคมีควบคู่กับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual examination) เป็นการประเมินผลแผ่นโลหะแต่ละชนิดเทียบกับแผ่นโลหะอ้างอิง โดยการให้คะแนนการทดสอบ ได้แก่ ผ่าน (P) ชั่วคราว (T) และไม่ผ่าน (U) ซึ่งการประเมินด้วยสายตาเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ ในการทดลองนี้จึงทำการวัดค่าสี ( $L^*a^*b$ ) ของแผ่นโลหะด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อความแม่นยำในการประเมินผลร่วมด้วย

นอกจากนี้ ยังมีการประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับไปการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึงทศนิยม 5 ตำแหน่ง และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของแผ่นโลหะ เช่น การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Analysis) และการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope อีกทั้งยังทำการวัดความเงาด้วย Gloss meter เพื่อประเมินการเกิดสนิมที่พื้นผิวของแผ่นโลหะอีกด้วย

### 3.5.2.1 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวัดค่าสีของแผ่นโลหะ

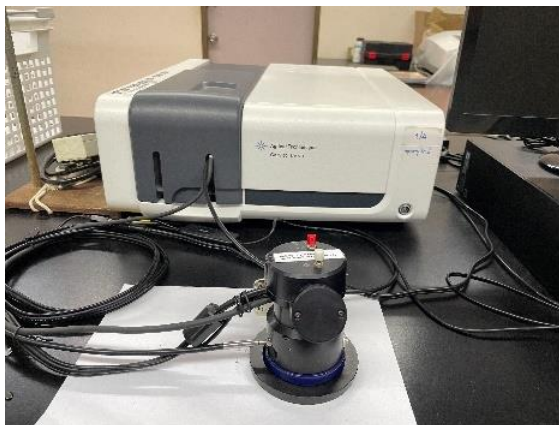
การวัดค่าสีของแผ่นโลหะจะใช้ระบบ CIE ที่เป็นมาตรฐานในการบ่งบอกถึงค่าสีโดยจะวิเคราะห์ออกมา 3 ค่าได้แก่  $L^*$   $a^*$   $b^*$  โดยความหมายของแต่ละค่าก็คือ แกน  $L^*$  คือความสว่าง (Lightness) ที่จะมีระยะตั้งแต่ 0 -100 โดยที่ 100 คือสีขาวสุดและแกน  $a^*$  จุดไกลสุดของสีเขียว ( $-a^*$ ) จนถึงจุดไกลสุดของสีแดง ( $+a^*$ ) แกน  $b^*$  จุดไกลสุดของสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) จนถึงจุดไกลสุดของสีเหลือง ( $+b^*$ ) นอกจากนี้มาตรวัด CIE ปกติ ยังมีค่า  $C^*$   $h$  ซึ่งค่า  $C^*$  หมายถึงค่าความเข้ม หรือค่าความสดของสี (Chroma) ถ้ามีค่ามาก แสดงว่าสีมีความสดมากและค่านี้จะไม่มีความบิดเบือน เพราะเป็นค่าที่อ้างอิงจากจุดกึ่งกลางของซาร์ท และค่า  $h$  คือมุมของสี โดยค่านี้จะทำหน้าที่ในการบอกเฉดของสี โดยอ้างอิงจากเส้นรอบวงของเฉดสี (โดยนับเป็นองศา 0 – 360) โดยจุดเริ่มของ 0 องศา จะเริ่มต้นที่สีแดงไปสีส้มและวนไปเฉดน้ำเงิน ก่อนจะมาถึง 359 องศา ก่อนจะกลับมา 0 อีกครั้ง แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.15 แผนภาพค่าสีในระบบ CIE

ในการวัดค่าสีของแผ่นโลหะทำได้โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer และอุปกรณ์เสริมสำหรับวัดค่าสีแสดงดังรูปที่ 3.15 เปิดเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และคอมพิวเตอร์ เลือกโปรแกรม Color จากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยเลือกโหมด CIE D65 และเลือกค่าที่ต้องการวัดได้แก่  $L^*a^*b^*$  และ C H จากนั้นทำการกด Scan Blank ต่อมานำแผ่นโลหะมาวางบนกระดาษ A4 สีขาว

จากนั้นนำอุปกรณ์วางบนแผ่นโลหะ โดยให้ช่องที่แสงจากเครื่องตรงกับแผ่นโลหะและกด Scan ตัวอย่าง โดยแผ่นโลหะแต่ละตัวจะถูกวัดค่าสีทั้งด้านหน้าและหลัง นอกจากนี้ยังวัดค่าสีของแผ่นโลหะ ก่อนที่จะไปทำการทดสอบ Oddy และหลังจากทดสอบแล้ว เพื่อเปรียบเทียบค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.16 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer

### 3.5.2.2 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะ

การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะ ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะ ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ทองแดง เงิน และตะกั่ว ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักแต่ละแผ่นก่อนนำไปทดสอบ Oddy และเมื่อทดสอบเสร็จทำการชั่งน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์น้ำหนักที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น โดยทำการชั่งน้ำหนัก 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงถึงทศนิยม 5 ตำแหน่งแสดงดังรูป ที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องชั่งน้ำหนัก

### 3.5.2.3 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแผ่นโลหะ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของแผ่นโลหะ ทำได้โดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในการถ่ายภาพ แผ่นโลหะแสดงดังรูปที่ 3.18 โดยมีวิธีการทดลองดังนี้ เปิดกล้องจุลทรรศน์และคอมพิวเตอร์ จากนั้นวางแผ่นโลหะบนกระดาษ A4 สีขาว ปรับแสงไฟจากกล้องจุลทรรศน์ให้สว่างพอดีและปรับเลนส์กล้องให้โฟกัสแผ่นโลหะและซูมไปที่พื้นผิวบริเวณปลายด้านล่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด จากนั้นตั้งค่าขนาดรูปให้ตรงกับเลนส์ซูมที่กล้องจุลทรรศน์โดยใช้สเกลที่ 300 nm. และ 700 nm. การซูมที่ 1.0X และ 2.0X จากนั้นกด Snap เพื่อถ่ายรูป โดยถ่ายรูปทั้งด้านหน้าและหลัง นอกจากนี้ยังถ่ายภาพลักษณะการวางแผ่นโลหะทั้งแนวตั้งและนอนอีกด้วย



รูปที่ 3.18 การถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)

### 3.5.2.4 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวัดความเงาของแผ่นโลหะ

การวัดความเงาของแผ่นโลหะ จะอาศัยเครื่องวัดความเงา (Gloss meter) โดยเครื่องจะมีแหล่งกำเนิดแสง (Light source) เพื่อปล่อยแสงไปยังพื้นผิวของตัวอย่างโดยทำมุมตกกระทบที่ 60 องศา จากนั้นจะเกิดการสะท้อนของแสง (Specular reflection) กลับไปในทิศทางเดียวกับมุมตกกระทบ ถ้าหากตัวอย่างมีพื้นผิวเรียบและเงามาก (Glossy) ค่าการสะท้อนก็จะมากเช่นกัน โดยตัวเครื่องจะสามารถตรวจวัดค่าเงาได้จากปริมาณแสงที่สะท้อนกลับมายังตัวตรวจวัด (Detector) โดยเปรียบเทียบกับแผ่นกระจกดำที่ใช้เป็นวัสดุอ้างอิงที่มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 95 GU แสดงดังรูปที่ 3.19

การวัดความเงาของแผ่นโลหะ ทำได้โดยเปิดเครื่องวัดความเงาใส่ถ่านขนาด AA จำนวน 1 ก้อนในช่องด้านข้างเครื่องและกดปุ่มเปิดเครื่อง จากนั้นกดไปที่ปุ่มเครื่องหมายถูกเลือกโหมด Calibration เพื่อทำการสอบเทียบของเครื่องบนแผ่นแก้วสีดำ เมื่อสังเกตเห็นคำว่า Pass และค่าที่ได้เป็น 95 GU

หมายความว่าผ่านและเริ่มทดสอบวัสดุได้โดยนำแผ่นโลหะวางบนกระดาษ A4 สีขาวและวางเครื่องวัดความเงาให้รู้ให้แสงตรงกับแผ่นโลหะในแนวนอน จากนั้นก็ปุ่มวัดที่อยู่ด้านข้างของเครื่องและอ่านค่าความเงา ทำการทดลองทั้งด้านหน้าและหลังของแผ่นโลหะ รวมทั้งวัดความเงาของแผ่นโลหะก่อนนำไปทดสอบ Oddy และหลังจากทดสอบแล้วเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.19 เครื่องวัดความเงา (Gloss meter)

### 3.5.2.5 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวัดค่านำไฟฟ้าของแผ่นโลหะ

การวัดค่าการนำไฟฟ้าจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลซิส โดยการวิเคราะห์ด้วย Cyclic Voltammetry (CV) เป็นวิธีวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่อาศัยการวัดกระแสไฟฟ้าที่เป็นปริมาณที่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุทำงาน (Working electrode, WE) ทำการทดลองได้โดยเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Autolab หรือเครื่อง Voltammetric analyzer จากนั้นเรื่องโปรแกรมและตั้งค่าศักย์ไฟฟ้า (Potential sweep) เท่ากับ 0.3 ถึง -0.3 V Scan rate เท่ากับ 1 จากนั้นเตรียมอุปกรณ์ได้แก่ ถ้วยแก้วและฝาปิดแบบมีรู เสียบเข้ากับขาตั้ง เทสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Supporting electrolyte) 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้า (Electrode) เข้ากับปากหนีบสายไฟและจุ่มขั้วไฟฟ้าลงในสารละลายผ่านรูที่มีฝาปิด โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode, WE) เป็นแผ่นโลหะ ได้แก่ แผ่นทองแดง แผ่นเงิน และแผ่นตะกั่ว ในส่วนขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode, RE) ให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ เช่น Ag/AgCl นอกจากนี้เพื่อให้ไฟฟ้าไหลครบวงจรมีการใช้ (Counter electrode, CE) ได้แก่ ขั้ว Pt เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าครบแล้วแสดงดังรูปที่ 3.18 จากนั้นทำการบันทึกชื่อตัวอย่างที่จะวัดในโปรแกรมและกด Scan จากนั้นจะได้กราฟที่ปรากฏเรียกว่า Cyclic voltammogram ที่พล็อตระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (Potential, V) ในแกน X และค่ากระแสไฟฟ้า (Current, A) บนแกน Y เมื่อเครื่องวัดเสร็จแล้วจะปรากฏคำว่า Stop ที่หน้าจอ ให้เอาขั้วไฟฟ้าทำงานที่เป็นแผ่นโลหะออก จากนั้นใช้ทิชชูเช็ดสารละลายให้สะอาดและใช้ปากกาเมจิกขีดเส้นบริเวณรอยต่อในส่วนที่ถูกจุ่ม เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณพื้นที่การกัดกร่อนต่อไปและทำการทดลองเช่นเดิมจนครบ



รูปที่ 3.20 การทดสอบการนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะ

### 3.5.3 การทดสอบการถอดออก (การนำออก หรือการทำความสะอาดออก)

ขั้นตอนการเตรียมผ้าใบสำหรับใช้เป็นชิ้นงานจำลอง ทำได้โดยตัดแผ่นใสและผ้าใบให้มีขนาดเท่ากัน 3.0X8.0 เซนติเมตร จากนั้นกรีดแผ่นใสให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.0X1.0 เซนติเมตร ทั้งด้านซ้ายและขวา นำแผ่นใสวางบนผ้าใบและกรีดให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมโดนไม่ต้องกรีดให้ผ้าใบขาด แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การเตรียมชิ้นงานผ้าใบจำลองสำหรับการทากาว

การเตรียมกาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนัง กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 35%w/w ซึ่กาวหนัก 3.5XX กรัม ใส่ขวดแก้วขนาดเล็ก เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร สำหรับกาวที่มีความหนืดมากจะปรับความเข้มข้นลดลงเป็น 7%w/w เช่น กาวมะขาม นอกจากนี้ กาว PVA และกาว CMC ปรับความเข้มข้นเป็น 5%w/w จากนั้นบรรจุ Magnetic bar และนำไปละลายบน Magnetic stirrer เมื่อกาวละลายแล้ว ใช้หลอดหยดดูดสารละลายระหว่าง กาว:น้ำกลั่น อัตราส่วน 1:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการใช้ในงานจิตรกรรมคือกาว 7 หยดต่อน้ำกลั่น 7 หยด ลงในโถรงบดยาและบดให้เข้ากันแสดงดังรูปที่ 3.22 จากนั้นใช้ฟู่กันขนาดเล็กกุ่มกาวมาทาบนผืนผ้าใบให้เต็มช่องสี่เหลี่ยมที่กรีดเป็นขอบเขตไว้แสดงดังรูปที่ 3.23



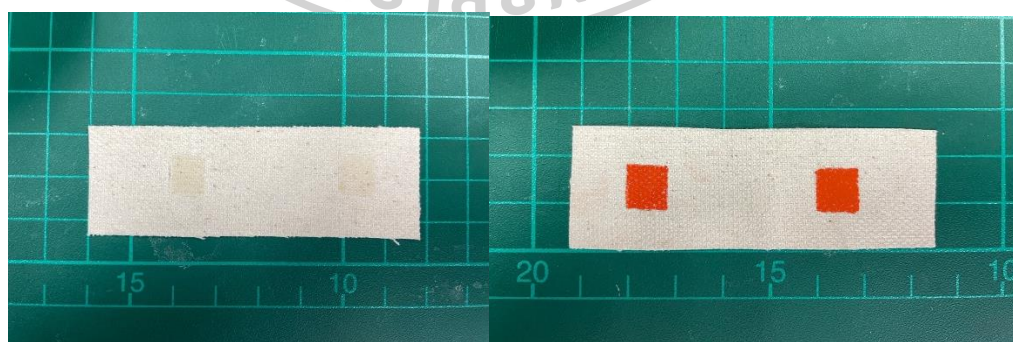
**รูปที่ 3.22** การเตรียมกาว

สำหรับกาวที่ผสมผงสีจะใช้อัตราส่วนระหว่าง กาว:น้ำกลั่น:ผงสี 1:1:1 โดยผงสีจะใช้ปริมาณหนึ่งหัวไม้ขีดไฟลงในโถรงบดยาและบดให้เข้ากันแสดงดังรูปที่ 3.22 จากนั้นใช้พู่กันขนาดเล็กจุ่มกาวมาทาบนผืนผ้าใบให้เต็มช่องสีเหลี่ยมที่กรีดเป็นขอบเขตไว้แสดงดังรูปที่ 3.24



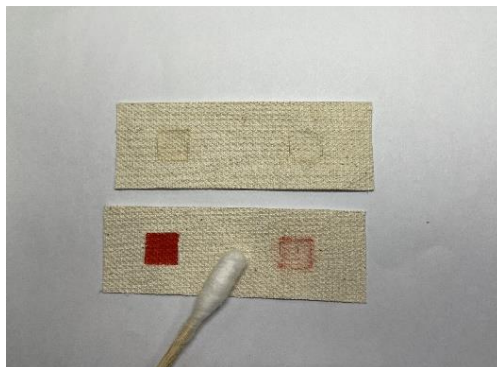
**รูปที่ 3.23** การเตรียมกาวผสมกับสี

เมื่อกาวลงบนผ้าใบเสร็จแล้วรอให้แห้ง โดยให้ช่องสีเหลี่ยมที่ 1 เป็นการทดสอบอ้างอิง ช่องที่ 2 เป็นส่วนที่จะทำการทดสอบการถอดออก



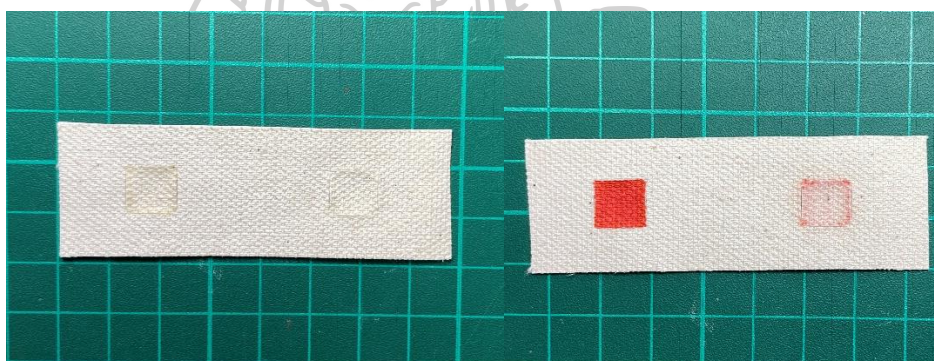
**รูปที่ 3.24** การทากาวลงบนผืนผ้าใบ

การทดสอบการถอดออกมีวิธีการทดลองดังนี้ ใช้สำลีพันด้ามไม้แหลมจากนั้นชุบน้ำกลั่นแช่ลงบนผืนผ้าใบ เมื่อสำลีสกปรกจึงเปลี่ยนสำลีใหม่และเช็ดจนกว่าสำลีจะสะอาดแสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การทดสอบการถอดออก (Cleaning)

จากนั้นถ่ายรูปเพื่อเปรียบเทียบบริเวณที่ทำความสะอาดกับบริเวณที่ยังไม่ได้ทำความสะอาด เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทำความสะอาด ถ้าหากกาาชนิดใดสามารถถอดออกได้หมด แสดงว่ามีความเหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.26 การเปรียบเทียบบริเวณอ้างอิงและบริเวณที่ถูกถอดออก

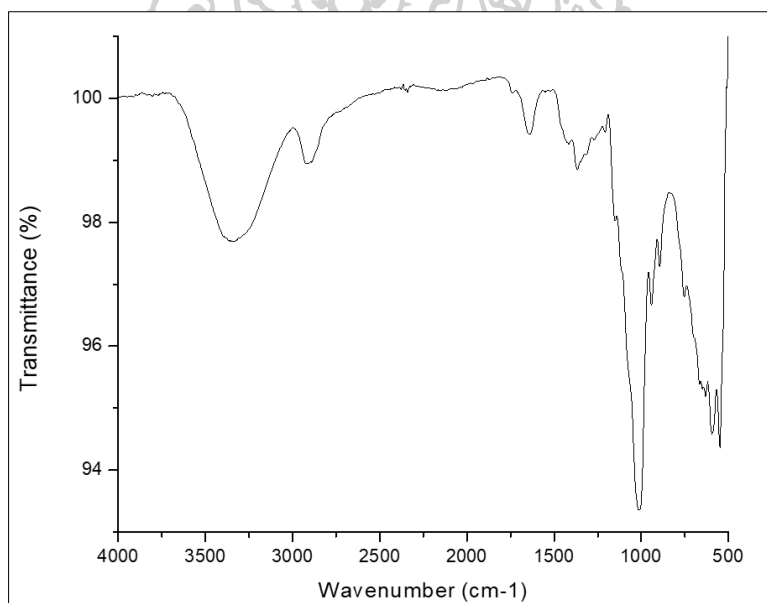
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง

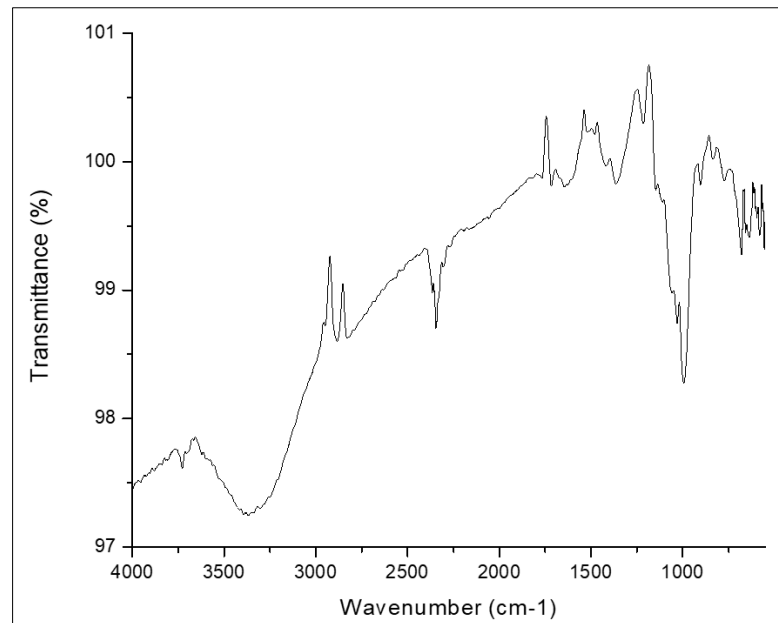
#### 4.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกาวยธรรมชาติ

##### 4.1.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของกาว

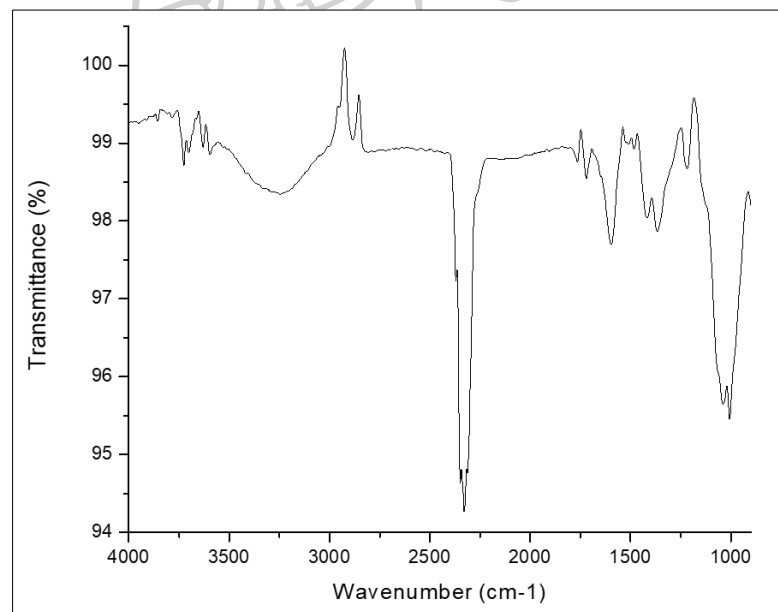
จากการนำตัวอย่างกาวจำนวน 11 ตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR-ATR ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย ประหยัดเวลาและสามารถนำตัวอย่างกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในรูปแบบสเปกตรัม (Spectrum) เป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่าง %T (Transmittance) และเลขคลื่น (Wavenumber,  $\text{cm}^{-1}$ ) กราฟสเปกตรัมแสดงดังรูปที่ 4.1-4.11 ระบุเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของกาวต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1



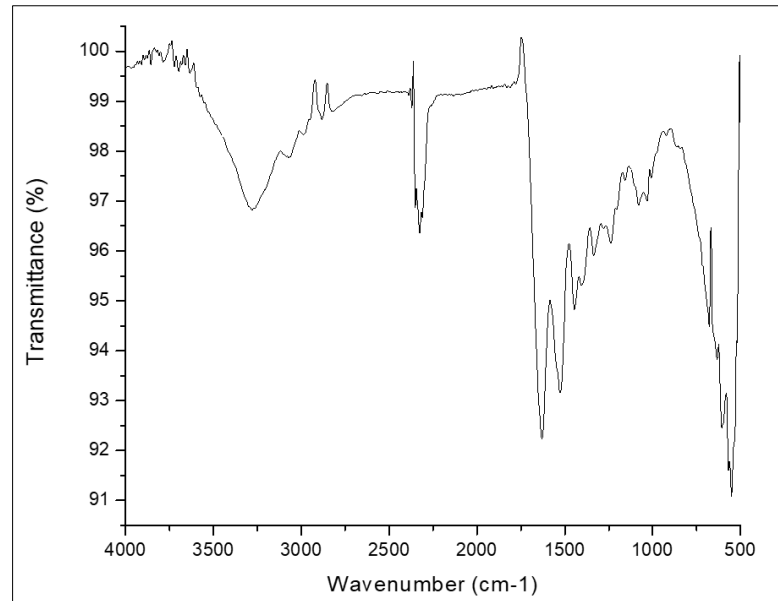
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวมะขาม



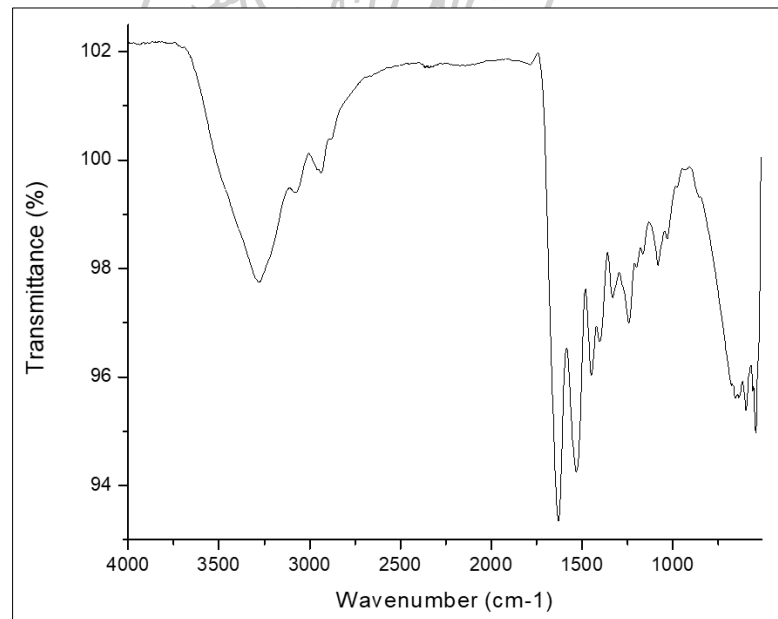
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวยะถิ่น



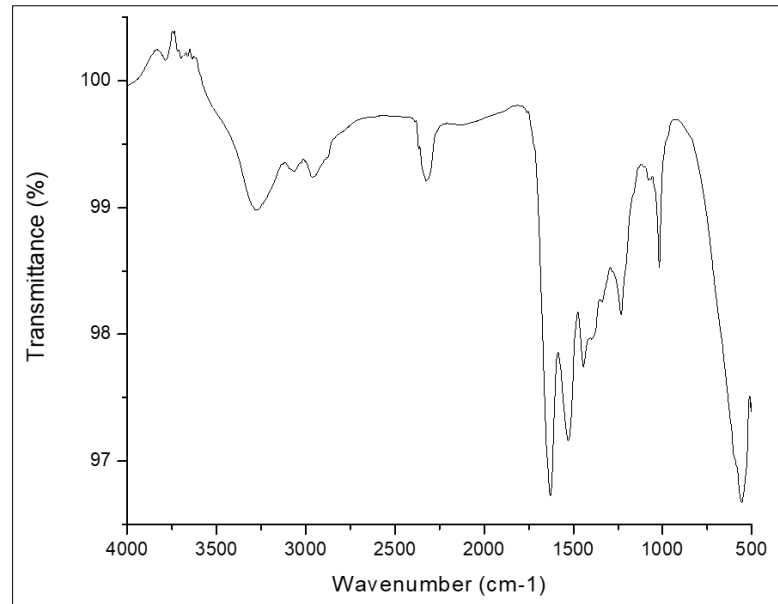
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของมะขวิด



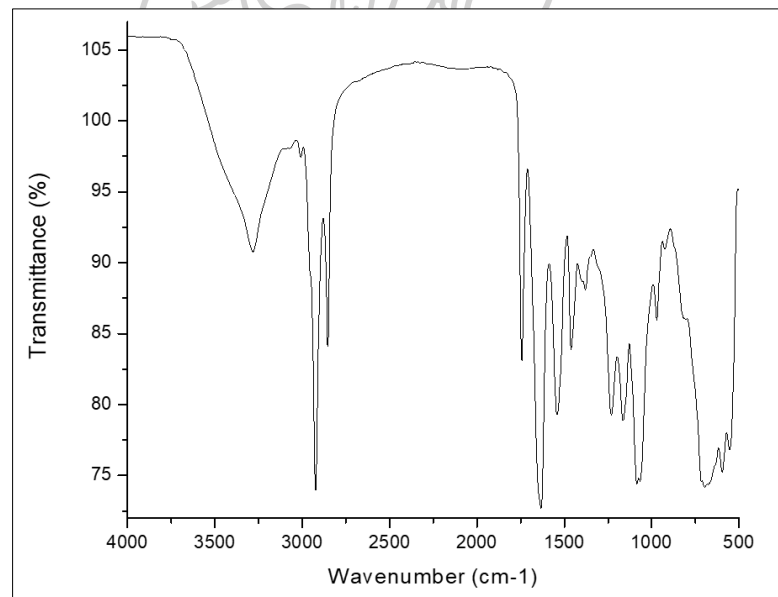
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวหนังควาย



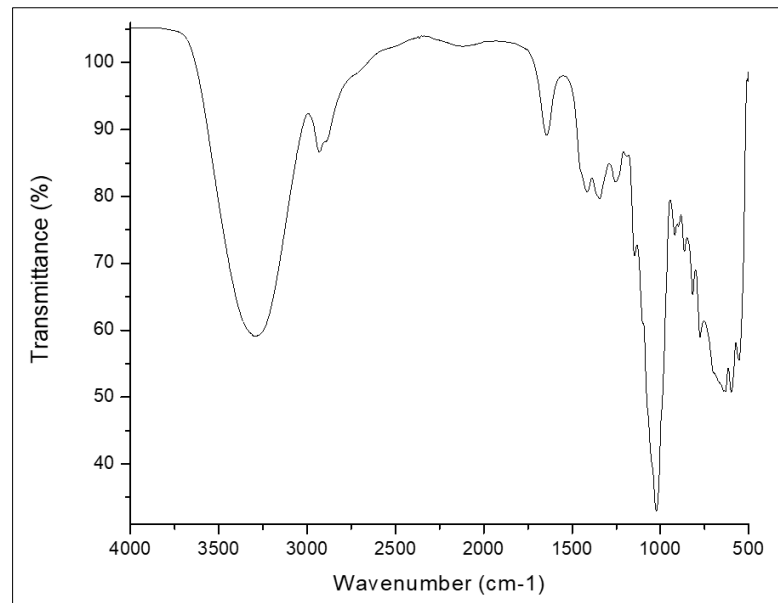
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวหนังวัว



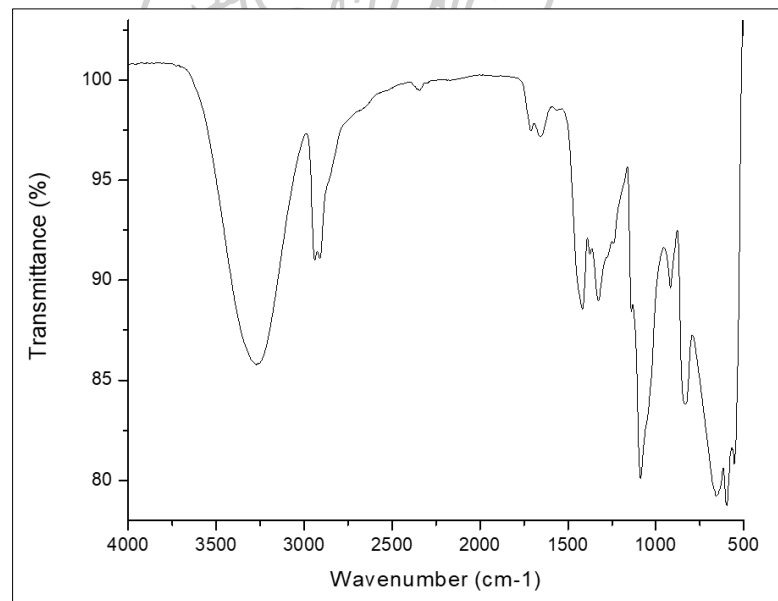
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวเจลาติน



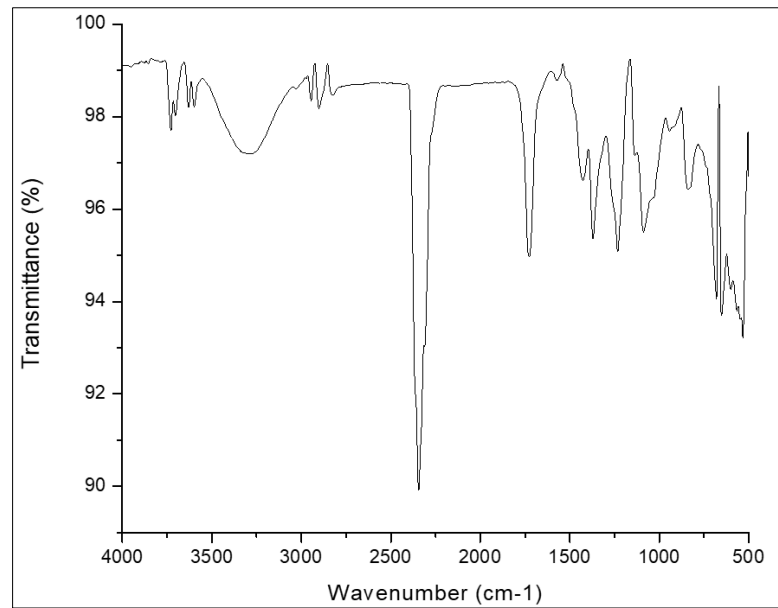
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวไข่แดง



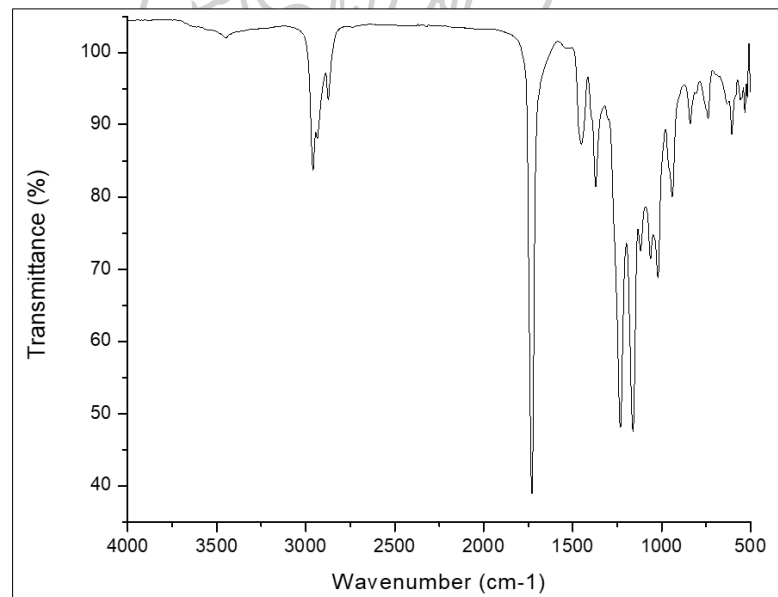
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวน้ำผึ้ง



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาว PVA



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาว CMC



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวเมทีลอะครีเลต

จากกราฟสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Infrared spectrum) ของกาวแต่ละชนิด สามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างได้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของกาว

ตัวอย่าง	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
กาวมะขาม	3346	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	2913	C-H stretching	แอลเคน
	1640	C=O stretching	เอสเทอร์
	1365	O-H bending	กรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล
	1148	C-O stretching	3° แอลกอฮอล์
กาวกระถิน	3284	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	2879 และ 2814	C-H stretching	แอลเคน
	2344	O=C=O stretching	คาร์บอนไดออกไซด์
	1765 และ 1716	C=O stretching	เอสเทอร์
	1625, 1520, 1475	C-H bending	แอลเคน
	1421, 1357, 1213 และ 1150	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวมะขวิด	3724 และ 3698	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3629 และ 3594	C-H stretching	แอลเคน
	2883	C-H stretching	แอลเคน
	2328	C=O stretching	เอสเทอร์
	1765, 1720 และ 1595	C=C stretching	วงอะโรมาติก
	1481, 1417, 1367 และ 1217	C-H bending	แอลเคน
	1039 และ 1906	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวหนังควาย	3280	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3056, 2974, 2883 และ 2810	C-H stretching	แอลดีไฮด์
	2362, 2353 และ 2326	C=C stretching	แอลเคน
	1630	C=C stretching	แอลคีน
	1529, 1443, 1402, 1333	C-H bending	แอลเคน

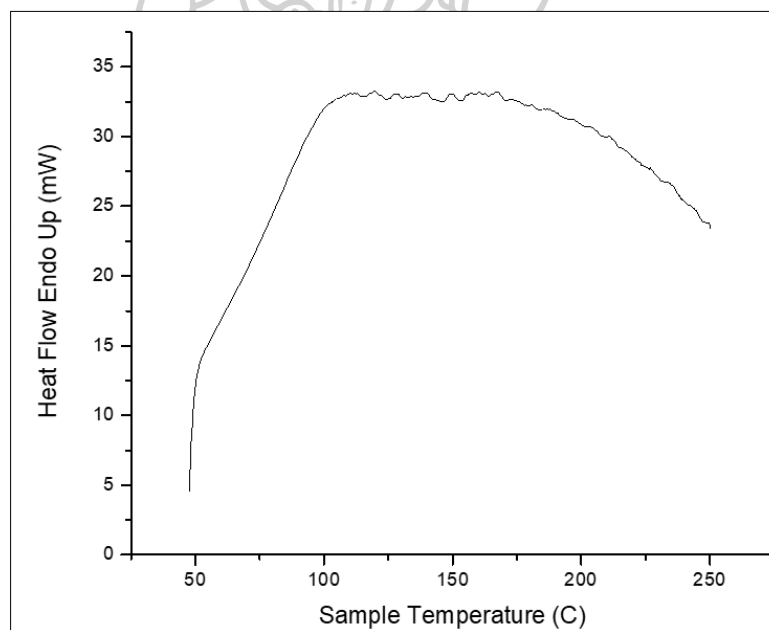
ตัวอย่าง	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
	1277, 1236, 1204, 1155, 1079, 1030, 1008	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวหนังวัว	3280	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3081, 2935 และ 2875	C-H stretching	แอลดีไฮด์
	1629	C=C stretching	แอลคีน
	1532, 1447 และ 1400	C=C stretching	แอลเคน
	1331, 1241, 1198, 1163, 1079, 1030 และ 974	C-H bending	แอลเคน
	654, 596, 542, 497 และ 488	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวเจลาติน	3784 และ 3700	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3278	N-H stretching	เอมีน
	3071 และ 2957	C=C stretching	แอลคีน
	2324	O-H bending	กรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล
	1629, 1529, 1443, 1339 และ 1232	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวไข่แดง	3282	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3068 และ 3008	N-H stretching	เอมีน
	2923 และ 2853	C=O stretching	เอสเทอร์
	1743, 1633, 1541, 1461, 1378	C=C stretching	แอลเคน
	1231, 1163, 1084 และ 1066	O-H bending	กรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล
	970, 922, 696, 596, 553 และ 471	C-O stretching	เอสเทอร์
กาวน้ำผึ้ง	3291	O-H stretching	แอลกอฮอล์

ตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
	2930	C-H stretching	แอลเคน
	1642	C=C stretching	แอลคีน
	1415, 1344, 1254 และ 1146	O-H bending	กรดคาร์บอกซิลิก
	1023	C-O stretching	เอสเทอร์
กาว PVA	3270	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	2939 และ 2909	C-H stretching	แอลเคน
	2340	O=C=O stretching	คาร์บอนไดออกไซด์
	1709 และ 1653	C=O stretching	เอสเทอร์
	1417, 1376, 1326, 1238 และ 1137	O-H bending	แอลกอฮอล์
	1086	C-O stretching	เอสเทอร์
กาว CMC	3724, 3706, 3625 และ 3599	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	3284	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	2952, 2905 และ 2827	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	2344	C-H stretching	แอลเคน
	1727	O=C=O stretching	คาร์บอนไดออกไซด์
	1570, 1426, 1370 และ 1232	C=O stretching	เอสเทอร์
	1137, 1088, 1026, 944 และ 828	C=C stretching	แอลคีน
	680, 652, 602, 556, 532, 475 และ 492	O-H bending	กรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	2959 และ 2873	O-H stretching	แอลกอฮอล์
	1729	C-H stretching	แอลเคน
	1451 และ 1371	C=O stretching	แอลดีไฮด์
	1232 และ 1161	C-H bending	แอลเคน

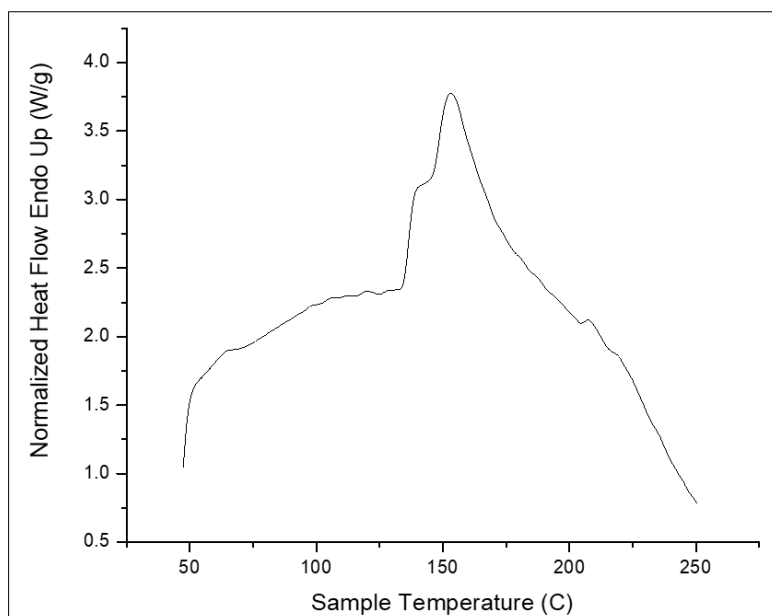
ตัวอย่าง	เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	หมู่ฟังก์ชัน	หมายเหตุ
	1118, 1063 และ 1021	C-O stretching	เอสเทอร์
	941, 840, 804, 739, 606, 532, 501 และ 476	C-O stretching	เอสเทอร์

#### 4.1.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกาว

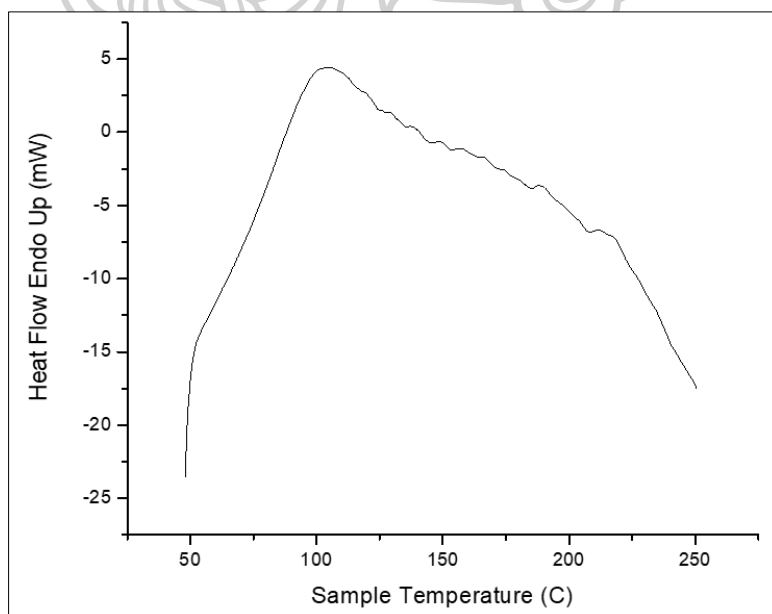
จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของตัวอย่างกาวทั้ง 11 ตัวอย่าง ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ถูกรายงานผลในรูปของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature,  $T_c$ ) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ( $\Delta H$ ) แสดงดังรูปที่ 4.12-4.22 และตารางที่ 4.2



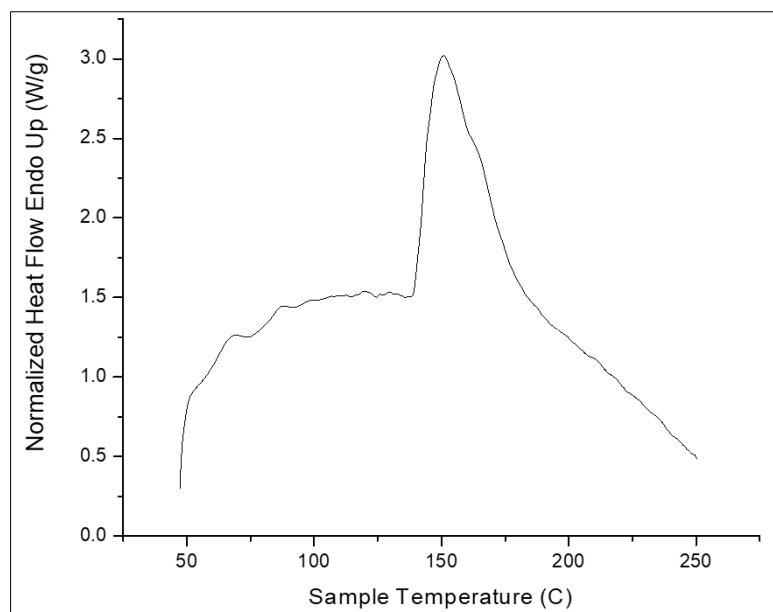
รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะขาม จากรูปที่ 4.12 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของกาวมะขามมีค่าเท่ากับ 79.40 องศาเซลเซียส



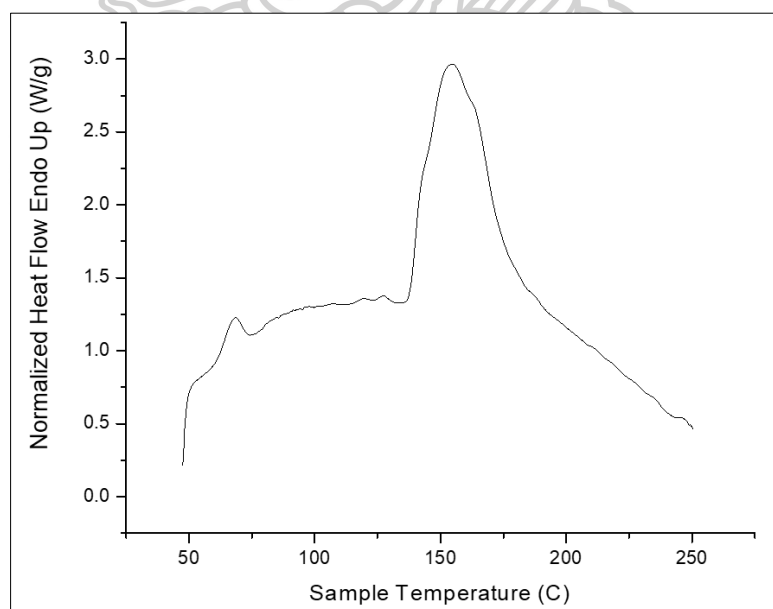
รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวกระถิน  
จากรูปที่ 4.13 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ  
กาวกระถินมีค่าเท่ากับ 70.16 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ )  
มีค่าเท่ากับ 138.85 และ 153.15 องศาเซลเซียส



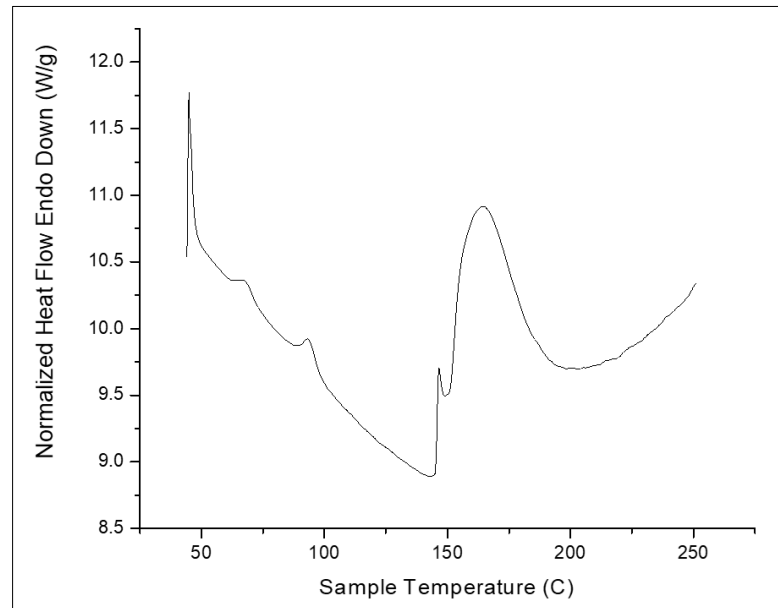
รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะขวิด  
จากรูปที่ 4.14 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ  
กาวมะขวิดมีค่าเท่ากับ 92.57 องศาเซลเซียส



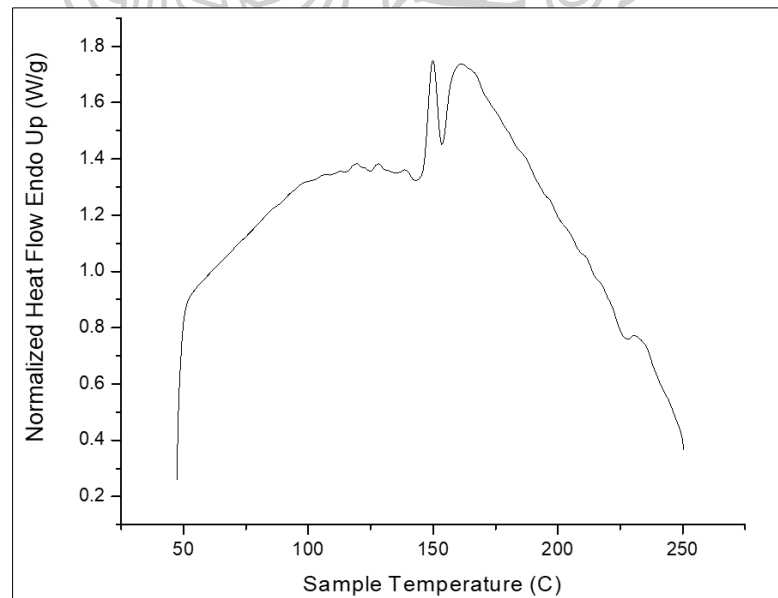
รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวหนังควาย จากรูปที่ 4.15 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของกาวหนังควายมีค่าเท่ากับ 63.52 และ 81.17 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) มีค่าเท่ากับ 150.96 และ 165.80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวหนังวัว จากรูปที่ 4.16 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของกาวหนังวัวมีค่าเท่ากับ 61.62 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) มีค่าเท่ากับ 154.62 องศาเซลเซียส

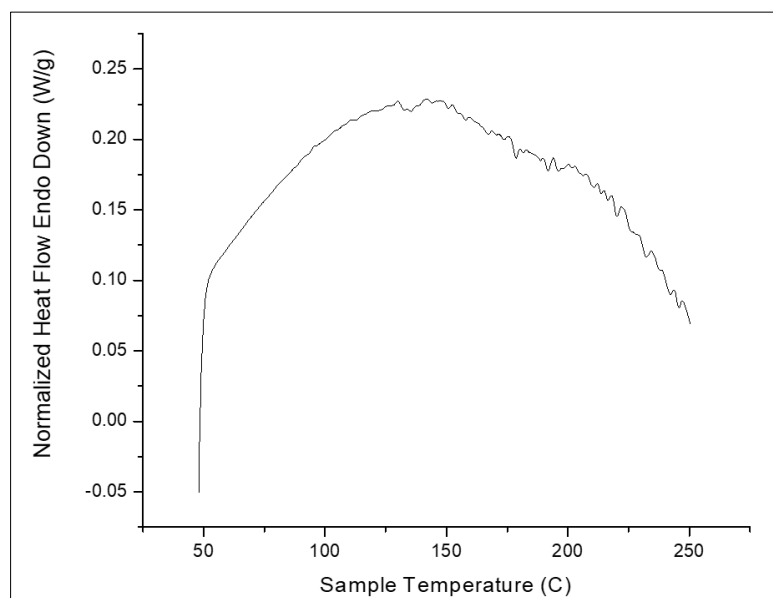


รูปที่ 4.17 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวเจลาติน จากรูปที่ 4.17 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของกาวเจลาตินมีค่าเท่ากับ 73.13 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) มีค่าเท่ากับ 146.42 และ 163.87 องศาเซลเซียส

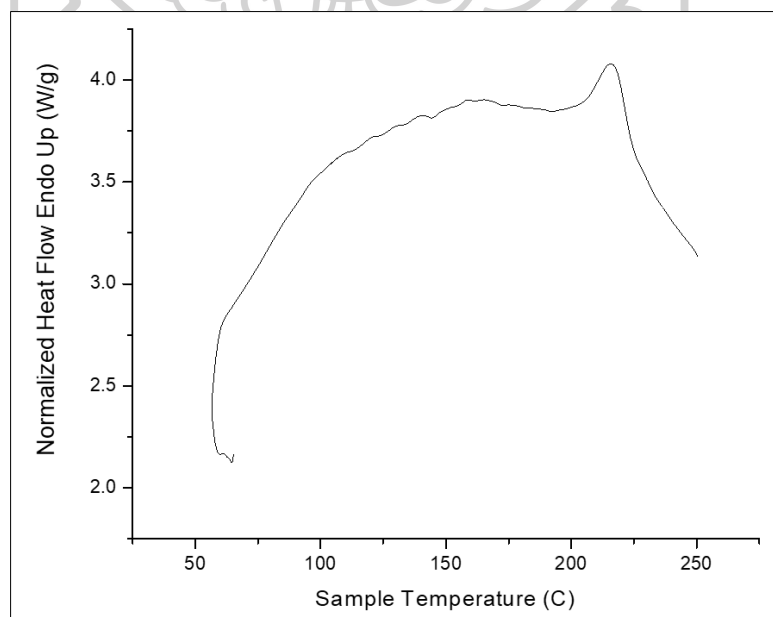


รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวไขแดง

จากรูปที่ 4.18 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) ของกาวไขแดงมีค่าเท่ากับ 149.81 และ 161.81 องศาเซลเซียสและไม่พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ )

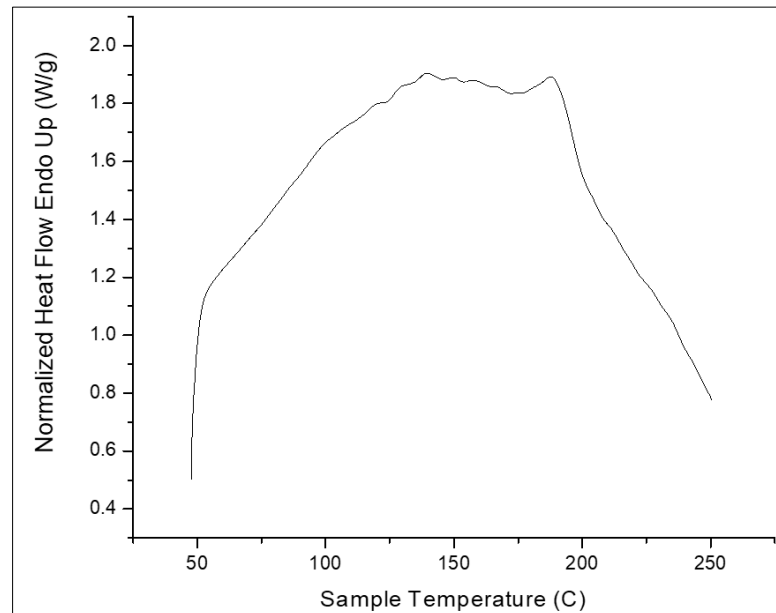


รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวน้ำผึ้ง  
จากรูปที่ 4.19 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) ของกาวน้ำผึ้งมีค่าเท่ากับ 135.62 และ 230.01 องศาเซลเซียสและไม่พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ )



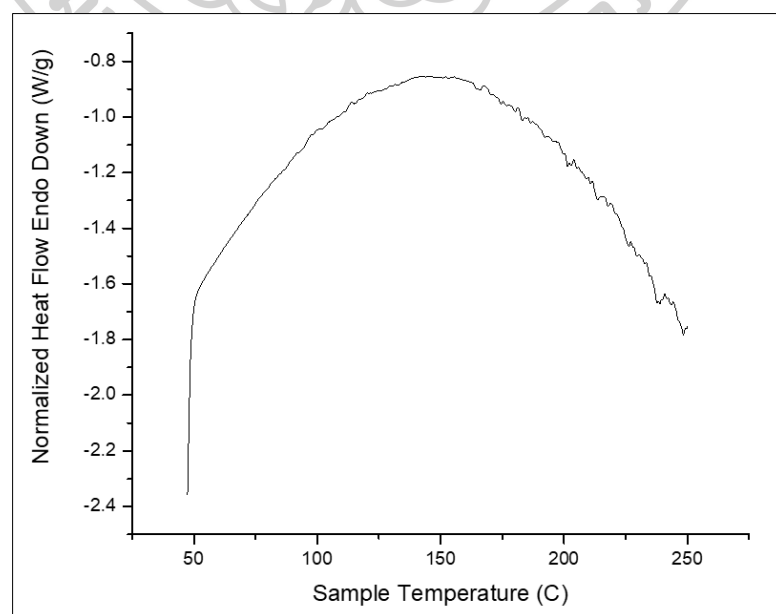
รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาว PVA

จากรูปที่ 4.20 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) ของกาว PVA มีค่าเท่ากับ 291.60 องศาเซลเซียสและไม่พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ )



รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาว CMC

จากรูปที่ 4.21 พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) ของกาว CMC มีค่าเท่ากับ 189.49 องศาเซลเซียสและไม่พบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ )



รูปที่ 4.22 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวมะเดื่อสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.22 พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ของ กาวมะเดื่อสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 73.13 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) มีค่าเท่ากับ 146.42 และ 163.87 องศาเซลเซียส

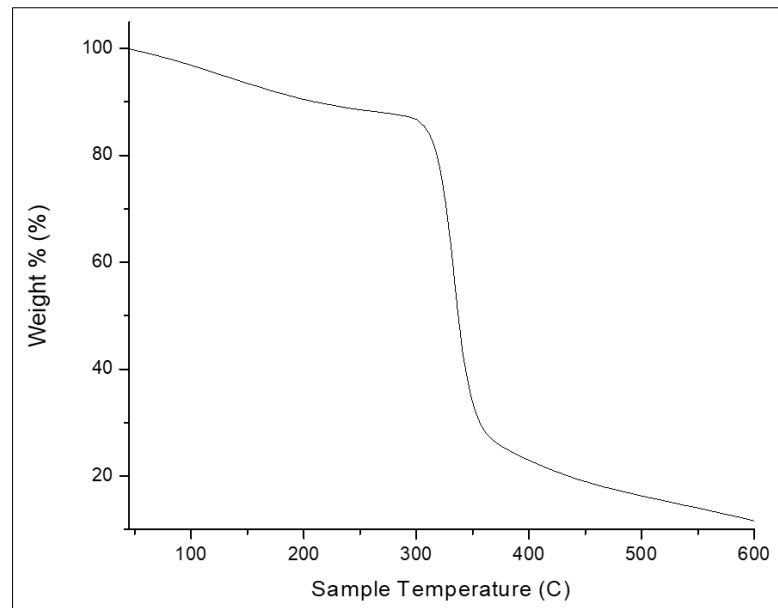
จากผลการวิเคราะห์เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงความร้อนของกาวแต่ละชนิดสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** แสดงผลการวิเคราะห์กาวด้วยเทคนิค DSC

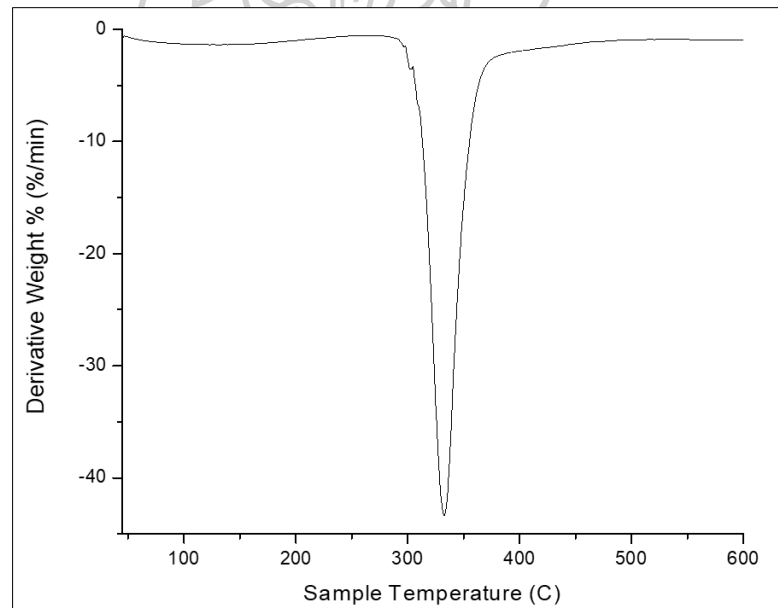
ตัวอย่าง	$T_{g1}$ (°C)	$T_{m1}$ (°C)	$\Delta H_{m1}$ (J/g)	$T_{m2}$ (°C)	$\Delta H_{m2}$ (J/g)
กาวมะขาม	79.40	-	-	-	-
กาวมะขวิด	92.57	-	-	-	-
กาวกระถิน	70.16	153.15,138.85	265.8145	208.98	9.9271
กาวหนังควาย	63.52,81.17	150.96	1.8699	165.80	236.163
กาวหนังวัว	61.62	154.62	282.2035	-	-
กาวเจลาติน	73.13	146.42	7.2814	163.87	156.5232
กาวไข่แดง	-	149.81	7.998	161.80	31.5806
กาวน้ำผึ้ง	-	135.62	-0.2733	230.01	-0.1311
กาว CMC	-	189.49	17.0196	-	-
กาว PVA	-	219.60	76.3763	-	-
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	48.65	184.84	21.4757	240.61	7.5995

#### 4.1.3 ผลการศึกษาความเสถียรต่อความร้อนและอุณหภูมิของการสลายตัวของกาว

จากการนำตัวอย่างกาวจำนวน 11 ตัวอย่าง ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์มาทำการวิเคราะห์ความเสถียรต่อความร้อนด้วยเทคนิค TGA ได้ผลการทดลองเป็นการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน แสดงในรูปแบบเทอร์โมแกรม เทอร์โมแกรมแบบ TGA curve และ DTG (Derivative thermogram analysis) โดย TGA จะแสดงการเปลี่ยนแปลงมวลพล็อตระหว่างน้ำหนัก (mg) และอุณหภูมิ (°C) ส่วน DTG เป็นการพล็อตอัตราการสูญเสียมวลเทียบกับเวลา (dm/dt) และอุณหภูมิ (°C) การสลายตัวของตัวอย่างได้แสดงในรูปแบบเทอร์โมแกรม แสดงดังรูปที่ 4.23-4.43และ ตารางที่ 4.3

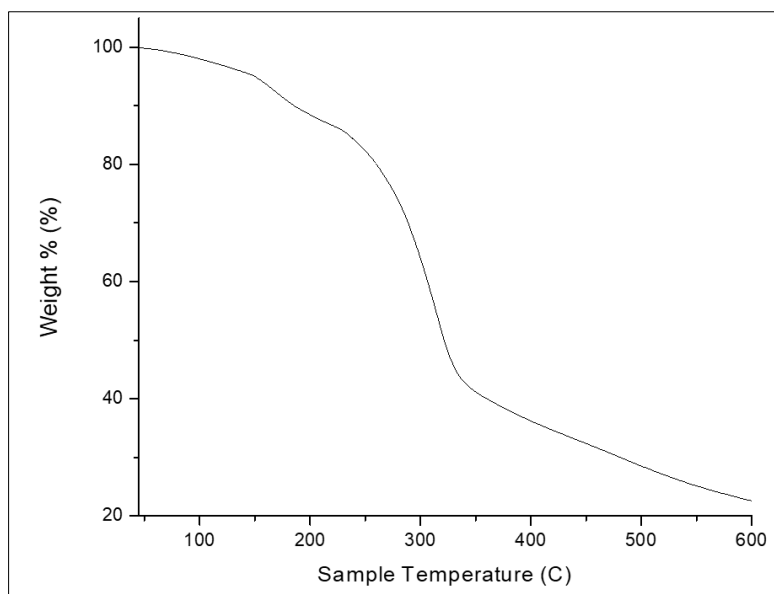


รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของก้ามมะขาม

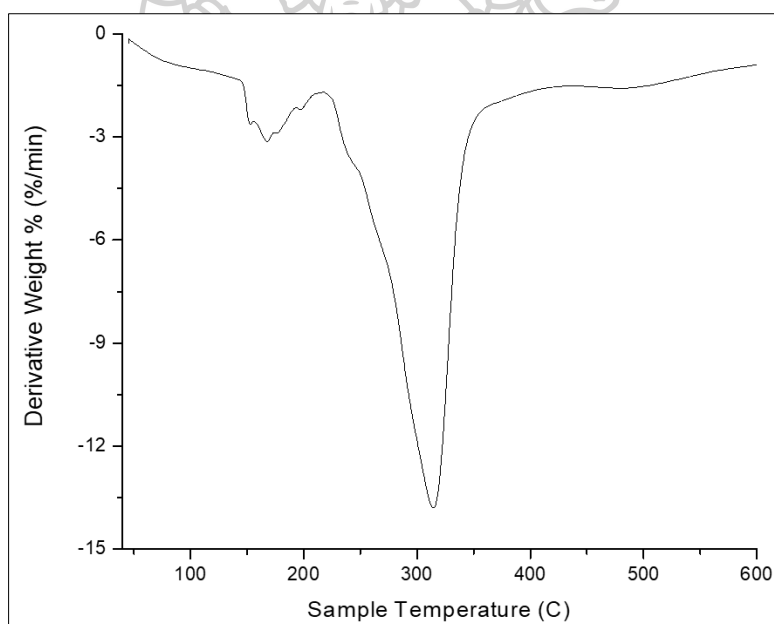


รูปที่ 4.24 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของก้ามมะขาม

จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างก้ามมะขาม พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรมเพียงขั้นตอนเดียว โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 275.83-450.06 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 332.61 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 60.94%



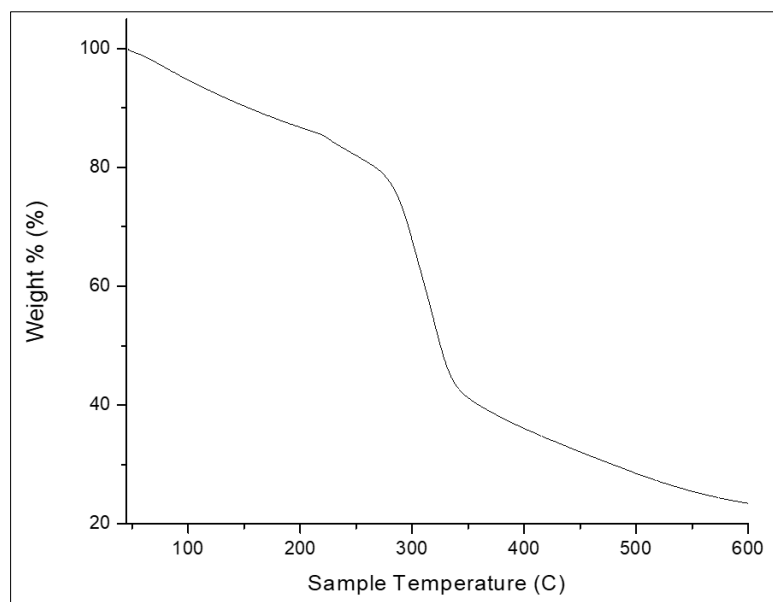
รูปที่ 4.25 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวกระถิน



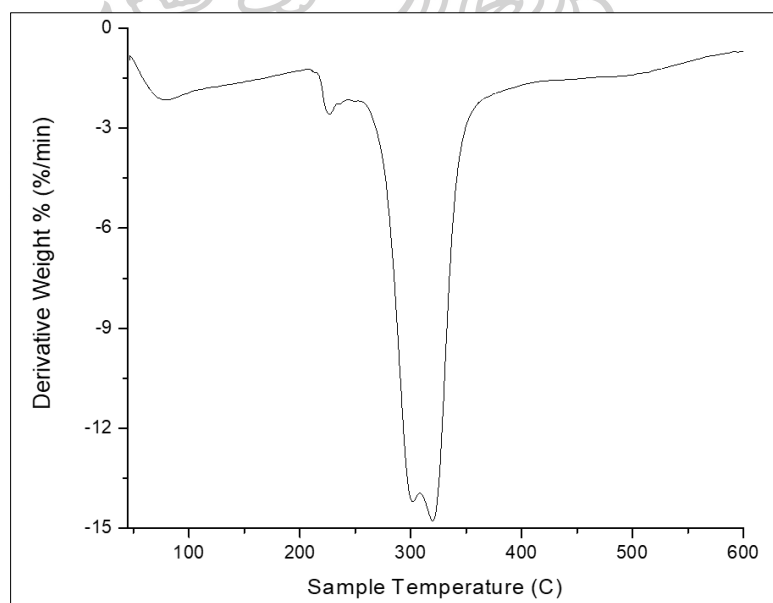
รูปที่ 4.26 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวกระถิน

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวกระถิน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 140.45-218.16 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 167.40 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 3.09% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 223.01-400.28 องศาเซลเซียส ที่

อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 314.27 °C และร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 34.78%



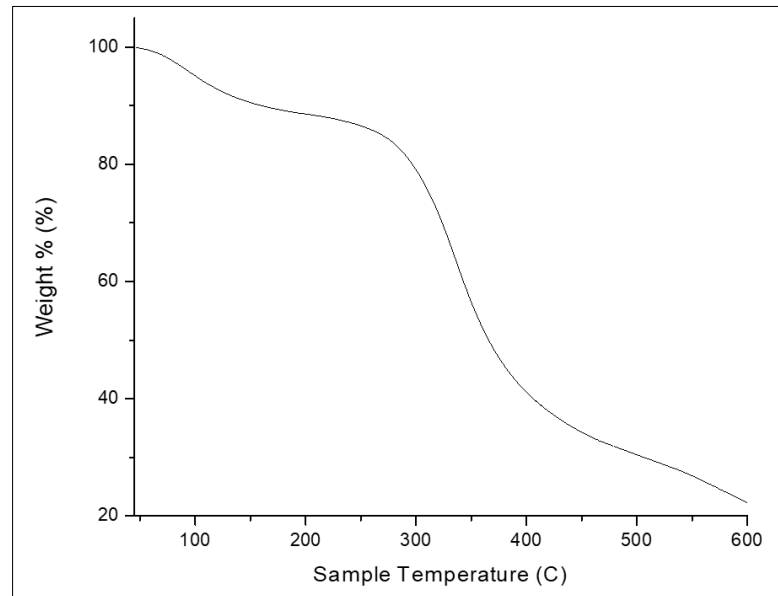
รูปที่ 4.27 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวมะขวิด



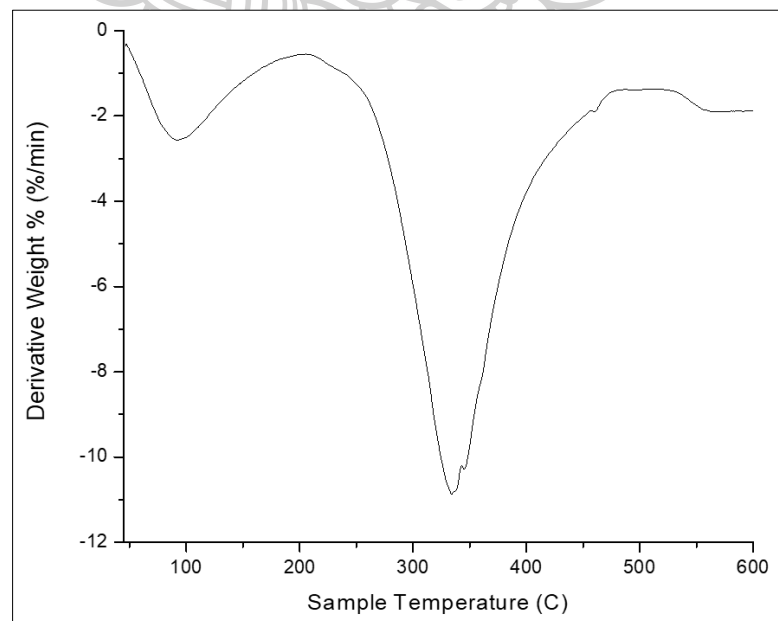
รูปที่ 4.28 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวมะขวิด

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวมะขวิด พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย 215.73-250.33 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 225.69 องศา

เซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 0.724% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย 257.62-372.96 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 319.82 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 30.48%

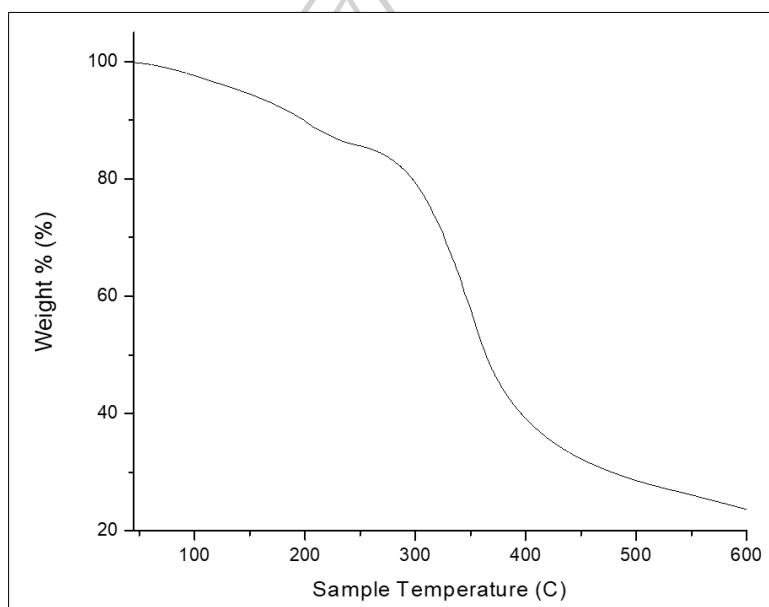


รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวหนังควาย

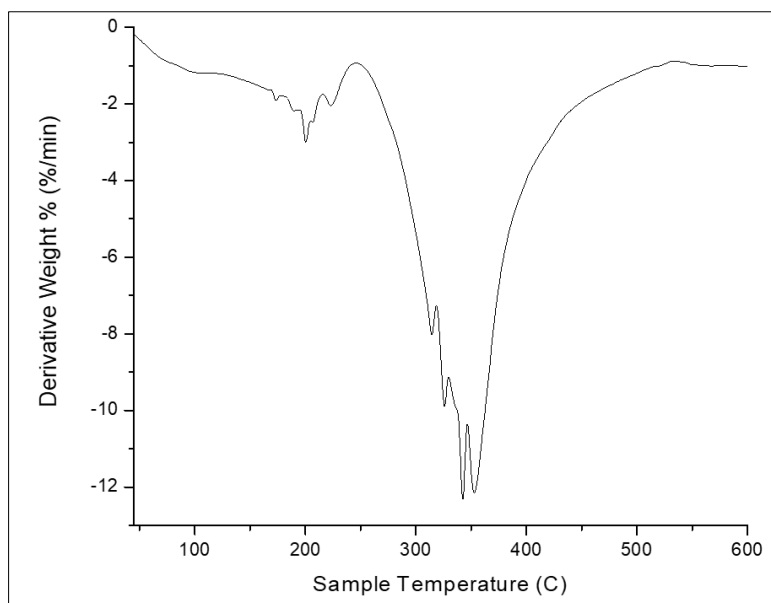


รูปที่ 4.30 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวหนังควาย

จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวหนังควาย พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 51.81-172.42 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 92.04 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 6.14% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 241.78-478.18 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 333.97 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 40.83%

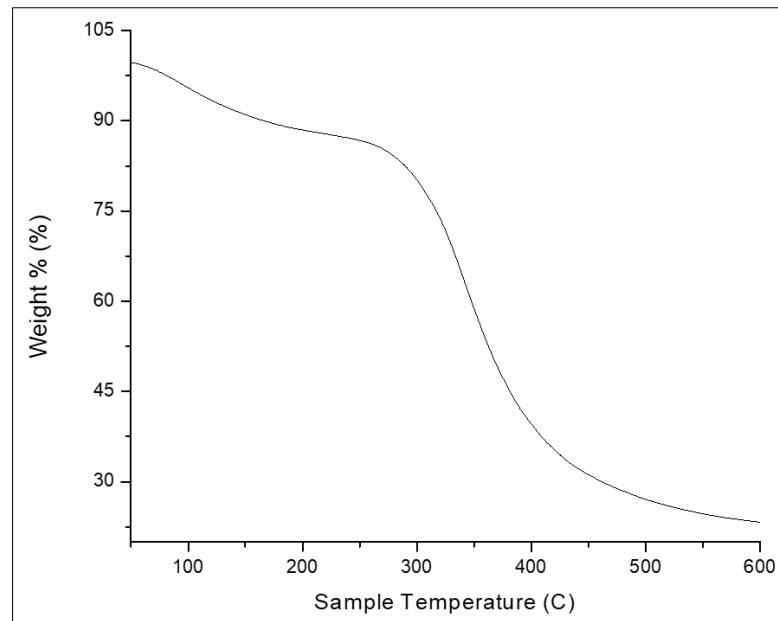


รูปที่ 4.31 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวหนังวัว

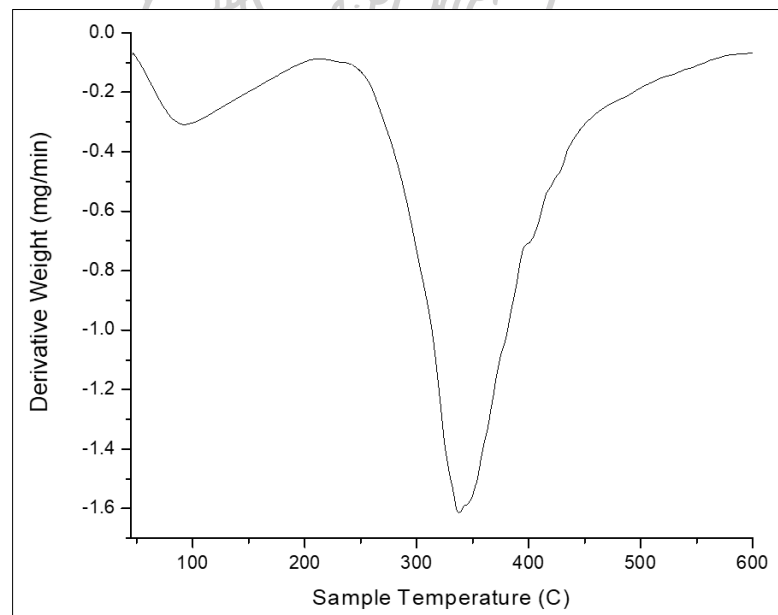


รูปที่ 4.32 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาหนิงวู้

จากรูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาหนิงวู้ พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 130.81-247.20 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 200.34 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 3.61% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 248.41-522.81 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 342.35 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 45.29%



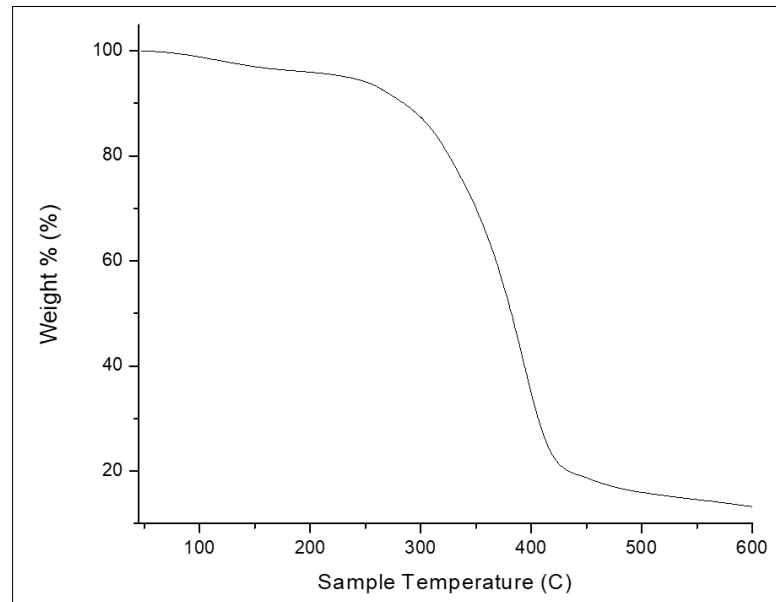
รูปที่ 4.33 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวเจลาติน



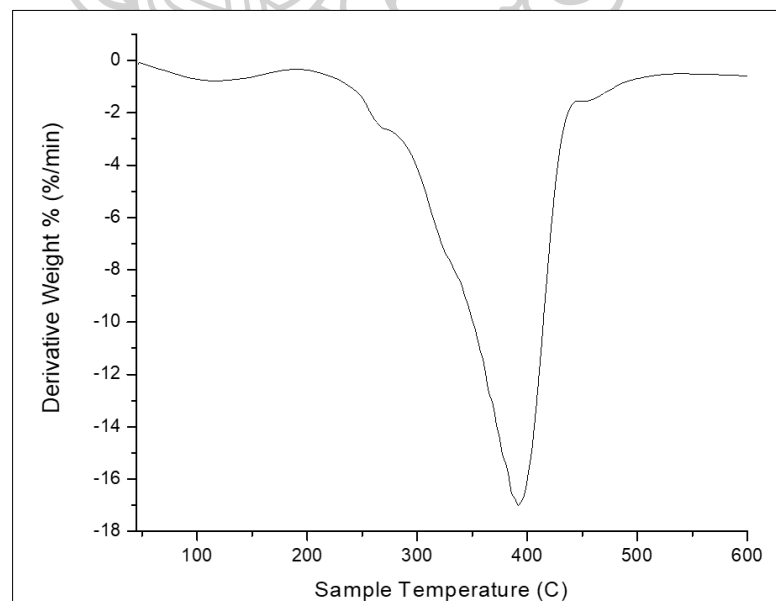
รูปที่ 4.34 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวเจลาติน

จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวเจลาติน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 50.00-262.14 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 92.33 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 5.39% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง

น้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย เท่ากับ 262.14-464.62 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 337.81 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 39.58%

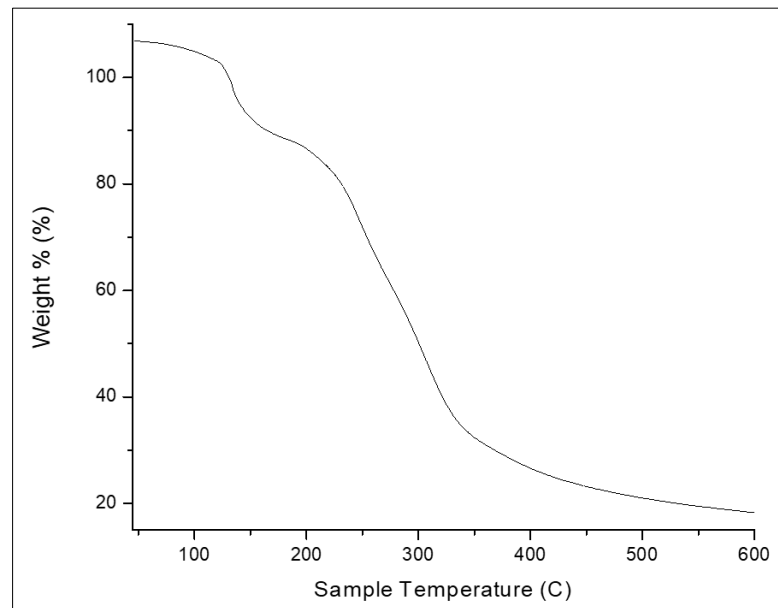


รูปที่ 4.35 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวยี่แดง

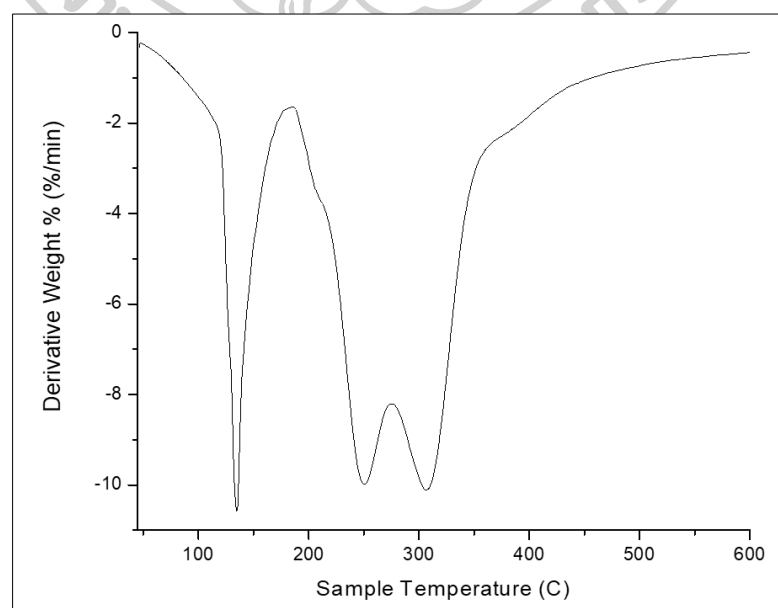


รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวยี่แดง

จากรูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวไขแดง พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรมเพียงขั้นตอนเดียว โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 207.38-527.45 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 391.97 องศาเซลเซียส และร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 73.14%

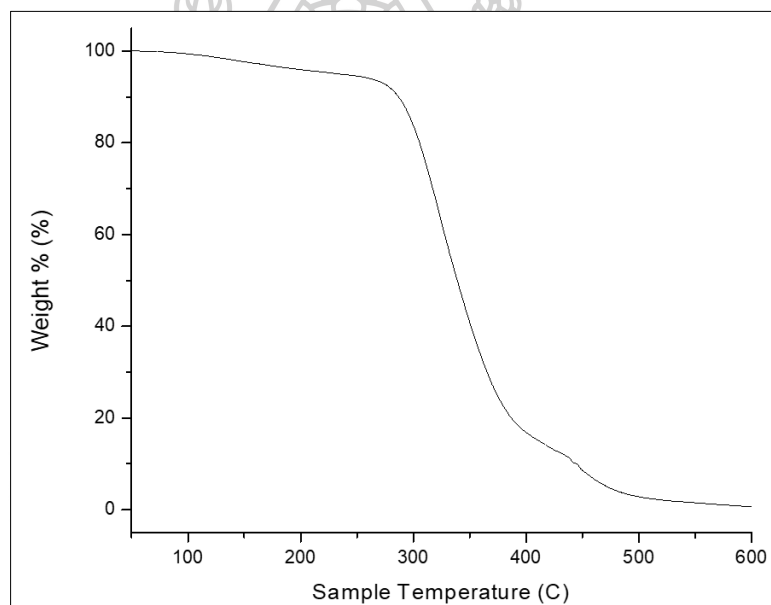


รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวน้ำผึ้ง

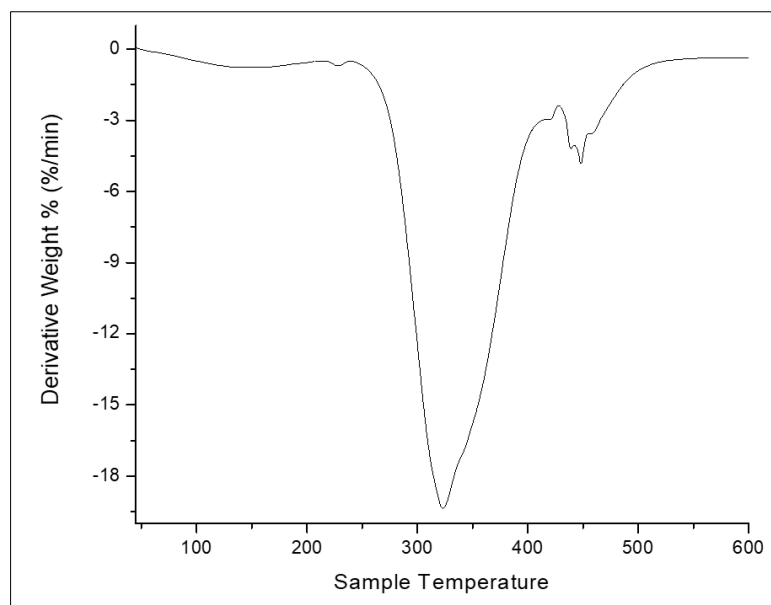


**รูปที่ 4.38** เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวน้ำผึ้ง

จากรูปที่ 4.37 และ 4.38 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวน้ำผึ้ง พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 116.34-176.64 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 134.78 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 8.93% นอกจากนี้ ในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 185.69-449.84 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 306.56 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 47.35%

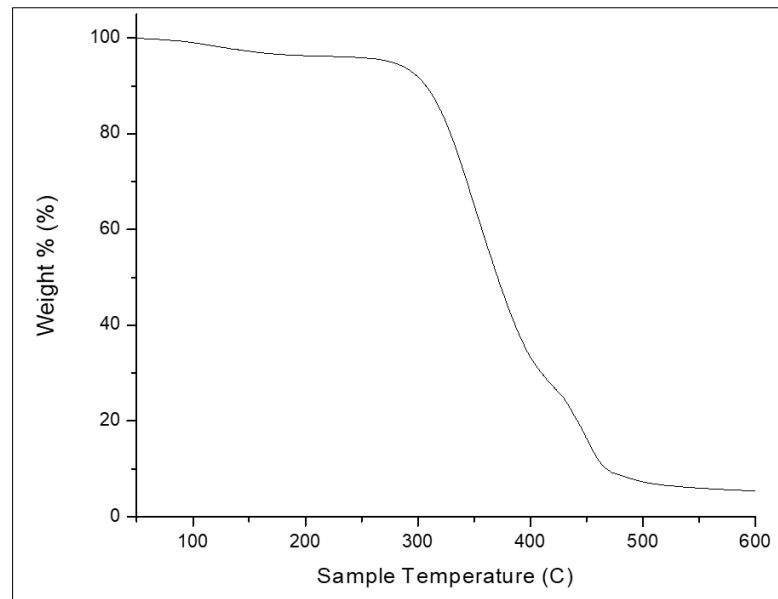


**รูปที่ 4.39** เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาว PVA

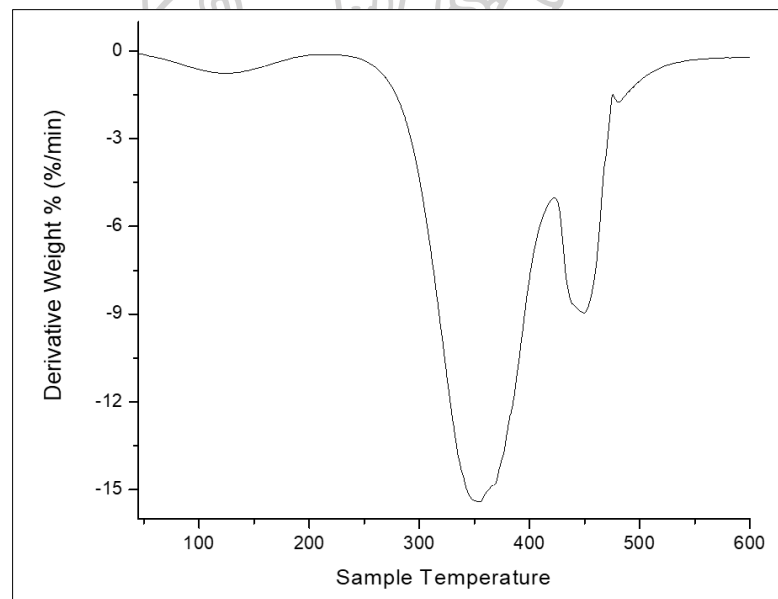


รูปที่ 4.40 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาว PVA

จากรูปที่ 4.39 และ 4.40 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาว PVA พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 269.15-524.72 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 323.29 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 75.693% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 428.20-479.80 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 447.90 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 2.98%



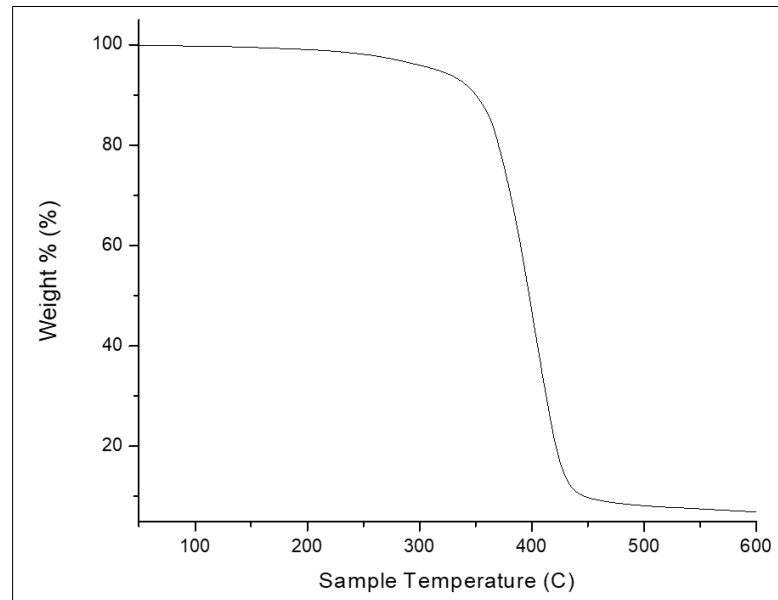
รูปที่ 4.41 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาว CMC



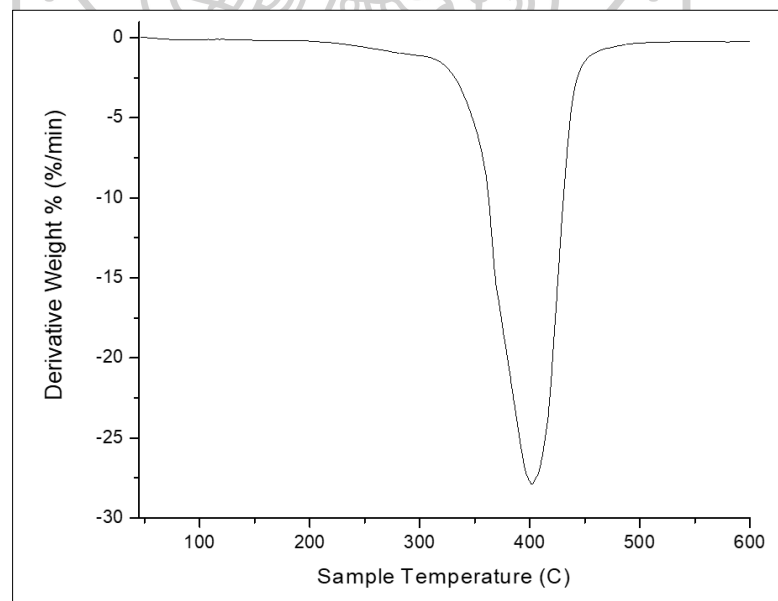
รูปที่ 4.42 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาว CMC

จากรูปที่ 4.41 และ 4.42 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาว CMC พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรม 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 199.29-399.95 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 354.71 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 60.30% และในขั้นตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง

น้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 399.34-469.45 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 450.60 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปเพียง 4.42%



รูปที่ 4.43 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนัก (%Weight loss) ของกาวมะเดื่อสังเคราะห์



รูปที่ 4.44 เทอร์โมแกรม (Thermogram) การลดลงของน้ำหนักแบบย่อย (%Derivative Weight loss) ของกาวมะเดื่อสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.43 และ 4.44 แสดงเทอร์โมแกรมของตัวอย่างกาวมะเดื่อสังเคราะห์ พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรมเพียงขั้นตอนเดียว โดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้ายเท่ากับ 298.90-268.27 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่า 401.70 องศาเซลเซียสและร้อยละน้ำหนักของตัวอย่างหายไปถึง 79.49%

จากผลการวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการวิเคราะห์กาวด้วยเทคนิค TGA

ตัวอย่าง	การลดลงของน้ำหนักครั้งที่ 1			การลดลงของน้ำหนักครั้งที่ 2		
	อุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย (°C)	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (°C)	น้ำหนักที่หายไป (Delta Y %)	อุณหภูมิเริ่มต้น-สุดท้าย (°C)	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (°C)	น้ำหนักที่หายไป (Delta Y %)
กาวมะขาม	278 - 411	332.61	57.36	-	-	-
กาวกระถิน	132 - 212	151.15	2.60	211 - 354	314.27	33.67
กาวมะขวิด	141 - 233	226.36	2.33	247 - 369	320.15	30.24
กาวหนังควาย	59 - 160	92.04	4.32	168 - 463	333.63	38.57
กาวหนังวัว	176 - 254	199.33	2.76	254 - 425	342.35	34.60
กาวเจลาติน	51-262	92.33	5.39	262-465	337.81	39.58
กาวไข่แดง	250 - 484	391.02	64.17	-	-	-
กาวน้ำผึ้ง	125 - 202	133.96	7.80	201 - 451	306.90	36.99
กาว CMC	199-400	354.71	60.30	400-470	450.60	4.42
กาว PVA	102-385	324	69.20	387-500	439.63	9.08
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	251-451	402.38	82.40	-	-	-

#### 4.1.4 ผลการทดสอบหาค่าความหนืดของกาว

จากการทดสอบการวัดค่าความหนืดตัวอย่างกาว 11 ตัวอย่าง ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส พบว่า สามารถเรียงลำดับความของกาวแต่ละตัวได้ดังนี้ เช่น กาวมะขามมีความหนืดสูงสุด รองลงมาเป็นกาว CMC กาวกระถิน กาวหนังวัว กาวมะขวิด กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวมะเดื่อสังเคราะห์และกาวน้ำผึ้ง การคำนวณค่าความหนืดที่แท้จริงแสดงดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ตารางแสดงค่าความหนืดที่แท้จริงของกาวแต่ละชนิด

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ค่าความหนืดที่แท้จริง ( $\eta \pm SD$ )
1	กาวมะขาม	$6.1233 \pm 0.1551$

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ค่าความหนืดที่แท้จริง ( $\eta \pm SD$ )
2	กาวกระถิน	0.3691 $\pm$ 0.0177
3	กาวมะขวิด	0.3038 $\pm$ 0.0033
4	กาวหนังควาย	0.1285 $\pm$ 0.0319
5	กาวหนังวัว	0.3057 $\pm$ 0.0185
6	กาวเจลาติน	0.2798 $\pm$ 0.0008
7	กาวไข่แดง	0.0550 $\pm$ 0.0039
8	กาวน้ำผึ้ง	0.0121 $\pm$ 0.0071
9	กาว CMC	1.3805 $\pm$ 0.0191
10	กาวมะเดื่อสังเคราะห์	0.0263 $\pm$ 0.0170

#### 4.2 ผลการทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของกาว

##### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความโปร่งแสงของกาว

จากผลการวิเคราะห์ความใสของฟิล์มกาวทั้ง 10 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 11 ตัวอย่าง ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ เนื่องจากกาวน้ำผึ้งมีลักษณะเป็นของเหลวสามารถละลายน้ำได้แต่ไม่สามารถอบให้แห้งได้ที่ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ ทำให้นำมาวิเคราะห์ความใสไม่ได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความโปร่งแสงของฟิล์มกาว พบว่า กาวที่มีความโปร่งแสงมากที่สุดคือ กาว CMC กาวมะขวิด กาวมะขาม กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวหนังวัว กาว PVA กาวกระถิน กาวเจลาติน กาวหนังควาย และกาวไข่แดง ตามลำดับ โดยค่าความโปร่งแสงของกาวแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 4.5

##### ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าความโปร่งแสงของฟิล์มกาวแต่ละชนิด

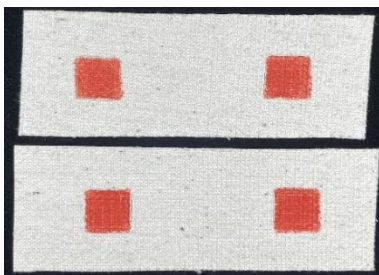
ลำดับที่	ตัวอย่าง	ค่าความโปร่งแสง (%T $\pm$ SD)
1	กาวมะขาม	81.76 $\pm$ 1.20
2	กาวกระถิน	69.20 $\pm$ 2.25
3	กาวมะขวิด	82.71 $\pm$ 2.29
4	กาวหนังควาย	22.10 $\pm$ 1.37
5	กาวหนังวัว	76.06 $\pm$ 7.91



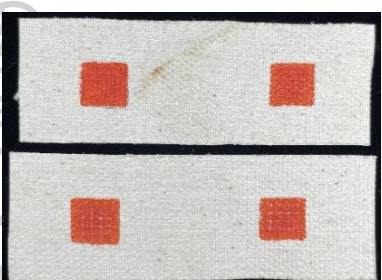

ลำดับที่	ตัวอย่าง	ค่าความโปร่งแสง (%T±SD)
6	กาวเจลาติน	50.20±4.08
7	กาวไข่แดง	3.24±0.26
8	กาว CMC	85.61±0.42
9	กาว PVA	74.82±1.22
10	กาวมะเดื่อสังเคราะห์	79.49±4.14

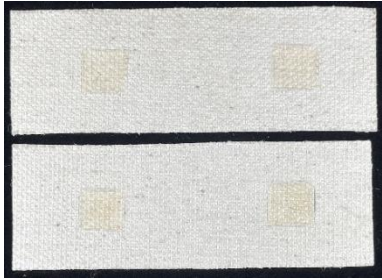


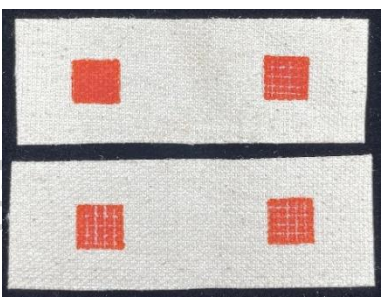



#### 4.2.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของกาว


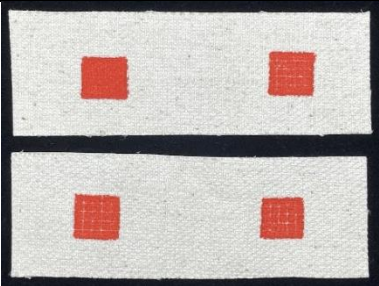

จากการทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของกาวทั้ง 11 ชนิด ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ โดยแบ่งเป็นกาวและกาวผสมผงสีทาลงบนพื้นผ้าใบ จากนั้นใช้เทปใสในการลอกออกและทำการถ่ายภาพพื้นผ้าใบภายใต้แสงปกติและแสงยูวีดังแสดงดังตารางที่ 4.6-4.7 ตามลำดับ เพื่อประเมินการหลุดออกไปของกาวบนพื้นผ้าใบ โดยมีเกณฑ์การใช้คะแนน ได้แก่ 0-5 คะแนน อธิบายได้ว่า คะแนน 0 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะที่แย่มาก คะแนน 1 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะน้อยมาก คะแนน 2 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะน้อย คะแนน 3 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะปานกลาง คะแนน 4 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะดีและคะแนน 5 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะดีเยี่ยม อีกทั้งในการประเมินการยึดเกาะผ่านเทปใสที่ลอกออก ซึ่งถูกแปะลงบนกระดาษ A4 สีขาวแสดงดังตารางที่ 4.8 นอกจากนี้ยังได้ประเมินการยึดเกาะของกาวโดยอาศัยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ดังแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยสรุปผลการทดสอบการยึดเกาะของกาวแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 4.10

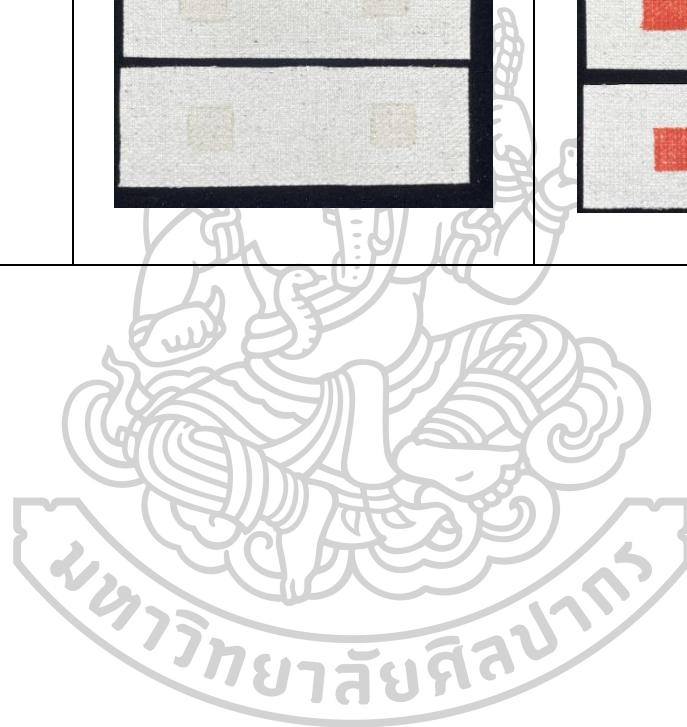
ตารางที่ 4.6 การถ่ายรูปการทดสอบการยึดเกาะของกาวบนพื้นผ้าใบ

ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปผ้าใบที่ทำการทดสอบการยึดเกาะ	
		กาว	กาวผสมผงสี
1.	กาวมะขาม		

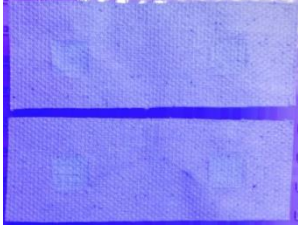
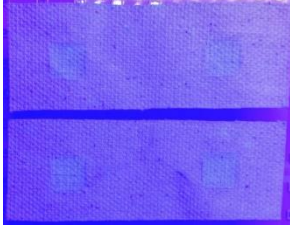
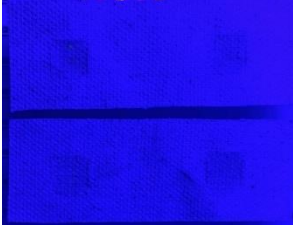
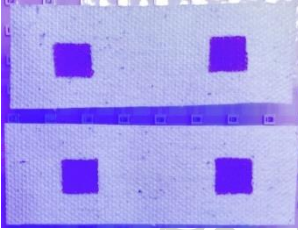
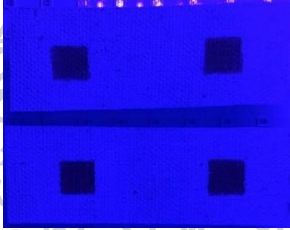
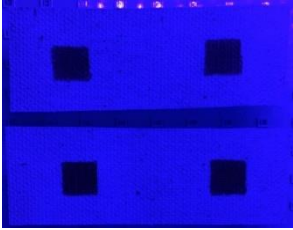
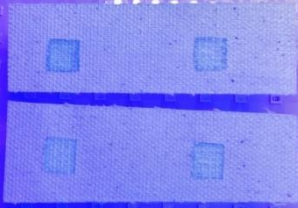

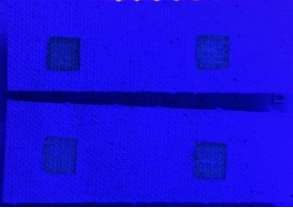


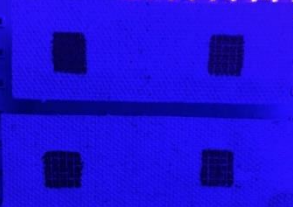


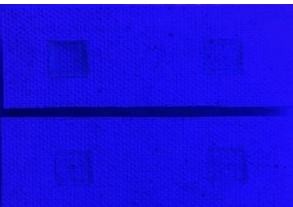
ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปผ้าใบที่ทำการทดสอบการยืดเกาะ	
2.	กาวมะขวิด		
3.	กาวกระถิน		
4.	กาวหนังควาย		
5.	กาวหนังวัว		

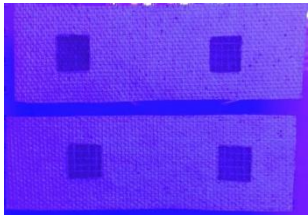
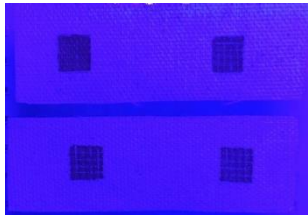
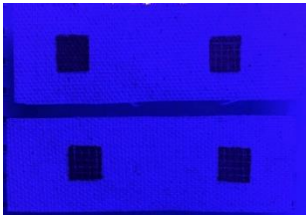
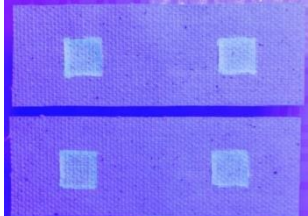
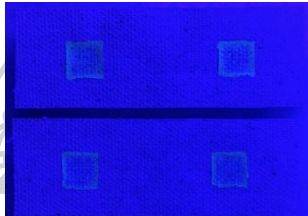

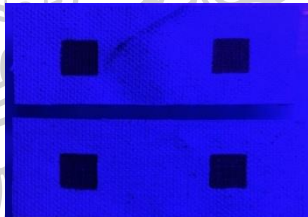
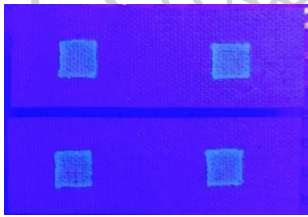
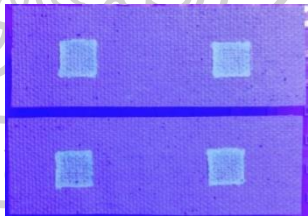
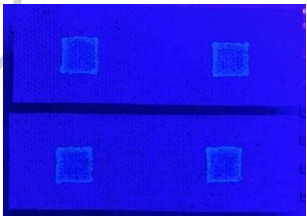


ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปผ้าใบที่ทำการทดสอบการยืดเกาะ	
6.	กาวเจลาติน		
7.	กาวไข่แดง		
8.	กาวน้ำผึ้ง		
9.	กาว PVA		
10.	กาว CMC		

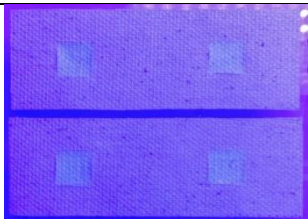

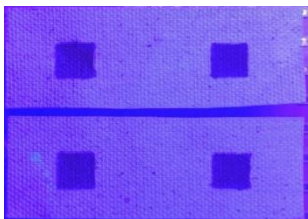
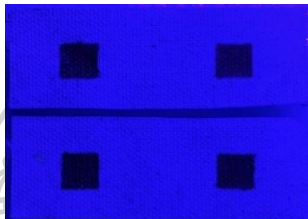



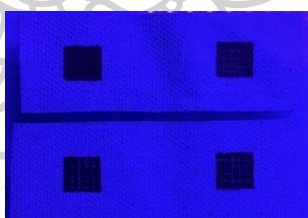


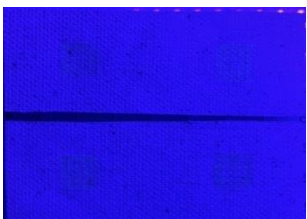
ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปผ้าใบที่ทำการทดสอบการยืดเกาะ	
			
11.	กาวมะเดื่อ สังเคราะห์		


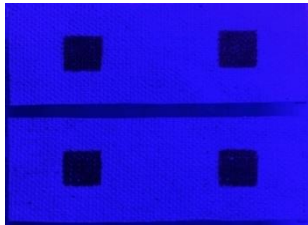
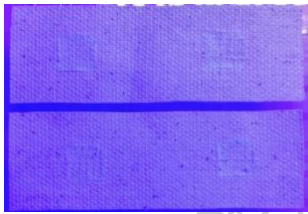
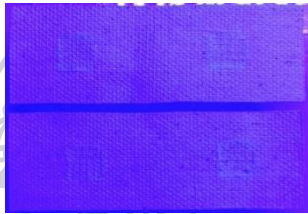
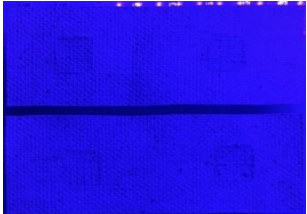


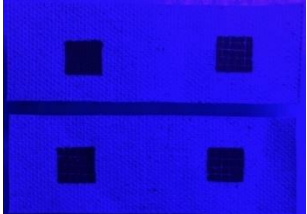
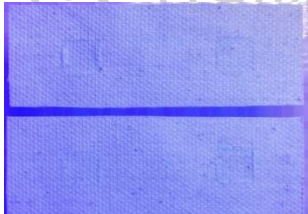

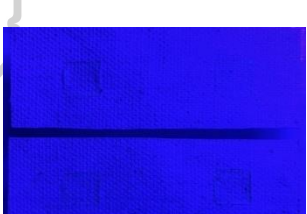






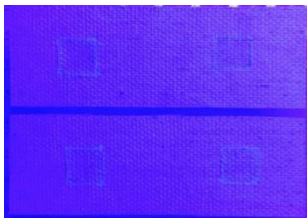
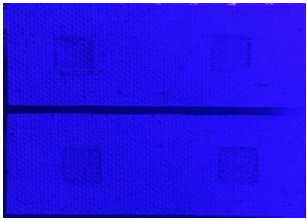
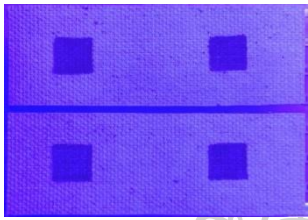

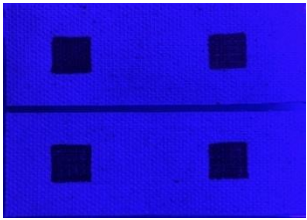
ตารางที่ 4.7 การถ่ายภาพการยืดเกาะของกาวบนพื้นผ้าใบภายใต้แสงยูวี

ตัวอย่าง	ภาพถ่ายพื้นผ้าใบภายใต้แสงยูวี		
กาวมะขาม			
กาวมะขาม ผสมผงสี			
กาวกระถิน			
กาวกระถิน ผสมผงสี			
กาวมะขวิด			

ตัวอย่าง	ภาพถ่ายสีนผ้าใบภายใต้แสงยูวี		
กววมะขวิด ผสมผงสี			
กววหนัง ควาย			
กววหนัง ควายผสม ผงสี			
กววหนังวัว			
กววหนังวัว ผสมผงสี			
กววเจ ลาติน			

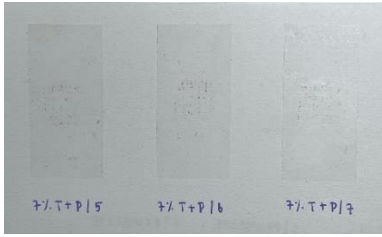
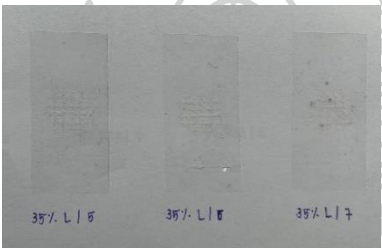
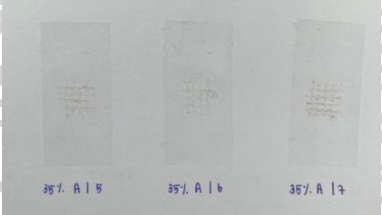
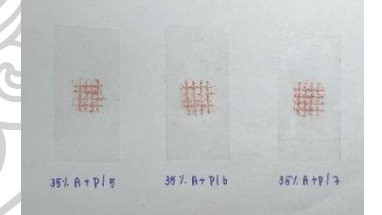
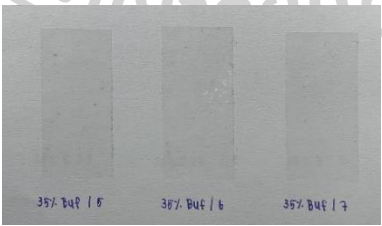
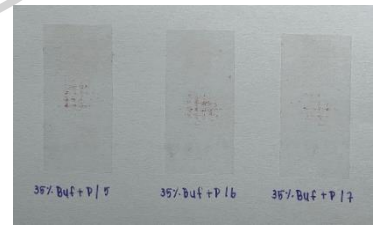
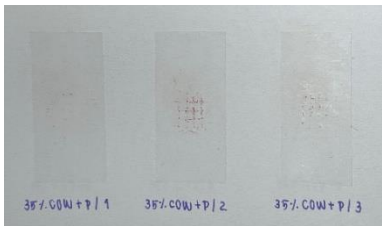
ตัวอย่าง	ภาพถ่ายสีนผ้าใภายใต้แสงยูวี		
			
กาวเจ ลาตินผสม ผงสี			
กาวไซ้แดง			
กาวไซ้แดง ผสมสี			
กาวน้ำผึ้ง			

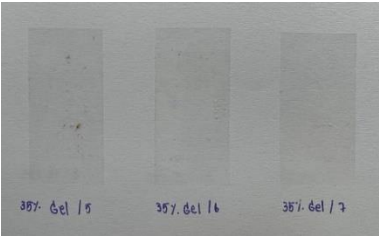
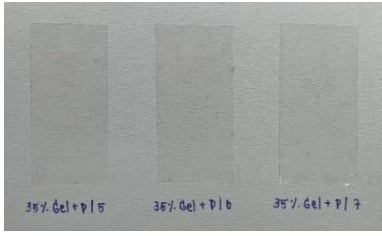
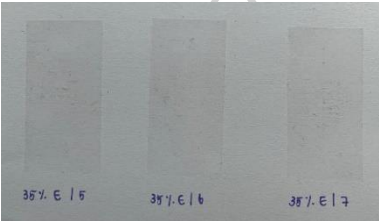
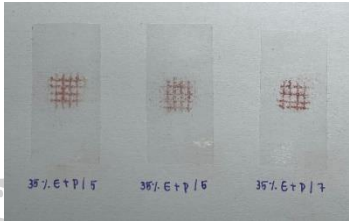
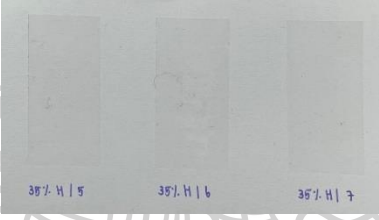
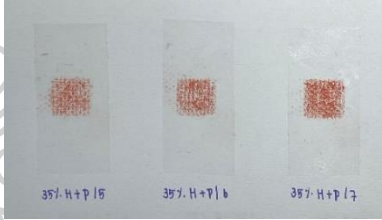
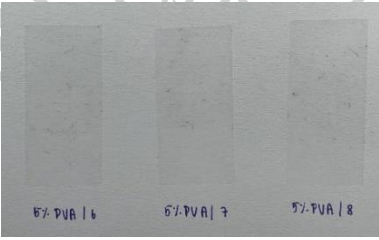
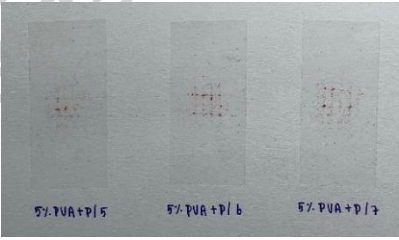
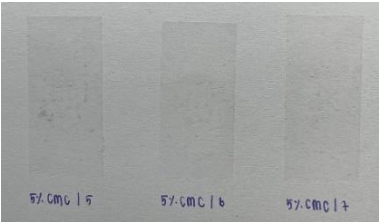
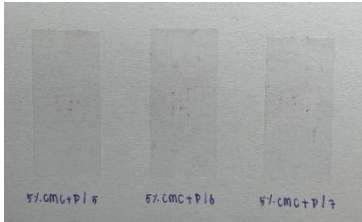
ตัวอย่าง	ภาพถ่ายสีนผ้าใภายใต้แสงยูวี		
กาวน้ำผึ้ง ผสมสี			
กาว PVA			
กาว PVA ผสมผงสี			
กาว CMC			
กาว CMC ผสมผงสี			

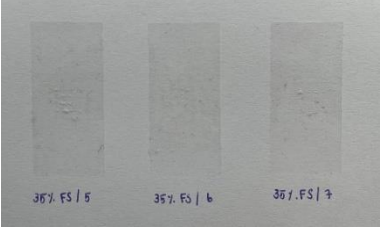
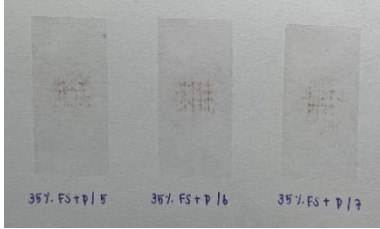
ตัวอย่าง	ภาพถ่ายสีนผ้าใภายใต้แสงยูวี		
กาวมะเดื่อ สั้งเคราะห์			
กาวมะเดื่อ สั้งเคราะห์ ผสมผงสี			























ตารางที่ 4.8 การทดสอบการยึดเกาะของกาวโดยใช้เทปใส

















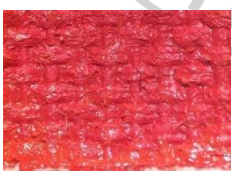
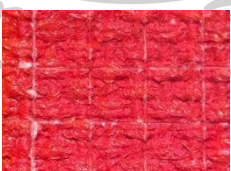




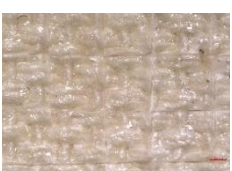

ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปเทปใสที่ทำการทดสอบการยึดเกาะ	
		กาว	กาวผสมผงสี
1.	กาวมะขาม	 <p>7% T / 5      7% T / 6      7% T / 7</p>	 <p>7% T+P / 5      7% T+P / 6      7% T+P / 7</p>
2.	กาวมะขวิด	 <p>35% L / 5      35% L / 6      35% L / 7</p>	 <p>35% L+P / 5      35% L+P / 6      35% L+P / 7</p>
3.	กาวกระถิน	 <p>35% A / 5      35% A / 6      35% A / 7</p>	 <p>35% A+P / 5      35% A+P / 6      35% A+P / 7</p>
4.	กาวหนังควาย	 <p>35% B4F / 5      35% B4F / 6      35% B4F / 7</p>	 <p>35% B4F+P / 5      35% B4F+P / 6      35% B4F+P / 7</p>
5.	กาวหนังวัว	 <p>35% COW / 1      35% COW / 2      35% COW / 3</p>	 <p>35% COW+P / 1      35% COW+P / 2      35% COW+P / 3</p>


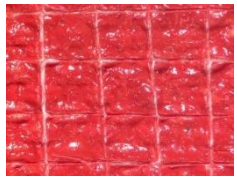

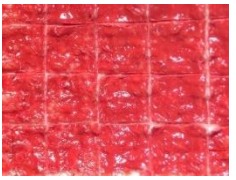




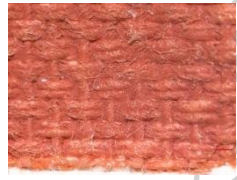



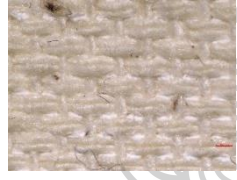









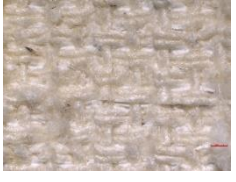


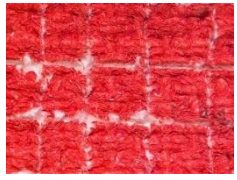
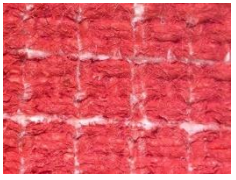

ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปเทปใสที่ทำการทดสอบการยึดเกาะ	
6.	กาวเจลาติน		
7.	กาวไข่แดง		
8.	กาวน้ำผึ้ง		
9.	กาว PVA		
10.	กาว CMC		
11.	กาวมะเดื่อ		





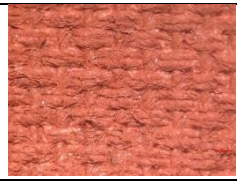

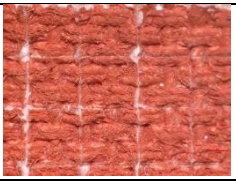









ลำดับที่	ตัวอย่าง	รูปเทปใสที่ทำการทดสอบการยัดเกาะ	
	สังเคราะห์		

ตารางที่ 4.9 ผลการถ่ายรูปการทดสอบการยัดเกาะของกาว

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบทากาว		
กาวมะขาม				
กาวมะขามผสมผงสี				
กาวกระถิน				
กาวกระถินผสมผงสี				
กาวมะขวิด				

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบทากาว		
กาวมะขวิด ผสมผงสี				
กาวหนัง ควาย				
กาวหนัง ควายผสม ผงสี				
กาวหนังวัว				
กาวหนังวัว ผสมผงสี				
กาว เจลาติน				

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบทากาว		
กาว เจลาติน ผสมผงสี				
กาวไข่แดง				
กาวไข่แดง ผสมผงสี				
กาวน้ำผึ้ง				
กาวน้ำผึ้ง ผสมผงสี				
กาว PVA				
กาว PVA ผสมผงสี				

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
	ผ้าใบอ้างอิง		ผ้าใบทากาว	
กาว CMC				
กาว CMC ผสมผงสี				
กาวมะเดื่อสังเคราะห์				
กาวมะเดื่อสังเคราะห์ ผสมผงสี				

จากผลการทดสอบการยึดเกาะ สามารถสรุปคะแนนการยึดเกาะได้ดังแสดงตารางที่ 4.10 โดยในกรณีที่ทาน้ำกาวลงบนผืนผ้าใบ พบว่า กาวที่มีการยึดเกาะดีเยี่ยม ได้แก่ กาวมะขาม กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาตินและกาวน้ำผึ้ง ลำดับถัดมาเป็นกาวที่มีการยึดเกาะดี ได้แก่ กาวไข่แดง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ นอกจากนี้ กาวที่มีการยึดเกาะปานกลางและพอใช้ ได้แก่ กาวมะขวิดและกาวกระถิน ตามลำดับ มากไปกว่านั้น ผลการทดสอบกาวในกรณีที่มีการผสมผงสี พบว่า กาวที่มีการยึดเกาะดีเยี่ยม ได้แก่ กาวเจลาติน รองลงมาเป็นกาวที่มีการยึดเกาะดี ได้แก่ กาวมะขามและกาว CMC นอกจากนี้ กาวที่มีการยึดเกาะปานกลาง ได้แก่ กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาว PVA และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ลำดับถัดมา กาวที่มีการยึดเกาะปานกลาง ได้แก่ กาวกระถิน กาวมะขวิดและกาวไข่แดง สุดท้าย กาวที่มีการยึดเกาะแยء ได้แก่ กาวน้ำผึ้ง

ตารางที่ 4.10 การประเมินการทดสอบการยึดเกาะ

ตัวอย่าง	คะแนนของการทดสอบการยึดเกาะ	รวมคะแนนการทดสอบ	ลำดับการยึดเกาะ
----------	----------------------------	------------------	-----------------

	กาว	กาวผสมผงสี	การยึดเกาะ	
กาวมะขาม	5	4	9	2
กาวกระถิน	2	2	4	7
กาวมะขวิด	3	2	5	6
กาวหนังควาย	5	3	8	3
กาวหนังวัว	5	3	8	3
กาวเจลาติน	5	5	10	1
กาวไข่แดง	4	2	6	5
กาวน้ำผึ้ง	5	0	5	6
กาว PVA	4	3	7	4
กาว CMC	4	4	8	3
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	4	3	7	4

หมายเหตุ: คะแนน 0 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะที่แย่มาก คะแนน 1 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะน้อยมาก คะแนน 2 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะน้อย คะแนน 3 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะปานกลาง คะแนน 4 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะดีและคะแนน 5 หมายถึงกาวมีการยึดเกาะดีเยี่ยม

#### 4.3 การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

##### 4.3.1 ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

การทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.11 นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 10.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.12

**ตารางที่ 4.11** ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาว

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์				คะแนนรวม	ลำดับความเหมาะสมในงานอนุรักษ์
		แผ่นทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
กาวมะขาม	1	T	T	U	U	2	4

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์				คะแนนรวม	ลำดับความเหมาะสมในงานอนุรักษ์
		แผ่นทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
	2	T	T	U	U	2	
กาวกระถิน	1	P	P	U	U	4	3
	2	P	P	U	U	4	
กาวมะขวิด	1	P	P	T	T	5	2
	2	P	P	T	T	5	
กาวหนังควาย	1	P	P	T	T	5	2
	2	P	P	T	T	5	
กาวหนังวัว	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
กาวเจลาติน	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
กาวไข่แดง	1	P	P	T	T	5	2
	2	P	P	T	T	5	
กาวน้ำผึ้ง	1	P	P	T	T	5	2
	2	P	P	T	T	5	
กาว PVA	1	P	P	U	U	4	3
	2	P	P	U	U	4	
กาว CMC	1	P	P	U	U	4	3
	2	P	P	U	U	4	
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	U	P	U	U	2	4
	2	U	P	U	U	2	

หมายเหตุ: เกณฑ์เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (P) เท่ากับ 2 คะแนน ใช้ได้ชั่วคราวในงานอนุรักษ์ (T) เท่ากับ 1 คะแนน และไม่เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (U) เท่ากับ 0 คะแนน

**ตารางที่ 4.12** ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ (Oddy testing) โดยใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น	หลอด	ผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์	คะแนนรวม	ลำดับความ
-------------	------	---------------------------------	----------	-----------

กรดอะซีติก	ทดลอง ที่	แผ่น ทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		เหมาะสมใน งานอนุรักษ์
0.10 ppm	1	T	P	P	P	5	2
	2	T	P	P	P	5	
1.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
2.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
3.00 ppm	1	T	P	P	P	5	2
	2	T	P	P	P	5	
4.00 ppm	1	T	P	P	P	5	2
	2	T	P	P	P	5	
5.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
7.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
9.00 ppm	1	T	P	P	P	5	2
	2	T	P	P	P	5	
10.00 ppm	1	T	P	P	P	5	2
	2	T	P	P	P	5	
15.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
20.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	
30.00 ppm	1	P	P	P	P	6	1
	2	P	P	P	P	6	

หมายเหตุ: เกณฑ์เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (P) เท่ากับ 2 คะแนน ใช้ได้ชั่วคราวในงานอนุรักษ์ (T) เท่ากับ 1 คะแนน และไม่เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (U) เท่ากับ 0 คะแนน

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีควบคู่กับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

##### 4.3.2.1 ผลการประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวัดค่าสีของแผ่นโลหะ

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ควบคู่กับการวัดค่าสีของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นทอง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 10.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ผลการวัดค่าสีของแผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่วแสดงดังตารางที่ 4.13-4.18 ตามลำดับ

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยอาศัยการวัดค่าสี เช่น การวิเคราะห์ค่าเดลต้าอี ( $\Delta E$ ) วัดโดยใช้สัดส่วนตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 คือความแตกต่างของสีที่น้อยกว่าและ 100 คือมีค่าความบิดเบือนที่สมบูรณ์ ช่วงการรับรู้มาตรฐานมีดังนี้ ค่า 1 หมายถึงไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่า ค่า 1-2 หมายถึงรับรู้ได้จากการสังเกตอย่างใกล้ชิด ค่า 2-10 หมายถึงรับรู้ได้เพียงแวบเดียว ค่า 11-49 หมายถึงสีมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าตรงกันข้ามและค่า 50-100 หมายถึงสีตรงกันข้ามอย่างแน่นอน จากการวิจัยพบว่า กาวที่ทำให้แผ่นทองแดงมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 50-100 แสดงว่าแผ่นโลหะหลังการทดสอบมีสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนกับสีก่อนทำการทดสอบ สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวเจลาติน กาวมะเดื่อสังเคราะห์และกาวมะขวิด กาวที่ทำให้แผ่นทองแดงมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 11-49 แสดงว่าแผ่นโลหะหลังการทดสอบมีสีที่คล้ายคลึงกับสีก่อนทำการทดสอบ สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวหนังควาย กาว CMC กาว PVA กาวน้ำผึ้ง กาวมะขาม กาวไข่แดง กาวหนังวัว นอกเหนือจากนี้ แสดงดังตารางที่ 4.13 นอกจากนี้ พบว่า กาวที่ทำให้แผ่นเงินมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 11-49 สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวหนังวัว กาวหนังควาย กาวเจลาติน กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวกระถิน กาว PVA กาวมะขวิด และกาวน้ำผึ้ง มากไปกว่านี้ กาวที่ทำให้แผ่นเงินมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 50-100 สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวมะขามและกาวไข่แดง แสดงดังตารางที่ 4.15 สุดท้ายนี้ กาวที่ทำให้แผ่นตะกั่วมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 11-49 สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวไข่แดงและกาวเจลาติน มากไปกว่านี้ กาวที่ทำให้แผ่นตะกั่วมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 50-100 สามารถเรียงลำดับจากเปลี่ยนแปลงค่าสีจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาว CMC กาว PVA กาวมะขวิดและกาวน้ำผึ้ง แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.13 ค่าสีของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกาว

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
กาวมะขาม	1	57.4317	11.7272	15.4803	19.4208	52.8540	58.5629	11.8222	24.2698	26.9961	64.0286	39.27197435
		68.2874	15.1562	21.5841	26.3739	54.9236	65.5160	13.8601	28.7041	31.8752	64.2259	30.02746659
	2	68.2902	13.8874	20.4342	24.7066	55.7994	61.6859	9.7490	18.1596	20.6111	61.7709	32.95846911
		59.6310	11.7814	15.6615	19.5980	53.0477	72.7472	12.2576	22.2598	25.4116	61.1603	107.8995159
กาวมะขวิด	1	61.8918	12.2256	16.7591	20.7445	53.8897	66.4225	18.4872	25.7472	31.6970	54.3206	70.26040933
		56.0416	10.6927	15.0769	18.4837	54.6552	57.5459	16.3235	23.1478	28.3245	54.8092	49.55412697
	2	63.2831	12.3601	18.6024	22.3344	56.3985	71.8250	19.6106	34.5000	39.6841	60.3850	189.1337458
		58.4946	11.9006	16.1462	20.0580	53.6077	70.4286	17.7954	30.3575	35.1889	59.6214	189.5650354
กาวกระเบื้อง	1	65.4351	12.6381	17.7368	21.7788	54.5290	62.1163	15.2380	25.3536	29.5804	58.9933	37.89477785
		57.7659	11.7492	14.4868	19.4393	52.8139	66.2856	16.5403	24.8731	29.8706	56.3765	101.7075775
	2	65.6289	14.1876	22.3183	26.4461	57.5560	64.9343	14.8914	21.4377	26.1023	55.2147	0.87662998
		73.7866	19.2116	26.9608	34.7536	56.4411	63.7690	14.4541	22.2285	26.5146	56.9661	72.69038965
กาวหนังควาย	1	58.2768	11.7749	16.4184	20.2043	54.3530	59.0530	15.9604	22.8191	27.8468	55.0298	29.54492859
		62.0347	12.3460	17.1997	21.1720	54.3292	54.7195	13.9105	23.2771	27.1169	59.1373	46.44730103
	2	75.2992	15.5686	22.4216	27.2966	55.2256	63.0577	13.9096	21.2228	25.3749	56.7588	77.02186235
		66.0248	13.6624	19.9540	24.1831	55.6007	63.1895	10.7532	25.2402	27.4353	66.9244	22.22314059
กาวหนังวัว	1	61.1270	11.8109	16.5865	20.3620	54.5461	59.5716	15.9029	21.5095	26.7500	53.5229	21.69983108
		59.7238	11.9986	15.8555	19.8837	52.8834	68.8996	15.8617	25.3622	29.9138	57.9779	94.74809607
	2	65.9884	14.6811	20.3895	25.1250	54.2449	69.5555	16.6505	25.2515	30.2469	56.5997	20.12089139
		61.2338	11.4486	15.6498	19.3904	53.8128	71.1189	16.3496	23.7755	28.8545	55.4851	93.88100175
กาวเงลาติน	1	57.7121	11.3515	15.3667	19.1047	53.5464	66.4830	16.8855	23.4499	28.8967	54.2436	86.44598253
		67.0695	13.4481	19.1870	23.4306	54.9736	66.5290	14.8872	21.0287	25.765	54.7035	2.877503975
	2	56.3186	11.6425	16.0220	19.8053	53.9957	71.7198	16.4892	25.3179	30.2141	56.9243	173.5506096
		68.7283	14.4394	21.0374	25.5161	55.5355	66.3666	15.4948	21.2668	26.3129	53.9232	3.372060205
กาวไข่แดง	1	59.4171	11.8038	16.2066	20.0495	53.9329	52.9553	5.8868	31.9124	32.4508	79.5482	161.7189509
		58.8940	12.7623	17.5282	21.6821	53.9416	58.0519	3.8766	39.6798	39.8687	84.4201	285.1790897
	2	67.2949	13.4653	19.8648	23.9984	55.8686	67.9057	18.0235	24.5985	30.4948	53.7695	21.77908979
		76.0196	16.3045	23.3890	28.5111	55.1197	61.1704	18.2767	27.9139	33.3650	56.7851	122.4315167
กาวน้ำผึ้ง	1	66.2719	12.8104	18.2194	22.2722	54.8881	63.0349	15.7710	22.1090	27.1576	54.4986	17.18615476
		55.3096	10.9506	14.8591	18.4583	53.6110	71.2104	16.8751	26.2225	31.1831	57.2373	208.5310002
	2	65.8444	14.1196	19.7741	24.2977	54.4715	70.5668	19.0931	25.5095	31.8635	53.1863	39.96578859
		71.5404	15.9017	22.8845	27.8669	55.2058	83.8941	21.2297	28.9430	35.8943	53.7399	108.853455
กาว PVA	1	56.3803	11.2255	14.9830	18.7217	53.1589	62.5793	13.5199	23.1284	26.7901	59.6913	55.01970676
		64.6736	12.9223	18.2659	22.3747	54.7223	55.7147	13.6309	18.5009	22.9801	53.6182	40.40961408
	2	70.0051	14.0598	18.6910	23.3887	53.0486	68.2791	16.7820	27.6591	32.3521	58.7530	45.40813323
กาว CMC	1	65.8522	13.2858	19.3074	23.4370	55.4674	58.6033	14.5482	24.7985	28.7509	59.6017	42.14619209
		70.0906	15.6687	22.8147	27.6770	55.5195	71.7418	17.7721	26.6019	31.9923	56.2541	10.74681842
	2	68.7892	13.4934	18.8221	23.1590	54.3636	73.7145	17.2968	27.4828	32.4728	57.8150	56.86607807
		70.5772	15.3672	21.9289	26.7773	54.9781	74.8765	18.0050	26.8116	32.2962	56.1171	24.64136431
กาวเม็ดสีสังเคราะห์	1	63.0853	16.9128	25.2766	30.4130	56.2132	58.2711	-6.4958	2.9858	7.1491	155.3141	534.0094201

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
		66.9094	18.1439	27.2653	32.7505	56.3579	55.0505	-6.1050	1.3438	6.2511	167.5866	
2	65.6189	13.3180	19.0298	23.2272	55.0138	50.0479	-0.6759	2.7410	2.8231	103.8515	351.8051418	
	57.6204	12.2020	15.7513	19.9247	52.2361	48.5589	7.8183	14.6764	16.6290	61.9551	51.24150898	

ตารางที่ 4.14 ค่าสีของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กระดาษซีตติกเป็นตัวอย่าง

ความเข้มข้นกระดาษซีตติก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
		56.2589	11.7784	14.7594	18.8831	51.4093	66.3418	18.7301	26.7811	32.6809	55.0320	
0.10 ppm	1	67.9146	15.0110	20.0825	25.0726	53.2232	101.1379	31.6510	46.8968	56.5783	55.9843	1049.841974
		65.1788	14.1990	18.7281	23.5022	52.8318	62.4513	23.4996	33.8306	41.1915	55.2151	161.0129614
	2	61.8446	11.7090	15.3660	19.3187	52.6924	57.8448	24.2863	32.1571	40.2977	52.9384	228.0639573
		64.9712	12.6125	15.6581	20.1060	51.1488	63.7750	20.8836	29.5185	36.1589	54.7216	130.9763389
1.00 ppm	1	63.3904	13.0052	17.7824	22.0307	53.8200	67.7393	22.6594	33.6838	40.5962	56.0709	182.4855154
		68.4151	14.5220	19.4164	24.2463	53.2062	68.2571	19.7942	29.0718	35.1707	55.7502	147.2561381
	2	62.9266	11.8569	15.7800	19.7381	53.0792	70.1594	23.7564	33.5043	41.0720	54.6613	254.0311533
		65.1965	12.8101	16.4600	20.8574	52.1080	63.2262	19.7733	28.1830	34.4277	54.9463	94.89848267
2.00 ppm	1	65.3627	12.5541	16.3919	20.6470	52.5524	64.6204	15.1028	18.6380	23.9889	50.9815	6.045923095
		64.9183	13.3302	18.5094	22.8099	54.2392	77.0455	22.0800	30.8183	37.9116	54.3800	187.5684995
	2	65.2479	13.4728	17.1886	21.8395	51.9098	93.4277	24.8360	33.4538	41.6651	53.4100	593.8900867
		66.8267	14.0031	19.2405	23.7967	53.9531	98.2628	26.1843	37.1924	45.4851	54.8536	729.4403651
3.00 ppm	1	56.1899	11.6301	14.4802	18.5724	51.2293	78.5854	25.5574	36.9646	44.9395	55.3399	600.5381745
		67.3838	14.3528	19.2800	24.0358	53.3345	99.5672	27.7835	38.9617	47.8533	54.5075	801.7621265
	2	73.5468	18.0296	25.1633	30.9558	54.3782	93.0505	26.5108	37.5602	45.9738	54.7848	303.0040984
		61.6053	13.1014	17.8257	22.1225	53.6852	74.7084	22.3770	31.5016	38.6404	54.6121	222.3791129
4.00 ppm	1	55.2857	11.4793	15.0649	18.9401	52.6930	78.0161	19.8302	26.3703	32.9940	53.0572	357.1103421
		62.8497	12.6934	17.0009	21.2168	53.2538	89.6626	24.3067	31.5970	39.8646	52.4299	533.4232393
	2	64.9604	14.7208	19.4878	24.4229	52.9332	82.5347	22.4524	29.3760	36.9738	52.6089	233.2050791
		65.4819	14.2661	18.4046	23.3477	52.0253	73.2581	22.4266	30.7514	38.0605	53.8972	139.7532585
5.00 ppm	1	65.2936	13.4136	18.7102	23.0216	54.3628	68.5987	18.7627	25.2342	31.4453	53.3676	41.04956641
		72.1386	19.8281	28.1039	34.3945	54.7960	93.8535	30.4836	44.8038	54.1907	55.7694	431.9816111
	2	63.2040	14.9027	21.7210	26.3418	55.5462	86.2191	27.0126	39.4677	47.8265	55.6113	495.6449335
		60.3813	13.2113	16.5695	21.1917	51.4337	78.5132	24.1865	32.5467	40.5497	53.3827	352.2458662
7.00 ppm	1	62.7559	12.5647	16.7901	20.9709	53.1911	63.9122	18.3115	24.0392	30.2191	52.7022	43.45609537
		58.0034	12.2905	15.1273	19.4908	50.9071	74.3111	21.6392	30.5385	37.4280	54.6791	295.4221782
	2	62.9314	13.1971	17.6841	22.0655	53.2671	92.8810	25.0776	33.9351	42.1957	53.5361	651.1099107
		65.9653	13.6264	17.7692	22.3925	52.5170	78.6170	17.5595	25.8900	31.2830	55.8535	120.7410906
9.00 ppm	1	75.4433	17.2317	23.2802	28.9638	53.4916	72.0012	16.0557	23.5766	28.5244	55.7451	6.65940685
		71.6151	16.7454	23.6402	28.9702	54.6884	82.1670	19.2998	31.4868	36.9311	58.4939	89.71834227
	2	58.8222	12.7930	15.8752	20.2330	50.7810	81.5533	15.9169	24.4132	29.1436	56.8965	299.6795512
		70.5021	13.7385	18.6884	23.1949	53.6792	87.2341	18.2130	32.9415	37.6411	61.0623	251.5659169
10.00 ppm	1	56.0838	12.0616	15.3665	19.5349	51.8704	59.6614	14.2272	24.3611	28.2112	59.7146	49.19593714

ความเข้มข้นกรดอะซิติก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
	2	66.4828	14.3571	20.9655	25.4102	55.5967	65.2970	16.4100	25.7886	30.5670	57.5303	14.44140683
		55.4237	11.3081	14.6773	18.5283	52.3876	58.6278	12.8225	21.0333	24.6336	58.6324	26.47920009
15.00 ppm	1	70.1911	17.4647	23.9605	29.6500	53.9118	71.2496	16.5465	25.0304	30.0051	56.5331	1.55409975
		65.5120	14.4533	20.0452	24.7126	54.2070	67.1128	11.8070	22.1625	25.1113	61.9537	7.02421181
	2	67.4267	13.8849	18.9368	23.4818	53.7502	66.4911	15.0856	22.3030	26.9258	55.9259	6.824165145
		63.2417	13.3247	18.2595	22.6043	53.8802	68.5783	15.9502	24.1159	28.9134	56.5195	34.83498539
20.00 ppm	1	61.6459	12.8565	19.8282	23.6315	57.0409	69.6991	16.4344	26.0430	30.7950	57.7461	58.13956885
		67.9290	14.4827	22.1945	26.5018	56.8741	82.1956	19.2018	30.3042	35.8755	57.6402	145.7865072
	2	59.1603	11.8179	15.0163	19.1089	51.7971	65.8754	14.3645	23.2916	27.3649	58.3369	60.02916483
		69.3561	15.8331	22.4544	27.4752	54.8115	74.8053	15.7504	25.6119	30.0673	58.4100	19.83521309
30.00 ppm	1	60.0197	12.4376	15.4666	19.8472	51.1952	60.2684	14.9011	16.9249	22.5499	48.6385	4.128661415
		64.1939	13.7923	19.2558	23.6858	54.2872	69.3571	16.6304	25.3961	30.3568	56.7817	36.20836497
	2	68.2895	14.3709	21.3063	25.6998	56.0006	74.7138	18.2034	26.7808	32.3817	55.7952	42.9649185
		72.5453	16.7880	23.7233	29.0625	54.7145	70.1900	16.5581	24.5201	29.5872	55.9693	3.11759117
อ้างอิง	1	66.7721	15.0883	20.7658	25.6685	53.9980	65.5032	16.3582	25.0113	29.8857	56.8140	10.62351174
		59.9667	12.4063	15.4918	19.8472	51.3113	60.7011	15.6025	22.0288	26.9946	54.6910	26.7437034
	2	60.3519	13.4609	17.2608	21.8890	52.0509	68.1205	15.4850	22.5971	27.3937	55.5785	46.46211223
		61.7060	12.7492	16.6470	20.9681	52.5531	65.1114	14.7739	21.8311	26.3603	55.9124	21.28552603

ตารางที่ 4.15 ค่าสีของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างขาว

ตัวอย่างขาว	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
กาวมะขาม	1	84.6113	-1.0324	3.4734	3.6236	106.5545	94.6682	-1.0372	6.6619	6.7422	98.8497	55.65389645
		87.2016	-1.1058	5.0077	5.1283	102.4521	78.8861	-1.4518	4.1569	4.4032	109.2518	34.99555845
	2	80.2453	-1.1207	3.5526	3.7552	107.5082	78.9599	-1.0800	3.3113	3.4830	108.0633	0.85606767
		84.6067	-0.6993	5.1569	5.2041	97.7227	82.7613	-1.1303	3.7891	3.9541	106.6097	2.7310695
กาวมะขวิด	1	83.6448	-1.0064	4.1025	4.2242	103.7827	79.5648	-0.7205	4.9073	4.9599	98.3524	8.687920925
		81.7510	-0.8298	3.9427	4.0291	101.8854	85.5975	-1.0192	5.3208	5.4175	100.8438	8.36529711
	2	86.4094	-1.0996	5.4895	5.5985	101.3273	91.6378	-1.2317	6.3727	6.4907	100.9387	14.06682961
		83.4785	-0.8559	4.6982	4.7755	100.3251	87.6557	-1.3668	5.1201	5.2994	104.9463	8.94400913
กาวกระเทียม	1	86.6784	-1.0857	6.1303	6.2257	100.0430	88.6071	-0.9125	5.7603	5.8322	99.0015	1.943390965
		94.6117	-1.0336	6.4096	6.4924	99.1605	88.9001	-0.5024	6.5195	6.5389	94.4065	16.45831301
	2	90.1847	-1.0362	5.4544	5.5519	100.7563	90.8241	-0.8934	5.6167	5.6873	99.0382	0.227782745
		90.2666	-1.1863	4.4310	4.5870	104.9880	88.5252	-1.1501	4.6341	4.7747	103.9385	1.537517005
กาวหนังควาย	1	93.2770	-1.1130	6.5249	6.6191	99.6801	90.6266	-0.5520	7.0878	7.1092	94.4532	3.828098785
		89.6018	-0.5788	6.2902	6.3168	95.2570	91.0072	-0.5927	6.7426	6.7686	95.0237	1.090004065
	2	91.0840	-1.2408	4.2841	4.4601	106.1522	85.6268	-0.8156	5.3440	5.4059	98.6780	15.54260745
		87.5915	-1.0389	4.8220	4.9327	102.1589	79.0397	-0.9714	4.1504	4.2626	103.1729	36.79444303
กาวหนังวัว	1	92.6718	-1.0434	6.3792	6.4640	99.2889	91.5365	0.4897	8.5994	8.6134	86.7405	4.28429487
		90.8901	-1.1757	4.7202	4.8644	103.9871	82.8420	0.7753	7.4673	7.5074	84.0725	38.06243651
2	88.0025	-1.1360	4.6829	4.8187	103.6355	83.9670	-0.7778	5.4529	5.5081	98.1180	8.503233745	

ตัวอย่างขาว	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
กาวเงลาติน	1	87.4685	-1.2830	3.6153	3.8620	109.5385	81.4469	-0.4734	5.6229	5.6428	94.8130	20.47278824
		91.7743	-1.1023	5.0616	5.1802	102.2863	84.9252	-1.1383	4.5089	4.6504	104.1681	23.60847205
	2	92.7200	-1.1135	6.1563	6.2562	100.2528	87.7162	-1.0043	5.9754	6.0592	99.5410	12.54133195
		86.0579	-1.3025	3.3135	3.5604	111.4593	81.3182	-0.8312	4.7298	4.8023	99.9676	12.34639274
กาวไข่มุก	1	81.6606	-1.1669	4.2995	4.4550	105.1845	56.4813	3.6606	5.6853	6.7619	57.2234	329.6111732
		77.5996	-0.5940	3.9140	3.9760	98.5923	65.7343	4.7463	7.8482	9.1718	58.8359	92.39103891
	2	91.4713	-1.1036	5.6254	5.7326	101.0993	79.5310	3.2153	2.8647	4.3064	41.6999	84.42256289
		93.7501	-1.1085	5.8631	5.9669	100.7061	84.4953	2.8209	3.4334	4.4436	50.5932	53.49747475
กาวน้ำผึ้ง	1	82.1999	-1.4881	4.6817	4.9125	107.6328	82.1136	-0.8751	5.3599	5.4309	99.2727	0.421585965
		84.0271	-1.1795	4.7259	4.8709	104.0139	89.1678	-1.7137	5.4398	5.7034	107.4864	13.61090967
	2	81.3161	-1.1723	4.6358	4.7817	104.1914	79.8228	-0.9600	4.6315	4.7300	101.7103	1.137517335
		81.5190	-1.2562	5.0592	5.2128	103.9449	82.0786	-1.1762	4.5793	4.7279	104.4055	0.274928085
กาว PVA	1	81.9879	-1.1240	4.6071	4.7422	103.7105	79.7090	-1.1986	4.0741	4.2467	106.3945	2.741519685
		80.5216	-1.1801	5.1625	5.2957	102.8761	86.0804	-1.4195	5.7435	5.9163	103.8826	15.6475654
	2	80.9969	-1.3359	4.4145	4.6122	106.8363	75.5329	-0.8898	4.6752	4.7592	100.7754	15.06113285
		82.3560	-1.4242	5.2799	5.4686	105.0957	78.1109	-1.2027	4.8210	4.9687	104.0075	9.140262735
กาว CMC	1	82.6535	-1.2373	4.1730	4.3526	106.5153	83.7705	-1.1345	5.5240	5.6393	101.6062	1.54172892
		82.8259	-1.2841	4.2501	4.4399	106.8113	85.0658	-0.8663	5.9180	5.9810	98.3283	3.98679963
	2	83.0225	-1.3767	5.1364	5.3177	105.0046	78.6392	-1.3914	4.5615	4.7689	106.9632	9.772022495
		79.5151	-1.3676	4.3216	4.5329	107.5597	83.3480	-1.2938	4.9099	5.0775	104.7623	7.52133287
กาวเม็ดสีสังเคราะห์	1	79.1142	-1.4382	3.7215	3.9898	111.1291	74.8140	-1.2552	3.6322	3.8430	109.0639	0.065791765
		82.2077	-1.2498	5.4870	5.6276	102.8311	88.8536	-1.3808	6.1525	6.2948	102.2049	22.30871903
	2	80.7488	-1.4187	4.0899	4.3290	109.1305	82.5257	-1.3835	4.4865	4.6949	107.1383	1.657952105
		82.0954	-1.2014	4.5768	4.7319	104.7086	87.4435	-1.1265	5.6688	5.7797	101.2395	14.90012381

ตารางที่ 4.16 ค่าสีของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกระดาษซีตริก

ความเข้มข้นกระดาษซีตริก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
0.10 ppm	1	73.9163	-1.0302	3.1510	3.3151	108.1041	89.8680	-1.3542	5.0889	5.2660	104.9019	2.080644265
		76.2373	-1.1756	3.7069	3.8889	107.5960	130.4705	-1.1518	12.1933	12.2476	95.3964	94.68021445
	2	90.6570	-1.2451	5.5376	5.6758	102.6723	88.9304	-0.9132	4.5032	4.5948	101.4634	7.37365132
		81.9561	-1.0272	3.4110	3.5623	106.7591	95.3950	-1.0771	6.3697	6.4602	99.5974	37.80564353
1.00 ppm	1	80.2389	-1.0548	4.2834	4.4114	103.8342	84.0671	-1.0586	4.5870	4.7075	102.9951	6.58383138
		83.8336	-1.2525	4.7256	4.8880	104.8445	92.4583	-0.9201	5.7817	5.8545	99.0424	7.495753845
	2	89.6560	-1.0959	5.6597	5.7648	100.9585	93.2664	-0.8977	5.9653	6.0325	98.5576	16.01992068
		91.6721	-1.1034	4.6528	4.7819	103.3406	95.3823	-0.7072	5.6867	5.7306	97.0889	376.6440445
2.00 ppm	1	78.1822	-0.7131	3.9076	3.9722	100.3418	83.7452	-0.4411	4.9170	4.9368	95.1268	47.56851048
		77.2633	-0.5697	4.8981	4.9311	96.6349	104.2724	0.1513	9.7227	9.7239	89.1082	4.188830825
	2	73.3832	-0.9352	2.9763	3.1198	107.4493	82.8706	-1.0522	5.2374	5.3421	101.3598	8.22961475
		91.7241	-0.8749	6.0283	6.0915	98.2579	88.9377	-0.8211	5.2468	5.3106	98.8946	18.77489593

ความเข้มข้นกระดองซีดิก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
3.00 ppm	1	96.8669	-1.0686	6.0805	6.1737	99.9678	99.9498	-0.9108	8.7130	8.7604	95.9674	30.84836097
		89.3469	-1.0967	3.6440	3.8055	106.7491	94.6385	-0.7336	6.7127	6.7527	96.2368	3.538647865
	2	91.1809	-1.1600	5.7368	5.8530	101.4316	98.7917	-1.0129	7.6735	7.7400	97.5197	39.49312675
		88.8404	-1.0491	4.7308	4.8457	102.5032	86.4155	-0.9745	5.8224	5.9034	99.5018	14.39009862
4.00 ppm	1	82.4918	-0.9899	4.8226	4.9231	101.5991	73.7119	-1.0031	3.4444	3.5875	106.2363	1.680808345
		77.1091	-1.0251	3.8698	4.0033	104.8367	82.4736	-0.9848	3.8965	4.0190	104.1844	33.24311894
	2	82.2122	-1.1524	4.1390	4.2965	105.5579	84.0406	-1.0246	4.1863	4.3098	103.7528	9.703496105
		88.2206	-1.0891	4.7005	4.8250	103.0450	80.1788	-1.1249	3.3535	3.5371	108.5440	19.2567039
5.00 ppm	1	87.1476	-0.6962	5.3775	5.4224	97.3767	82.9180	-0.8660	4.1574	4.2467	101.7665	0.455648205
		78.0241	-0.9984	3.0986	3.2555	107.8599	83.1867	-0.2434	6.4588	6.4634	92.1580	1.74979272
	2	94.4500	-1.0178	5.9788	6.0648	99.6613	95.2158	-1.0897	5.4134	5.5220	101.3813	24.17872001
		91.0597	-1.2806	4.9390	5.1023	104.5362	89.4453	-0.9094	5.8082	5.8790	98.8981	45.62098688
7.00 ppm	1	84.7261	-1.3847	4.9468	5.1369	105.6377	77.8408	-1.0399	4.0351	4.1670	104.4518	1.0393154
		77.9403	-1.2236	3.3137	3.5324	110.2662	86.8907	-1.0936	5.2618	5.3742	101.7415	141.6499149
	2	82.2106	-1.1959	4.3284	4.4906	105.4454	83.6104	-1.0209	4.6260	4.7373	102.4444	24.24174702
		95.8113	-1.1815	6.0377	6.1523	101.0717	79.0166	-0.4339	5.2137	5.2317	94.7570	6.467518305
9.00 ppm	1	89.4020	-0.9674	4.3873	4.4937	102.4351	82.4433	-0.9569	4.1426	4.2517	103.0069	29.72784881
		89.5959	-1.0857	4.5351	4.6632	103.4634	86.0135	-1.2524	4.8065	4.9670	104.6042	15.35987727
	2	91.6704	-0.9089	6.6412	6.7031	97.7930	84.2834	-0.9894	4.4318	4.5409	102.5848	6.62015357
		89.0045	-1.2283	3.6629	3.8633	108.5377	93.6310	-0.8813	6.6952	6.7530	97.4989	23.86496174
10.00 ppm	1	88.6369	-1.0965	4.7332	4.8586	103.0431	92.2058	-1.0473	5.4409	5.5408	100.8953	14.33964079
		87.8121	-1.0623	4.8406	4.9558	102.3782	94.5814	-0.8110	6.1983	6.2512	97.4543	17.955882163
	2	75.0429	-1.2132	2.8320	3.0810	113.1900	80.2491	-1.1237	4.0837	4.2363	105.3818	6.613583935
		78.9582	-1.0017	4.2803	4.3960	103.1721	84.8316	-1.3340	3.1382	3.4100	113.0294	27.88413693
15.00 ppm	1	92.9867	-1.2039	5.7486	5.8733	101.8288	89.3706	-0.8254	5.8365	5.8946	98.0498	1.27448722
		92.8595	-1.1845	4.2946	4.4550	105.4198	85.4025	-1.0043	4.6537	4.7608	102.1784	3.93254483
	2	87.2435	-1.0732	5.0600	5.1726	101.9746	88.4643	-0.8278	6.0592	6.1155	97.7798	2.034005445
		96.0441	-1.3153	4.8747	5.0490	105.1001	93.2706	-1.2499	5.2852	5.4310	103.3059	2.20971425
20.00 ppm	1	89.8450	-0.8745	5.5799	5.6480	98.9070	91.7492	-1.4735	5.8684	6.0506	104.0951	1.416934945
		88.8932	-1.0784	4.7171	4.8388	102.8775	90.9539	-1.3908	4.9916	5.1817	105.5693	236.7579781
	2	84.6131	-1.0812	4.0867	4.2273	104.8193	82.9414	-1.0234	3.8971	4.0292	104.7135	2.571148525
		82.8309	-1.2297	3.4144	3.6291	109.8065	104.5219	-1.4859	5.1322	5.3430	106.1470	21.49191121
30.00 ppm	1	89.3859	-1.1602	4.4792	4.6270	104.5215	87.2515	-1.0762	5.2405	5.3499	101.6052	2.46013222
		89.5836	-1.0591	4.5912	4.7117	102.9903	83.1484	-1.9234	3.6829	4.1549	117.5750	0.69699772
	2	82.9427	-1.0757	4.1257	4.2636	104.6141	80.7485	-1.1011	4.4499	4.5841	103.8986	8.65841282
		82.7440	-0.9814	4.4848	4.5909	102.3428	82.0978	-0.3506	5.2454	5.2571	93.8240	89.07025437
อ้างอิง	1	86.2466	-0.9672	5.3496	5.4363	100.2478	90.3458	-0.9402	6.0656	6.1380	98.8109	16.93469253
		87.8777	-0.9552	5.6772	5.7570	99.5508	74.6310	-1.0528	4.0475	4.1822	104.5803	109.4641932
	2	85.7052	-1.1569	3.9067	4.0744	106.4959	91.1709	-1.0703	5.9037	6.0000	100.2757	0
		89.4844	-1.2303	5.3522	5.4918	102.9461	104.2767	-0.9689	5.5711	5.6548	99.8659	0

ตารางที่ 4.17 ค่าสี่ของแผ่นตะกั่วก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกาว

ตัวอย่างกาว	หลอดทดลองที่	ค่าสี่ก่อนทำการทดลอง					ค่าสี่หลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
กาวมะขาม	1	51.6534	0.0860	2.9508	2.9520	88.3314	85.6708	-1.7460	-0.6557	1.8650	200.5843	586.7732845
		49.8627	0.0257	3.2488	3.2489	89.5461	86.3094	-1.7405	-0.7425	1.8923	203.1036	673.7059395
	2	50.8221	0.9305	3.1025	3.2390	73.3050	83.3936	-1.5455	-1.6541	2.2638	226.9442	544.8292159
		50.0158	0.7537	3.2469	3.3333	76.9319	75.6093	-1.3115	-2.6178	2.9279	243.3899	346.8434997
กาวมะขวิด	1	50.3288	0.0610	2.8814	2.8821	88.7865	55.0484	-0.1050	2.6559	2.6579	92.2637	11.17651521
		49.7863	-0.1924	2.4492	2.4568	94.4905	54.0870	-0.0326	2.3503	2.3505	90.7942	9.26566887
	2	49.7924	0.6293	3.0188	3.0837	78.2239	61.4410	0.5213	2.0505	2.1158	75.7351	68.31957543
		47.4906	0.3071	2.5430	2.5615	83.1140	62.6044	0.5556	2.3729	2.4371	76.8217	114.2588184
กาวกระเทียม	1	50.1660	0.4948	2.5940	2.6408	79.2008	78.8599	-1.0873	-4.3886	4.5213	256.0845	437.2998202
		50.0117	0.7405	2.8126	2.9085	75.2504	72.0439	-1.1669	-5.4894	5.6121	257.9991	278.9896078
	2	48.5756	0.0192	2.8082	2.8083	89.6084	68.9968	-1.0502	-4.9997	5.1088	258.1376	239.5661641
		51.4995	0.2194	2.8493	2.8577	85.5960	71.7634	-0.9667	-5.0621	5.1536	259.1885	237.3113632
กาวหนังควาย	1	52.7516	0.4942	3.5484	3.5827	82.0706	54.4760	-0.1895	2.4085	2.4160	94.4989	2.37018653
		52.2215	0.4257	3.9259	3.9489	83.8114	59.1357	-0.1083	3.3855	3.3872	91.8319	24.1916749
	2	50.5499	0.4429	2.8408	2.8751	81.1377	59.5380	-0.0846	2.8603	2.8616	91.6940	40.53228906
		51.1711	0.4646	2.9472	2.9836	81.0412	60.2574	-0.1916	2.6760	2.6829	94.0962	41.53249778
กาวหนังวัว	1	50.7121	-0.0729	3.2745	3.2753	91.2753	50.2128	-0.1451	2.3886	2.3930	93.4771	0.51966607
		50.5469	0.1183	3.0299	3.0322	87.7850	49.8459	0.0212	2.6813	2.6814	89.5476	0.311175685
	2	50.3842	-0.0442	2.3426	2.3430	91.0807	48.4612	-0.2468	1.3612	1.3834	100.2769	2.35106086
		52.6979	-0.1993	2.1145	2.1239	95.3850	49.4907	-0.3186	1.7605	1.7891	100.2563	5.212840165
กาวเงลาติน	1	50.1632	0.3422	2.5900	2.6126	82.4728	48.8192	-0.1465	1.6582	1.6646	95.0477	1.456707465
		51.2151	0.1554	2.8091	2.8134	86.8341	50.3945	-0.1247	2.0872	2.0909	93.4195	0.63648999
	2	50.2639	-0.1342	2.1719	2.1760	93.5368	48.7883	-0.2269	1.9768	1.9898	96.5490	1.11202633
		52.2169	0.0338	2.1782	2.1785	90.8879	53.1966	-0.1463	1.8907	1.8963	94.4238	0.527562295
กาวไข่แดง	1	49.3999	0.4520	2.5389	2.5788	79.9054	71.0008	0.3159	-0.0229	0.3168	355.8469	236.5901116
		49.6648	0.2991	2.9196	2.9349	84.1514	73.1578	0.8907	0.1085	0.8973	6.9448	280.0866614
	2	51.2077	0.0791	2.3854	2.3867	88.1011	53.2961	0.0082	1.7917	1.7917	89.7383	2.35946053
		50.7439	-0.0169	2.3675	2.3675	90.4101	53.3933	-0.0381	1.8997	1.9001	91.1483	3.61930332
กาวน้ำผึ้ง	1	50.8402	-0.0679	2.1429	2.1440	91.8184	61.853	0.2397	1.8336	1.8492	82.5522	60.73602405
		50.1553	0.0439	2.0689	2.0694	88.7840	60.8019	0.3696	1.6739	1.7142	77.5498	56.80609853
	2	49.0484	0.0420	2.8341	2.8344	89.1519	61.5669	0.0356	2.0755	2.0758	89.0164	78.64417859
		49.6435	0.0346	2.8855	2.8857	89.3123	59.7705	0.0818	1.9322	1.934	87.5769	51.73356887
กาว PVA	1	49.6510	0.0163	3.2853	3.2854	89.7151	69.4638	-0.6129	-3.9562	4.0034	261.1931	222.6911294
		51.9852	0.2927	2.2835	2.3022	82.6944	68.7896	-0.2554	-2.6638	2.6761	264.5239	153.5820251
	2	48.9624	-0.0219	2.2148	2.2149	90.5676	69.9798	-0.0357	-3.2244	3.2246	269.3654	235.6580949
		51.8954	0.3145	2.8661	2.8833	83.7377	75.749	-1.116	-3.4228	3.6001	251.9414	305.2954132
กาว CMC	1	50.4131	0.5519	3.2491	3.2956	80.3594	74.9988	-0.4876	-2.6984	2.7421	259.7577	320.4549805
		50.0639	0.1398	2.3900	2.3940	86.6511	74.5743	-0.8424	-3.5491	3.6477	256.6478	318.4986669
	2	49.9992	0.4062	3.1746	3.2005	82.7080	70.4428	-0.5595	-3.4481	3.4932	260.783	231.3667564
		49.8160	0.1447	2.8956	2.8992	87.1388	76.7133	-1.0066	-3.7397	3.8728	254.9353	384.4087225
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	51.3304	0.2953	2.5176	2.5349	83.3103	-	-	-	-	1320.617738	

ตัวอย่างขาว	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
		49.1858	0.5000	3.0441	3.0849	80.6731	-	-	-	-	-	
2	50.2400	-0.0101	2.9913	2.9913	90.1928	-	-	-	-	-	1266.502789	
	46.8558	0.0079	2.4090	2.4090	89.8112	-	-	-	-	-	1100.634669	

ตารางที่ 4.18 ค่าสีของแผ่นตะกั่วก่อนและหลังทำการทดลองการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างกระดาษซีติ๊ก

ความเข้มข้นกระดาษซีติ๊ก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
		48.9092	-0.0072	3.0559	3.0559	90.1354	51.8306	-0.2324	3.0117	3.0206	94.4127	
0.10 ppm	1	49.2356	0.1490	2.0972	2.1025	85.9362	52.9894	-0.0715	2.0150	2.0806	91.9693	7.073195765
		49.5586	0.8019	2.9642	3.0707	74.8626	51.8306	-0.2324	3.0117	3.0206	94.4127	3.11700837
2	49.6326	0.4826	2.7383	2.7812	79.9177	52.9894	-0.0715	2.0794	2.0806	91.9693	6.00464113	
	1.00 ppm	1	48.3863	0.4129	3.2932	3.3190	82.8529	52.3694	0.0292	2.0158	2.0160	89.1702
49.6278			0.5650	2.7451	2.8026	78.3692	51.6391	0.0314	2.2739	2.2741	89.2084	2.276043045
2	47.7142	0.3272	2.9110	2.9294	83.5878	51.4734	0.1353	1.8827	1.8876	85.8909	7.61290557	
	49.2224	0.1136	3.1253	3.1274	87.9183	51.1660	-0.0191	2.1442	2.1443	90.5096	2.37887373	
2.00 ppm	1	49.6363	0.5013	2.5894	2.6375	79.0443	51.8597	-0.0343	2.6800	2.6803	90.7322	2.61929164
		49.5296	0.4095	3.0857	3.1128	82.4414	51.5910	-0.2716	3.2686	3.2799	94.7495	2.37335979
2	49.0283	0.5722	3.0467	3.0999	79.3636	50.9502	-0.1116	1.9978	1.9978	90.3333	2.56735663	
	49.9059	0.7457	3.4266	3.5068	77.7222	91.6020	-0.0071	4.0503	4.0503	90.1002	869.7602324	
3.00 ppm	1	49.7757	0.7209	2.6237	2.7210	74.6361	49.8782	0.1385	2.0456	2.0503	86.1271	0.34194781
		49.4013	0.8494	2.5548	2.6923	71.6103	50.5866	0.1721	2.0332	2.0405	85.1619	1.06786897
2	49.1577	0.0474	3.2147	3.2151	89.1550	49.3329	-0.0262	1.5470	1.5472	90.9706	1.408667645	
	49.5557	0.0953	2.6526	2.6543	87.9431	48.7006	-0.2453	1.2021	1.2269	101.5317	1.47557731	
4.00 ppm	1	49.7379	0.1146	2.7538	2.7562	87.6180	50.6034	-0.1207	3.0563	3.0586	92.2624	0.447981295
		48.2914	-0.0957	2.0321	2.0344	92.6955	49.4085	-0.0695	1.9779	1.9791	92.0126	0.625768245
2	50.3148	-0.0152	2.1100	2.1101	90.4126	51.9736	-0.1777	1.7557	1.7647	95.7795	1.45177609	
	49.3936	-0.0723	2.0611	2.0624	92.0086	51.9153	-0.3300	2.8602	2.8791	96.5817	3.531970495	
5.00 ppm	1	51.8253	0.4955	2.7054	2.7504	79.6209	51.8952	-0.2821	2.7016	2.7163	95.9616	0.304781105
		52.1813	0.5278	2.7769	2.8266	79.2386	51.9627	-0.1309	2.1255	2.1295	93.5254	0.452996805
2	51.5560	0.1920	3.6302	3.6352	86.9731	52.6856	-0.3061	3.0637	3.0789	95.7058	0.92251101	
	49.7408	0.0063	3.2418	3.2418	89.8887	50.2625	-0.2585	2.6431	2.6557	95.5859	0.35036581	
7.00 ppm	1	51.6109	0.3712	3.3220	3.3427	83.6241	49.8623	-0.3158	2.2380	2.2602	98.0322	2.35231348
		49.6822	-0.1891	2.4571	2.4644	94.3999	51.0572	-0.0526	2.7374	2.7379	91.1006	0.99391267
2	49.5312	0.2826	3.2780	3.2901	85.0728	50.6841	-0.3566	2.7371	2.7602	97.4227	1.01516393	
	50.0339	0.1713	2.9279	2.9329	86.6511	50.4574	-0.0928	2.6571	2.6587	91.9999	0.16121685	
9.00 ppm	1	50.4192	0.4149	2.4259	2.4611	80.2945	52.0415	0.0290	2.2954	2.2956	89.2756	1.398903175
		51.3360	0.2680	3.0882	3.0998	85.0399	49.8248	0.0422	2.3344	2.3348	88.9641	1.45146276
2	50.3324	0.0980	1.9291	1.9316	87.0912	49.5082	-0.0894	1.7137	1.7160	92.9857	0.38041078	
	51.1307	0.4186	3.3739	3.3997	82.9274	51.9730	-0.1889	2.1399	2.1483	95.0437	1.30064077	
10.00 ppm	1	50.8483	0.2206	2.8802	2.8887	85.6205	48.9749	-0.0732	2.1504	2.1516	91.9503	2.06427702
		51.1358	0.3008	3.3768	3.3902	84.9089	52.5914	-0.0318	2.2168	2.2170	90.8206	1.78749706

ความเข้มข้นกรดอะซีติก	หลอดทดลองที่	ค่าสีก่อนทำการทดลอง					ค่าสีหลังทำการทดลอง					ΔE
		L*	a*	b*	C	H	L*	a*	b*	C	H	
	2	51.7197	0.1435	2.8935	2.8971	87.1609	52.2710	0.0342	2.3869	2.3872	89.1794	0.28626087
		50.3814	0.0878	2.9345	2.9358	88.2857	52.6023	-0.1892	2.6018	2.6087	94.1584	2.55990755
15.00 ppm	1	49.6692	0.1352	3.4146	3.4172	87.7325	50.3573	-0.1178	3.1282	3.1304	92.1560	0.309757785
		50.6945	0.0563	2.5452	2.5458	88.7319	50.1325	-0.0297	2.1075	2.1077	90.8082	0.257410645
	2	49.8138	0.0600	2.7246	2.7252	88.7393	51.7662	-0.1652	2.9851	2.9896	93.1668	1.965220525
		49.5025	-0.0129	1.7599	1.7599	90.4194	51.8342	-0.1414	1.5749	1.5812	95.1291	2.74378107
20.00 ppm	1	50.5915	0.2076	2.4696	2.4783	85.1958	52.0885	0.1728	1.6127	1.6219	83.8837	1.488248825
		50.7486	0.5638	2.7517	2.8088	78.4208	51.6457	0.0788	1.5332	1.5352	87.0566	1.26237783
	2	49.8138	0.0600	2.7246	2.7252	88.7393	52.1624	-0.3549	2.1454	2.1745	99.3935	3.011768305
		49.5025	0.0129	1.7599	1.7599	90.4194	51.4853	-0.2889	1.7278	1.7517	99.4919	2.011804745
30.00 ppm	1	51.1847	0.1404	2.6999	2.7036	87.0233	51.9055	-0.1480	2.2936	2.2983	93.6925	0.383903445
		51.7544	0.0216	2.9229	2.9230	89.5772	53.8524	-0.2330	3.2798	3.2881	94.0630	2.296901385
	2	49.8791	0.2095	1.9987	2.0096	84.0170	52.2858	0.0199	2.0565	2.0566	89.4466	2.915746945
		51.1222	0.4712	3.5181	3.5495	82.3708	50.4258	-0.2432	1.9081	1.9235	97.2624	1.79372016
อ้างอิง	1	48.1947	0.0789	3.5170	3.5178	88.7147	50.2811	-0.1912	3.5328	3.5380	93.0975	2.213134305
		48.7362	0.1323	2.6926	2.6959	87.1870	51.5789	-0.1657	2.4404	2.4460	93.8840	4.116676065
	2	49.0600	0.4293	2.7265	2.7601	81.0525	49.1336	-0.0420	1.2079	1.2086	91.9924	1.266843305
		49.2955	0.8655	3.3278	3.4385	75.4218	47.4607	-0.1294	1.1666	1.1738	96.3270	4.513551245

#### 4.3.2.2 ผลการประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะ

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ควบคู่กับการชั่งน้ำหนักของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นทอง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไขแดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 10.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ผลการวัดชั่งน้ำหนักของแผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่วแสดงดังตารางที่ 4.19-4.24 ตามลำดับ

จากผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นโลหะ สามารถวิเคราะห์ได้หลายแง่มุม แผ่นโลหะที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการพอกพูนที่ผิวโลหะจากการระเหยของสารตัวอย่าง ก่อตัวเป็นผลึก ทำให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม แผ่นโลหะที่มีน้ำหนักลดลง อาจเกิดการกัดกร่อนที่ผิวโลหะ อันเนื่องมาจากสารระเหยที่ถูกปล่อยจากตัวอย่าง

ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักแผ่นทองแดง พบว่า แผ่นทองแดงหลังทำการสอบมีน้ำหนักลดลง สามารถเรียงลำดับกาวที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบที่ทำให้มีน้ำหนักลดลงจากมากไปน้อย

ได้แก่ กาวน้ำผึ้ง กาวเจลาติน กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวไข่แดง กาว PVA กาว CMC กาวมะขาม กาวหนังวัว กาวหนังควาย กาวมะขวิดและกาวกระถิน ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.19 การชั่งน้ำหนักแผ่นเงิน พบว่า แผ่นเงินหลังทำการสอบมีน้ำหนักลดลง สามารถเรียงลำดับกาวที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบที่ทำให้น้ำหนักลดลงจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวเจลาติน กาวหนังควาย กาวกระถิน กาวหนังวัว กาวน้ำผึ้ง กาวมะขาม กาว CMC กาวมะขวิด กาว PVA กาวไข่แดงและกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.21 การชั่งน้ำหนักแผ่นตะกั่ว พบว่า แผ่นตะกั่วหลังทำการสอบมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น สามารถเรียงลำดับกาวที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวไข่แดง กาวมะขาม กาวกระถิน กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวมะขวิด กาวเจลาติน กาว PVA กาว CMC กาวน้ำผึ้งและกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.23

**ตารางที่ 4.19** ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ โดยใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ตัวอย่างกาว	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นทองแดงก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นทองแดงหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นทองแดง (น้ำหนักหลัง-น้ำหนักก่อน) (กรัม)
กาวมะขาม	1	0.05823	0.05593	-0.00230
	2	0.07190	0.06775	-0.00414
กาวมะขวิด	1	0.07138	0.06992	-0.00146
	2	0.06477	0.06304	-0.00173
กาวกระถิน	1	0.07157	0.07180	0.00023
	2	0.06820	0.06806	-0.00014
กาวหนังควาย	1	0.07118	0.06902	-0.00216
	2	0.06498	0.06260	-0.00238
กาวหนังวัว	1	0.06871	0.06556	-0.00315
	2	0.07382	0.07037	-0.00345
กาวเจลาติน	1	0.06790	0.06357	-0.00433
	2	0.06445	0.06024	-0.00421
กาวไข่แดง	1	0.06852	0.06431	-0.00422
	2	0.06663	0.06239	-0.00424
กาวน้ำผึ้ง	1	0.06219	0.05759	-0.00460
	2	0.07822	0.07389	-0.00434
กาว PVA	1	0.07633	0.07214	-0.00420
	2	0.06881	0.06467	-0.00414
กาว CMC	1	0.06129	0.05718	-0.00411
	2	0.06833	0.06414	-0.00419
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	0.06557	0.06132	-0.00425
	2	0.06192	0.05760	-0.00432

ตารางที่ 4.20 ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นทองแดงก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ โดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ความเข้มข้นกรดอะซิติก	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นทองแดงก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นทองแดงหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นทองแดง (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
0.10 ppm	1	0.06641	0.06570	-0.00071
	2	0.07042	0.07034	-0.00008
1.00 ppm	1	0.06846	0.06837	-0.00009
	2	0.06639	0.06622	-0.00016
2.00 ppm	1	0.06962	0.06960	-0.00002
	2	0.07031	0.07030	-0.00001
3.00 ppm	1	0.06369	0.06373	0.00003
	2	0.07021	0.07024	0.00003
4.00 ppm	1	0.06399	0.06388	-0.00011
	2	0.07490	0.07473	-0.00017
5.00 ppm	1	0.07070	0.07075	0.00005
	2	0.06484	0.06463	-0.00021
7.00 ppm	1	0.06293	0.06275	-0.00018
	2	0.07244	0.07213	-0.00031
9.00 ppm	1	0.07213	0.07212	-0.00001
	2	0.06692	0.06719	0.00027
10.00 ppm	1	0.06307	0.06330	0.00024
	2	0.07020	0.07317	0.00297
15.00 ppm	1	0.06624	0.06653	0.00029
	2	0.06665	0.06695	0.00031
20.00 ppm	1	0.08273	0.08320	0.00047
	2	0.07308	0.07069	-0.00240
30.00 ppm	1	0.06850	0.06883	0.00033
	2	0.07301	0.07337	0.00035
อ้างอิง	1	0.06516	0.06582	0.00066
	2	0.07134	0.07200	0.00066

ตารางที่ 4.21 ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ตัวอย่างกาว	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นทองแดง (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
กาวมะขาม	1	0.09156	0.08709	-0.00447
	2	0.08327	0.07879	-0.00448
กาวมะขวิด	1	0.08259	0.07824	-0.00435

ตัวอย่างกาว	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นทองแดง (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
	2	0.06964	0.06528	-0.00436
กาวกระถิน	1	0.06933	0.06484	-0.00449
	2	0.08298	0.07839	-0.00460
กาวหนังควาย	1	0.07724	0.07252	-0.00472
	2	0.07272	0.06795	-0.00478
กาวหนังวัว	1	0.07424	0.06970	-0.00454
	2	0.07136	0.06692	-0.00444
กาวเจลาติน	1	0.06090	0.05650	-0.00440
	2	0.06252	0.05771	-0.00481
กาวไข่แดง	1	0.08212	0.07760	-0.00452
	2	0.07664	0.07223	-0.00440
กาวน้ำผึ้ง	1	0.06685	0.06231	-0.00454
	2	0.05913	0.05486	-0.00427
กาว PVA	1	0.05389	0.04960	-0.00429
	2	0.06471	0.06060	-0.00411
กาว CMC	1	0.06230	0.05782	-0.00448
	2	0.05138	0.04726	-0.00412
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	0.06595	0.06599	0.00004
	2	0.06674	0.06672	-0.00003

ตารางที่ 4.22 ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นเงินก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ความเข้มข้นกรดอะซีติก	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักเงิน (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
0.10 ppm	1	0.08469	0.08505	0.00035
	2	0.07449	0.07494	0.00046
1.00 ppm	1	0.08754	0.08799	0.00045
	2	0.06984	0.07037	0.00053
2.00 ppm	1	0.07986	0.08009	0.00023
	2	0.08946	0.08946	0.00001
3.00 ppm	1	0.06942	0.06994	0.00052
	2	0.06534	0.06576	0.00042
4.00 ppm	1	0.08451	0.08490	0.00039
	2	0.07485	0.07555	0.00070
5.00 ppm	1	0.08298	0.08358	0.00060
	2	0.06963	0.07029	0.00065
7.00 ppm	1	0.07876	0.07983	0.00107
	2	0.06824	0.06940	0.00116

ความเข้มข้นกรดอะซิดิก	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นเงิน (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
9.00 ppm	1	0.07556	0.07702	0.00146
	2	0.07404	0.07511	0.00107
10.00 ppm	1	0.08009	0.08119	0.00109
	2	0.09689	0.09786	0.00097
15.00 ppm	1	0.07563	0.07670	0.00107
	2	0.06486	0.06569	0.00083
20.00 ppm	1	0.06485	0.06606	0.00121
	2	0.07276	0.07397	0.00121
30.00 ppm	1	0.07260	0.07371	0.00111
	2	0.07734	0.07837	0.00103
อ้างอิง	1	0.07351	0.07447	0.00096
	2	0.07470	0.07570	0.00100

ตารางที่ 4.23 ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นตะกั่วก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้การเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ตัวอย่างกาว	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นเงิน (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
กาวมะขาม	1	0.08639	0.08732	0.00094
	2	0.09186	0.11550	0.02364
กาวมะขวิด	1	0.08259	0.10489	0.02230
	2	0.09310	0.11502	0.02193
กาวกระถิน	1	0.10179	0.12510	0.02331
	2	0.08799	0.11181	0.02383
กาวหนังควาย	1	0.08182	0.10505	0.02323
	2	0.09112	0.11457	0.02346
กาวหนังวัว	1	0.08737	0.11038	0.02301
	2	0.08727	0.11013	0.02287
กาวเจลาติน	1	0.06895	0.06846	-0.00049
	2	0.06762	0.08014	0.01253
กาวไขแดง	1	0.08800	0.11196	0.02396
	2	0.07039	0.07015	-0.00023
กาวน้ำผึ้ง	1	0.07348	0.07312	-0.00036
	2	0.07839	0.07820	-0.00019
กาว PVA	1	0.06688	0.0671	0.00022
	2	0.07127	0.07161	0.00034
กาว CMC	1	0.07049	0.07064	0.00015
	2	0.08761	0.08764	0.00004

ตัวอย่างขาว	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นเงินหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นเงิน (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	0.07827	0.03725	-0.04102
	2	0.07865	0.04386	-0.03478

ตารางที่ 4.24 ผลการชั่งน้ำหนักของแผ่นตะกั่วก่อนและหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ





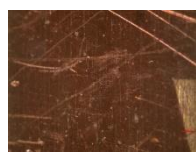






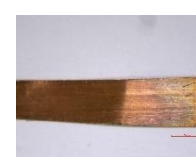
ความเข้มข้นกรดอะซีติก	หลอดทดลองที่	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นตะกั่วก่อนทำการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยแผ่นตะกั่วหลังทำการทดลอง (กรัม)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นตะกั่ว (น้ำหนัก <sub>หลัง</sub> -น้ำหนัก <sub>ก่อน</sub> ) (กรัม)
0.10 ppm	1	0.08338	0.08448	0.00110
	2	0.09373	0.09376	0.00003
1.00 ppm	1	0.08908	0.08923	0.00015
	2	0.09772	0.09819	0.00047
2.00 ppm	1	0.09081	0.09147	0.00065
	2	0.08333	0.08382	0.00049
3.00 ppm	1	0.07897	0.07938	0.00041
	2	0.08932	0.08908	-0.00024
4.00 ppm	1	0.07910	0.07892	-0.00018
	2	0.07609	0.07580	-0.00029
5.00 ppm	1	0.08462	0.08452	-0.00010
	2	0.09249	0.09185	-0.00064
7.00 ppm	1	0.08557	0.08554	-0.00003
	2	0.09512	0.09483	-0.00029
9.00 ppm	1	0.08465	0.08488	0.00022
	2	0.08237	0.08167	-0.00071
10.00 ppm	1	0.09009	0.08987	-0.00022
	2	0.09010	0.08946	-0.00065
15.00 ppm	1	0.08615	0.08579	-0.00036
	2	0.09980	0.09962	-0.00019
20.00 ppm	1	0.08043	0.08026	-0.00017
	2	0.09825	0.09806	-0.00020
30.00 ppm	1	0.08779	0.08781	0.00002
	2	0.08653	0.08647	-0.00006
อ้างอิง	1	0.08368	0.08352	-0.00015
	2	0.09370	0.09330	-0.00039

#### 4.3.2.3 ผลการประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของโลหะ









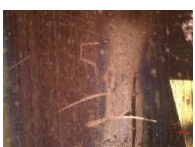
การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ควบคู่กับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในการถ่ายภาพของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นทอง แผ่นเงิน และแผ่นตะกั่ว โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 10.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่วแสดงดังตารางที่ 4.25-4.30 ตามลำดับ นอกเหนือจากนี้ ได้มีการประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิดเพื่อประเมินความเหมาะสมของตัวอย่างที่จะนำไปใช้งานอนุรักษ์อีกด้วยแสดงดังตารางที่ 4.31-4.32












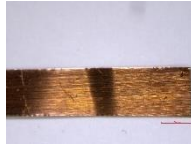




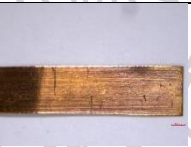
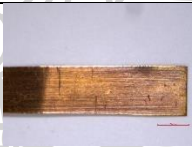

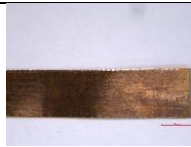





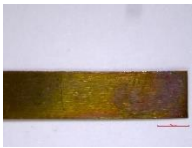
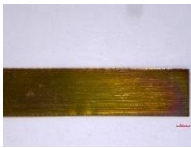
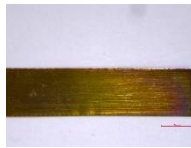




จากผลการประเมินภาพถ่ายพื้นผิวของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด พบว่า กาวที่ได้ผลลัพธ์ว่าเหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ ได้แก่ กาวเจลาติน ถัดมากาวที่สามารถใช้กับงานอนุรักษ์ได้ชั่วคราว ได้แก่ กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวไข่แดงและกาวน้ำผึ้ง มากไปกว่านี้ กาวที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์




















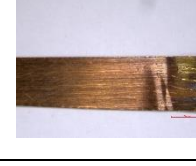
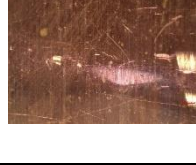
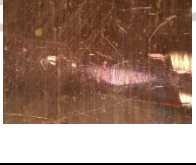
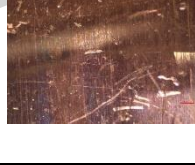
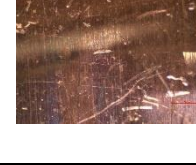








**ตารางที่ 4.25** ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นทองแดงหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
กาวมะขาม	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				













ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
กาวกระถิน	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวมะขวิด	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวหนัง ควาย	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวหนังวัว	แนวนอน				
	แนวตั้ง				













ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวเจ ลาติน	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวไขแดง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				













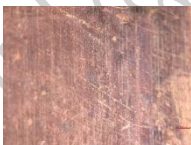







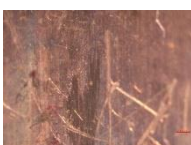



ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวน้ำผึ้ง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาว PVA	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

















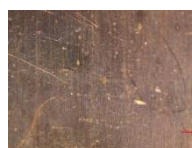





ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาว CMC	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	แนวนอน				





















ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
แนวตั้ง					
แนว นอน					
แนวตั้ง					








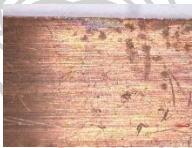








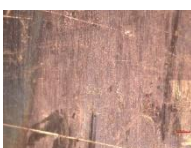





ตารางที่ 4.26 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นทองแดงหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่อนงานอนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ





























ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
0.10 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				






















ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
1.00 ppm	แนวอน				
	แนวตั้ง				
	แนวอน				
	แนวตั้ง				
2.00 ppm	แนวอน				
	แนวตั้ง				




ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
3.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
4.00 ppm	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
5.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
7.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
9.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				








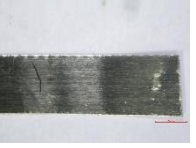



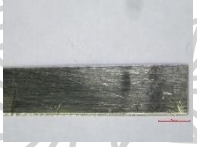










ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ แนวตั้ง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
10.00 ppm	แนวอน				
	แนวตั้ง				
	แนวอน				
	แนวตั้ง				
15.00 ppm	แนวอน				
	แนวตั้ง				





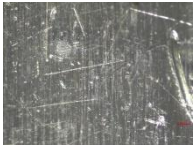
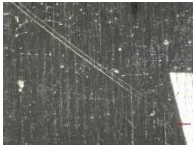



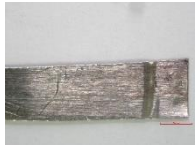





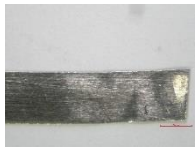



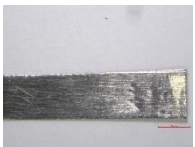

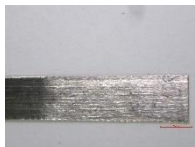
ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
20.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
30.00 ppm	แนวนอน				


ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
แนวนอน					
แนวตั้ง					
อ้างอิง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ตารางที่ 4.27 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นเงินหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ โดยใช้กาวเป็นตัวช่วยในการทดสอบ


























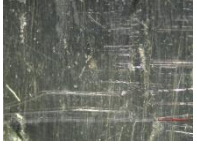


ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
กาวมะขาม	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวกระถิน	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				







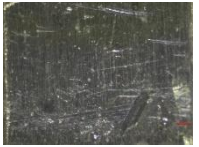
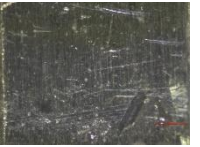
ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
กาว มะขวิด	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวหนัง ควาย	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวหนัง วัว	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวเจ ลาติน	แนวนอน				













ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวไขแดง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				













ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
กาวน้ำผึ้ง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาว PVA	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				






ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
กาว CMC	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	แนวนอน				
	แนวตั้ง				





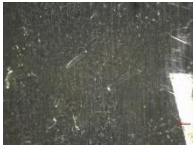
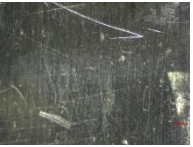
















ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
แนวนอน					
แนวตั้ง					












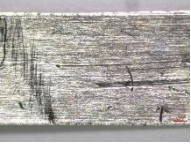








ตารางที่ 4.28 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นเงินหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ โดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

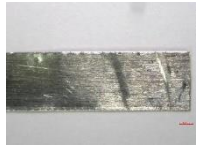
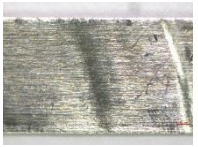




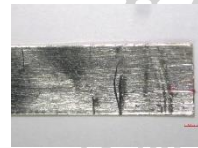















ความเข้มข้นกรดอะซิติก	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
0.10 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				












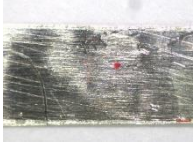








ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
1.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
2.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
3.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
4.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
5.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
7.00 ppm	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
9.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

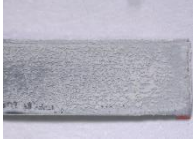


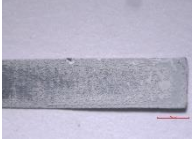





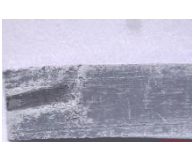





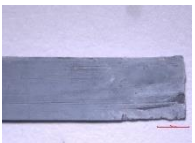


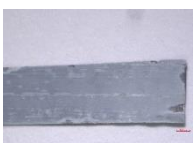




ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
10.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
15.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
		แนวตั้ง		แนวตั้ง	
	แนวตั้ง				
20.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
30.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

















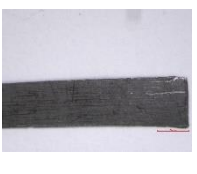



ความเข้มข้น กรดอะซิติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
อ้างอิง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

















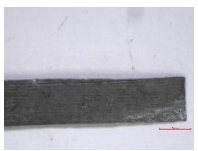





ตารางที่ 4.29 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นตะกั่วหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบ







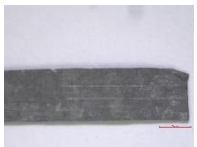





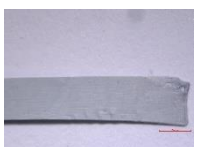



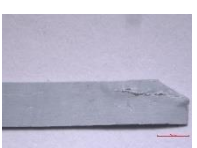

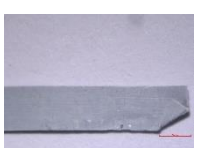

ตัวอย่าง	การวาง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์
----------	--------	--------------------------



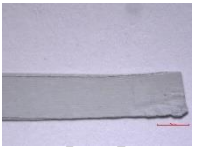









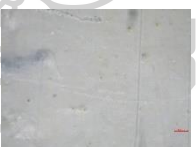

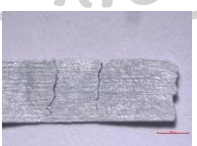
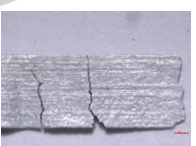
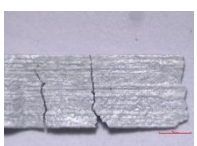

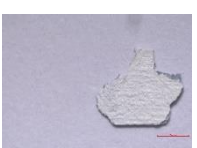

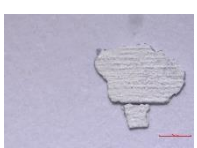

	แผ่นโลหะ	ด้านหน้า		ด้านหลัง	
กาวมะขาม	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวกระถิน	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

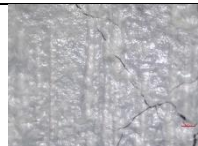
ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
กาวมะขวิด	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวหนังควาย	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				

ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
	แนวตั้ง				
หนังวัว	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวเจ ลาติน	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
















ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวสีแดง	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวน้ำผึ้ง	แนวนอน				

ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาว PVA	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ตัวอย่าง	การวางแผ่นโลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
กาวCMC	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	แนวนอน				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				


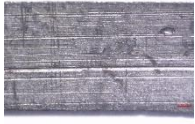




















ตัวอย่าง	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					

ตารางที่ 4.30 ผลการถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นตะกั่วหลังทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบ





















ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
0.10 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
1.00 ppm	แนวนอน				






















ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
2.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
3.00 ppm	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
4.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
5.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
7.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
		แนวตั้ง			
9.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
10.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
	แนวตั้ง				
15.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
20.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
					
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
30.00 ppm	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				
	อ้างอิง	แนวนอน			

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	การวาง แผ่น โลหะ	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์			
		ด้านหน้า		ด้านหลัง	
	แนวตั้ง				
	แนวนอน				
	แนวตั้ง				

ตารางที่ 4.31 ผลการประเมินการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกา

ตัวอย่าง	หลอด ทดลองที่	ผลการทดสอบ				คะแนนรวม	ลำดับความ เหมาะสมใน งานอนุรักษ์
		แผ่น ทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
กาวมะขาม	1	P	P	U	U	4	4
	2	T	P	U	U	3	
กาวกระถิน	1	T	P	U	U	3	4
	2	P	P	U	U	4	
กาวมะขวิด	1	T	T	T	T	3	5
	2	T	P	U	U	3	
กาวหนังควาย	1	P	T	T	T	4	4
	2	T	P	U	U	3	
กาวหนังวัว	1	T	T	P	T	4	3

ตัวอย่าง	หลอด ทดลองที่	ผลการทดสอบ				คะแนนรวม	ลำดับความ เหมาะสมใน งานอนุรักษ์
		แผ่น ทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
	2	T	P	T	T	4	
กาวเจลาติน	1	P	P	P	P	6	1
	2	T	P	P	T	5	
กาวไข่แดง	1	P	T	U	U	3	4
	2	T	P	T	T	4	
กาวน้ำผึ้ง	1	P	P	T	T	5	2
	2	P	P	T	T	5	
กาว PVA	1	P	P	U	U	4	3
	2	P	P	U	U	4	
กาว CMC	1	T	P	U	U	3	5
	2	T	P	U	U	3	
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	1	U	P	U	U	2	6
	2	T	P	U	U	3	

หมายเหตุ: เกณฑ์เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (P) เท่ากับ 2 คะแนน ใช้ได้ชั่วคราวในงานอนุรักษ์ (T) เท่ากับ 1 คะแนน และไม่เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (U) เท่ากับ 0 คะแนน

ตารางที่ 4.32 ผลการประเมินการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติก

ตัวอย่าง	หลอด ทดลองที่	ผลการทดสอบ				คะแนนรวม	ลำดับความ เหมาะสมใน งานอนุรักษ์
		แผ่น ทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
0.10 ppm	1	T	P	P	T	5	1
	2	T	P	T	T	4	
1.00 ppm	1	T	T	T	T	3	3
	2	P	T	T	T	4	
2.00 ppm	1	P	P	T	T	5	1
	2	T	P	T	T	4	
3.00 ppm	1	P	T	T	T	4	2

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ผลการทดสอบ				คะแนนรวม	ลำดับความเหมาะสมในงานอนุรักษ์
		แผ่นทองแดง	แผ่นเงิน	แผ่นตะกั่ว	ผลสุดท้าย		
	2	T	T	P	T	4	
4.00 ppm	1	T	P	P	T	5	1
	2	T	T	P	T	4	
5.00 ppm	1	P	T	T	T	4	1
	2	P	T	P	T	5	
7.00 ppm	1	P	T	T	T	4	2
	2	T	T	P	T	4	
9.00 ppm	1	T	T	T	T	3	4
	2	T	T	T	T	3	
10.00 ppm	1	T	T	T	T	3	4
	2	T	T	T	T	3	
15.00 ppm	1	T	T	P	T	4	2
	2	T	T	P	T	4	
20.00 ppm	1	T	T	P	T	4	3
	2	T	T	T	T	3	
30.00 ppm	1	T	T	P	T	4	3
	2	T	T	T	T	3	

หมายเหตุ: เกณฑ์เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (P) เท่ากับ 2 คะแนน ใช้ได้ชั่วคราวในงานอนุรักษ์ (T) เท่ากับ 1 คะแนน และไม่เหมาะสมในงานอนุรักษ์ (U) เท่ากับ 0 คะแนน

#### 4.3.2.4 ผลการประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวิเคราะห์ความเงาของแผ่นโลหะ

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ควบคู่กับการวิเคราะห์ความเงาของแผ่นโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นทอง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ นอกจากนี้ ยังมีการใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ ได้แก่ 0.10, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 7.00, 9.00, 10.00, 20.00 และ 30.00 ppm. ผลการวัดความเงาของแผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว แสดงดังตารางที่ 4.33-4.38 ตามลำดับ

จากผลการวัดความของแผ่นโลหะ พบว่า แผ่นโลหะทุกชนิดที่ผ่านการทดสอบมีความเงาลดลง อันเนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวโลหะจากการปลดปล่อยสารระเหยของตัวอย่าง โดย กาวที่ทำให้แผ่นทองแดงมีความเงาลดลงจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ มะขาม กาว PVA กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวน้ำผึ้ง กาวหนังควาย กาว CMC และกาวไข่แดง ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.33 อีกทั้งกาวที่ทำให้แผ่นเงินมีความเงาลดลงจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวไข่แดง กาวเจลาติน กาวหนังวัว กาว PVA กาวมะขาม กาวน้ำผึ้ง กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวหนังควาย กาว CMC กาวกระถินและกาวมะขวิด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.35 กาวที่ทำให้แผ่นตะกั่วมีความเงาลดลงจากมากไปน้อย ได้แก่ กาวหนังควาย กาวมะขาม กาว PVA กาวมะขวิด กาวกระถิน กาวน้ำผึ้ง กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาว CMC กาวหนังวัว กาวไข่แดงและกาวเจลาติน ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.37

**ตารางที่ 4.33** การวัดความเงาของแผ่นทองแดงที่ใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงก่อนทำการทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงหลังทำการทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นทองแดง (ความเงาหลัง-ความเงาก่อน)
กาวมะขาม	1	74.1	37.4	-36.7
		61.1	58.8	-2.3
	2	90.3	44.6	-45.7
		92.3	47.7	-44.6
กาวมะขวิด	1	82.1	55.5	-26.6
		94.9	74.0	-20.9
	2	82.8	55.3	-27.5
		86.3	49.1	-37.1
กาวกระถิน	1	96.5	61.3	-35.2
		88.0	75.2	-12.9
	2	95.4	62.3	-33.1
		86.1	47.8	-38.3
กาวหนังควาย	1	70.4	55.5	-14.9
		68.3	70.2	1.9
	2	81.6	63.2	-18.4
		92.1	70.7	-21.4
กาวหนังวัว	1	95.4	59.2	-36.2
		85.9	86.4	0.6
	2	81.3	83.5	2.1

ตัวอย่าง	หลอดทดลองที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงก่อนทำการทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงหลังทำการทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นทองแดง (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
		87.7	63.4	-24.3
กาวเจลาติน	1	81.7	69.1	-12.6
		74.4	56.4	-18.1
	2	71.7	52.6	-19.1
		88.0	52.3	-35.7
กาวไซเตรต	1	89.9	83.4	-6.5
		81.6	80.4	-1.2
	2	82.9	82.4	-0.5
		93.1	75.0	-18.2
กาวน้ำผึ้ง	1	91.7	85.4	-6.3
		88.6	80.4	-8.2
	2	88.3	87.2	-1.1
		89.1	65.2	-23.9
กาว PVA	1	85.5	64.2	-21.3
		82.6	60.4	-22.1
	2	88.4	51.5	-36.9
		89.0	46.4	-42.6
กาว CMC	1	88.6	69.0	-19.6
		85.8	69.1	-16.8
	2	80.9	157.2	76.2
		90.8	71.7	-19.1
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	1	71.6	13.5	-58.1
		44.8	11.7	-33.1
	2	90.4	7.2	-83.3
		71.0	12.9	-58.1

ตารางที่ 4.34 การวัดความเงาของแผ่นทองแดงที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ความเข้มข้นกรดอะซีติก	หลอดทดลองที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงก่อนทำการทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงหลังทำการทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นทองแดง (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
0.10 ppm.	1	72.98	37.8	-35.18
		74.82	30.42	-44.40
	2	50.10	34.4	-15.70
		80.38	31.72	-48.66
1.00 ppm.	1	43.06	30.72	-12.34
		49.60	32.38	-17.22
	2	85.08	54.74	-30.34
		72.60	68.98	-3.62
2.00 ppm.	1	60.38	44.46	-15.92
		50.06	52.66	2.60
	2	38.61	55.54	16.93
		62.50	34.42	-28.08

ความเข้มข้น กรดอะซิติก	หลอด ทดลองที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดงก่อนทำ การทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นทองแดง หลังทำการทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นทองแดง (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
3.00 ppm.	1	53.52	31	-22.52
		47.72	39.26	-8.46
	2	72.01	45.86	-26.15
		46.84	44.3	-2.54
4.00 ppm.	1	90.04	47.08	-42.96
		97.59	46	-51.59
	2	73.22	58.66	-14.56
		51.37	33.66	-17.71
5.00 ppm.	1	33.62	38.66	5.04
		35.00	33.24	-1.76
	2	41.99	20.46	-21.53
		23.76	29.04	5.28
7.00 ppm.	1	88.21	35.66	-52.55
		69.19	43.46	-25.73
	2	49.83	33.68	-16.15
		51.14	38.52	-12.62
9.00 ppm.	1	85.07	81.46	-3.61
		72.24	55.52	-16.72
	2	38.12	20.98	-17.14
		70.30	43.4	-26.90
10.00 ppm.	1	82.36	43.5	-38.86
		67.06	36.3	-30.76
	2	73.69	49.74	-23.95
		75.23	48.5	-26.73
15.00 ppm.	1	35.51	26.2	-9.31
		30.60	32.88	2.28
	2	26.65	22.42	-4.23
		56.61	47.86	-8.75
20.00 ppm.	1	74.11	71.72	-2.39
		31.69	24.96	-6.73
	2	48.66	41.48	-7.18
		51.92	46.94	-4.98
30.00 ppm.	1	85.36	33.16	-52.20
		61.01	35.82	-25.19
	2	85.14	51.1	-34.04
		53.40	44.14	-9.26
อ้างอิง	1	78.36	76.3	-2.06
		47.32	34.44	-12.88
	2	37.34	21.56	-15.78
		56.00	32.66	-23.34

ตารางที่ 4.35 การวัดความเงาของแผ่นเงินที่ใช้กาวเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ตัวอย่าง	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินก่อนทำการ ทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นเงิน (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
กาวมะขาม	1	85.5	62.1	-23.4
		75.7	57.6	-18.1
	2	73.0	74.1	1.1
		84.7	82.0	-2.7
กาวมะขวิด	1	80.2	81.9	1.7
		81.4	74.1	-7.3
	2	78.4	78.7	0.3
		85.2	80.7	-4.5
กาวกระถิน	1	73.3	76.6	3.3
		77.7	72.7	-5.0
	2	90.1	74.1	-16.1
		75.4	85.4	9.9
กาวหนังควาย	1	99.1	94.4	-4.8
		94.7	97.6	2.9
	2	81.8	80.7	-1.1
		97.3	77.9	-19.3
กาวหนังวัว	1	73.5	83.1	9.6
		80.9	85.5	4.6
	2	82.9	70.4	-12.5
		90.4	61.9	-28.5
กาวเจลาติน	1	90.9	80.7	-10.3
		90.5	61.7	-28.7
	2	81.6	64.4	-17.2
		71.3	68.8	-2.5
กาวไข่แดง	1	89.3	74.1	-15.2
		94.2	60.2	-34.1
	2	98.7	97.7	-1.0
		96.8	97.2	0.3
กาวน้ำผึ้ง	1	89.2	68.7	-20.5
		97.7	65.6	-32.2
	2	67.6	68.4	0.8
		68.5	69.7	1.2
กาว PVA	1	89.6	94.4	4.7
		92.0	87.9	-4.1
	2	95.9	71.1	-24.8
		87.8	84.6	-3.2
กาว CMC	1	73.7	77.5	3.8
		78.6	65.7	-12.9
	2	98.2	81.5	-16.7
		82.4	76.7	-5.7
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	1	83.8	63.3	-20.5
		87.1	59.8	-27.3

ตัวอย่าง	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินก่อนทำการ ทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นเงิน (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
	2	97.5	95.1	-2.4
		87.4	84.4	-3.0

**ตารางที่ 4.36** การวัดความเงาของแผ่นเงินที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องาน  
อนุรักษ์

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินก่อนทำการ ทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินหลังทำการ ทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นเงิน (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
0.10 ppm.	1	76.4	57.56	-18.9
		76.8	80.98	4.2
	2	93.3	61.5	-31.8
		84.1	46.6	-37.5
1.00 ppm.	1	78.3	71.22	-7.1
		91.7	65.2	-26.5
	2	95.7	80.46	-15.2
		83.7	71.44	-12.2
2.00 ppm.	1	55.6	82.16	26.6
		48.9	74.44	25.6
	2	51.9	85.1	33.2
		75.3	76.16	0.8
3.00 ppm.	1	90.4	90.62	0.2
		67.9	61.34	-6.5
	2	92.5	71.3	-21.2
		94.1	75.6	-18.5
4.00 ppm.	1	87.3	79.32	-8.0
		88.4	90.74	2.4
	2	63.0	72.74	9.7
		78.7	66.58	-12.2
5.00 ppm.	1	79.5	88.34	8.8
		64.1	97.14	33.0
	2	92.7	95.82	3.1
		81.4	98.06	16.7
7.00 ppm.	1	87.2	81.54	-5.7
		65.7	61.16	-4.6
	2	72.0	95.46	23.5
		79.6	89.3	9.7
9.00 ppm.	1	78.2	61.46	-16.8
		87.5	52.2	-35.3
	2	88.5	64.74	-23.8
		82.8	72.24	-10.6
10.00 ppm.	1	64.5	71.8	7.3
		50.7	96.3	45.6
	2	73.0	87.74	14.8

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินก่อนทำการ ทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นเงินหลังทำการ ทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นเงิน (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
		78.1	96.36	18.3
15.00 ppm.	1	92.6	81.66	-10.9
		79.9	61.52	-18.4
	2	92.1	65.42	-26.7
		90.2	77.5	-12.7
20.00 ppm.	1	93.3	95.46	2.2
		84.7	70.42	-14.3
	2	78.9	90.98	12.1
		74.2	90.16	16.0
30.00 ppm.	1	74.0	73.3	-0.7
		86.3	93.4	7.1
	2	83.5	60.2	-23.3
		81.6	68.56	-13.0
อ้างอิง	1	85.1	99.84	14.7
		66.9	68.72	1.8
	2	84.3	98.32	14.0
		90.3	82.46	-7.8

ตารางที่ 4.37 การวัดความเงาของแผ่นตะกั่วที่ใช้กาวเป็นตัวช่วยในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ตัวอย่าง	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วก่อนทำ การทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นตะกั่ว (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
กาวมะขาม	1	8.6	6.3	-2.3
		7.1	5.5	-1.6
	2	10.3	5.5	-4.8
		7.4	4.7	-2.8
กาวมะขวิด	1	7.1	7.1	-0.1
		9.6	6.6	-2.9
	2	10.6	6.7	-3.9
		12.2	6.6	-5.6
กาวกระถิน	1	7.2	6.5	-0.7
		11.2	5.4	-5.8
	2	7.1	6.5	-0.7
		10.4	6.5	-3.9
กาวหนังควาย	1	7.5	5.8	-1.7
		10.7	5.9	-4.9
	2	9.5	5.7	-3.9
		8.6	5.3	-3.3
กาวหนังวัว	1	10.9	7.3	-3.6
		7.4	9.3	1.9
	2	11.0	9.1	-1.8
		11.7	8.9	-2.8
กาวเจลาติน	1	8.8	7.4	-1.4
		8.2	7.5	-0.7

ตัวอย่าง	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วก่อนทำ การทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นตะกั่ว (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
	2	7.8	7.8	0.0
		8.1	7.3	-0.8
กาวไซแดง	1	9.2	5.2	-3.9
		13.1	6.4	-6.6
	2	8.1	6.4	-1.7
		10.2	8.1	-2.1
กาวน้ำผึ้ง	1	7.5	7.7	0.2
		8.7	7.3	-1.4
	2	9.6	7.3	-2.3
10.7		6.9	-3.8	
กาว PVA	1	8.2	6.6	-1.5
		9.7	6.8	-3.0
	2	10.9	6.5	-4.5
		11.5	6.8	-4.7
กาว CMC	1	9.8	6.5	-3.3
		8.3	7.0	-1.3
	2	10.1	6.4	-3.7
		11.9	6.3	-5.5
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์	1	8.3	-	-
		10.7	-	-
	2	12.4	6.3	-6.0
		10.3	6.7	-3.7

ตารางที่ 4.38 การวัดความเงาของแผ่นตะกั่วที่ใช้กรดอะซีติกเป็นตัวอย่างในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์

ความเข้มข้น กรดอะซีติก	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วก่อนทำ การทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นตะกั่ว (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
0.10 ppm	1	7.9	8.58	0.7
		6.0	7.46	1.5
	2	9.0	6.74	-2.3
		6.7	7.66	1.0
1.00 ppm	1	6.8	8.66	1.9
		5.6	7.06	1.4
	2	7.3	8.44	1.2
		12.8	10.3	-2.5
2.00 ppm	1	6.2	9.22	3.0
		12.1	5.7	-6.4
	2	11.2	7.66	-3.6
		7.4	7.02	-0.4
3.00 ppm	1	8.5	8.84	0.4
		10.9	8.6	-2.3
	2	11.3	12.5	1.2

ความเข้มข้น กรดอะซิดิก	หลอดทดลอง ที่	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วก่อนทำ การทดลอง	ความเงาเฉลี่ยของแผ่นตะกั่วหลังทำ การทดลอง	ผลต่างความเงาของแผ่นตะกั่ว (ความเงา <sub>หลัง</sub> -ความเงา <sub>ก่อน</sub> )
		7.1	7.72	0.6
4.00 ppm	1	11.5	7.82	-3.7
		8.8	9.64	0.8
	2	9.3	8.24	-1.0
		7.1	6.7	-0.4
5.00 ppm	1	7.0	7.16	0.1
		9.6	6.72	-2.9
	2	12.1	6.56	-5.6
		7.6	9.24	1.7
7.00 ppm	1	7.6	8.12	0.5
		9.8	7.3	-2.5
	2	6.9	7.48	0.6
		12.3	8.16	-4.1
9.00 ppm	1	6.9	7.12	0.2
		11.3	8.76	-2.5
	2	10.5	8.36	-2.1
		8.7	8.72	0.0
10.00 ppm	1	7.5	6.74	-0.7
		11.6	8.12	-3.5
	2	7.7	7.58	-0.1
		7.6	11.7	4.1
15.00 ppm	1	9.7	7.7	-2.0
		7.9	9.24	1.4
	2	11.7	7.92	-3.7
		7.3	9.86	2.6
20.00 ppm	1	10.1	9.44	-0.6
		10.4	8.28	-2.1
	2	7.9	7.7	-0.2
		11.4	7.9	-3.5
30.00 ppm	1	10.5	9.98	-0.5
		7.6	6.92	-0.7
	2	11.3	7.62	-3.7
		8.4	8.18	-0.3
อ้างอิง	1	11.6	8.94	-2.7
		7.8	7.08	-0.8
	2	10.2	7.06	-3.2
		7.1	7.14	0.1

#### 4.3.2.5 การประเมินการทดสอบ Oddy ควบคู่กับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี

สำหรับการคำนวณอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate, mm/year) จะเป็นการตรวจสอบการกัดกร่อนของแผ่นโลหะที่ผ่านการทำ Oddy test มาแล้ว โดยหากโลหะที่ผ่านการทำ Oddy test

มาแล้วมีการกัดกร่อนมากในขณะที่ทำการทดสอบ Oddy test จะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าที่ต่ำ อัตราการกัดกร่อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \cdot I_{\text{Corr}} \left( \frac{A}{\text{cm}^2} \right) \cdot \text{Molar mass}}{\text{Density of Metal}} \quad (1)$$

โดยที่ Molar mass (g/mol) กรณี +1 ( $\text{Cu}^+$ ) = 31.775 และกรณี +2 ( $\text{Cu}^{2+}$ ) = 63.55

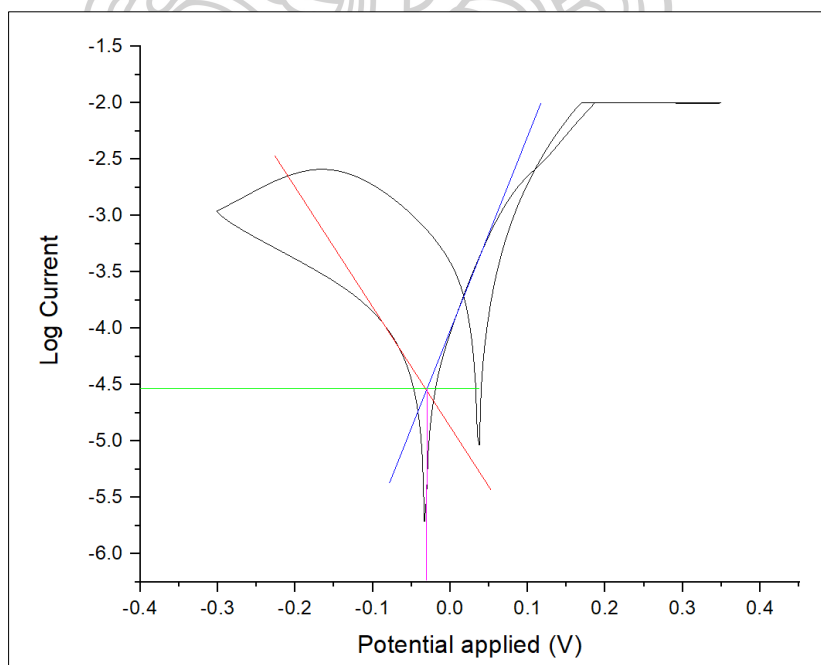
Density ของ Cu =  $8.96 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

Corrosion rate constant (K) =  $3.27 \times 10^9$  คำนวณจากสมการ (2)

$$K = \frac{(1 \times 10^{-3} \text{ mm/g}) \cdot (365 \times 24 \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{year}}) \cdot F}{1} \quad (2)$$

โดยที่  $F = 96,485 \text{ C/mol e}^-$

ยกตัวอย่างการคำนวณหา  $I_{\text{corr}}$  จะใช้วิธีการพล็อตกราฟระหว่าง Log current และ Potential applied (V) จากนั้นลากจุดตัดเพื่อหา  $I_{\text{corr}}$  โดยใช้บริเวณพีคของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)



รูปที่ 4.45 การพล็อตกราฟระหว่าง Log current และ Potential applied (V) เพื่อหา  $I_{\text{corr}}$

จากกราฟจะได้ จุดตัดที่แกน y (Log Current) = -4.51995 ซึ่งมีค่า Current =  $3.0202 \times 10^{-5}$  A ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.40 และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกแสดงดังตารางที่ 4.41 โดยผล corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.46 และ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.47

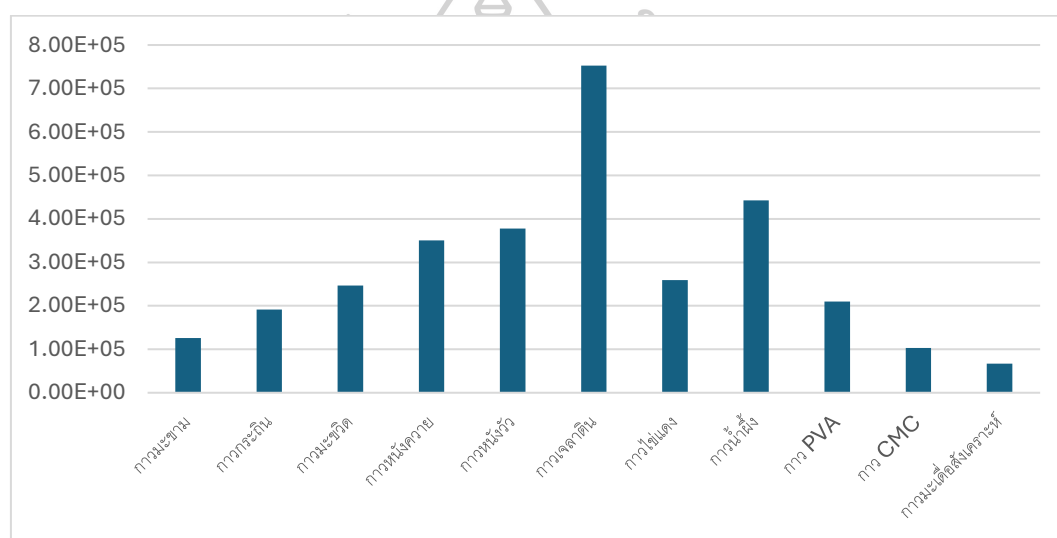
จากผลการคำนวณอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate) ของแผ่นทองแดงที่ใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ พบว่า สามารถเทียบฤทธิ์การกัดกร่อนได้เช่นเดียวกับการใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติกตามความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้ กาวมะขามกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 9.00 ppm. กาวกระถินกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 2.00 ppm. กาวมะขวิดกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 2.00 ppm. กาวหนังควายกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 0.10 ppm. กาวหนังวัวกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 0.10 ppm. กาวเจลาตินกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 0.00 ppm. กาวไข่แดงกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 2.00 ppm. กาวน้ำผึ้งกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 0.00 ppm. กาว PVA กัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 3.00 ppm. กาว CMC กัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. และ กาวมะเดื่อสังเคราะห์กัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 30.00 ppm.

สรุปได้ว่า กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่าแผ่นทองแดงอ้างอิง ได้แก่ กาวเจลาตินและกาวน้ำผึ้ง กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 0.10 ppm. ได้แก่ กาวหนังควายและกาวหนังวัว กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 2.00 ppm. ได้แก่ กาวกระถิน กาวมะขวิด และกาวไข่แดง กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 3.00 ppm. ได้แก่ กาวมะขามและกาว PVA กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 9.00 ppm. ได้แก่ กาวมะขาม กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. ได้แก่ กาวไข่แดง กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 30.00 ppm. ได้แก่ กาวมะเดื่อสังเคราะห์

**ตารางที่ 4.39** พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิวสองด้าน	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)	R <sub>M</sub> (+2) (mm/year)
----------	--------------	-----------------	----------------------	-------------------	----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

กาวมะขาม	Cu-T1	$1.08308 \times 10^{-5}$	1.24	2.48	$4.36725 \times 10^{-6}$	$1.26 \times 10^5$	$2.51 \times 10^5$
กาวกระถิน	Cu-A1	$1.65284 \times 10^{-5}$	0.92	1.84	$8.98281 \times 10^{-6}$	$1.92 \times 10^5$	$3.83 \times 10^5$
กาวมะขวิด	Cu-L1	$2.12829 \times 10^{-5}$	0.53	1.05	$2.02694 \times 10^{-5}$	$2.47 \times 10^5$	$4.94 \times 10^5$
กาวหนังควาย	Cu-B1	$3.0203 \times 10^{-5}$	0.56	1.12	$2.6967 \times 10^{-5}$	$3.50 \times 10^5$	$7.00 \times 10^5$
กาวหนังวัว	Cu-C1	$3.25687 \times 10^{-5}$	0.89	1.78	$1.8297 \times 10^{-5}$	$3.78 \times 10^5$	$7.55 \times 10^5$
กาวเจลาติน	Cu-G1	$6.48799 \times 10^{-5}$	1.20	2.40	$2.70333 \times 10^{-5}$	$7.52 \times 10^5$	$1.50 \times 10^6$
กาวไข่แดง	Cu-E1	$2.23388 \times 10^{-5}$	1.05	2.10	$1.06375 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^5$	$5.18 \times 10^5$
กาวน้ำผึ้ง	Cu-H1	$3.81804 \times 10^{-5}$	0.56	1.12	$3.40896 \times 10^{-5}$	$4.43 \times 10^5$	$8.86 \times 10^5$
กาว PVA	Cu-PVA1	$1.8103 \times 10^{-5}$	0.74	1.48	$1.22317 \times 10^{-5}$	$2.10 \times 10^5$	$4.20 \times 10^5$
กาว CMC	Cu-CMC1	$8.87442 \times 10^{-6}$	0.75	1.50	$5.91628 \times 10^{-6}$	$1.03 \times 10^5$	$2.06 \times 10^5$
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	Cu-FS1	$5.79229 \times 10^{-6}$	0.80	1.60	$3.62018 \times 10^{-6}$	$6.72 \times 10^4$	$1.34 \times 10^5$

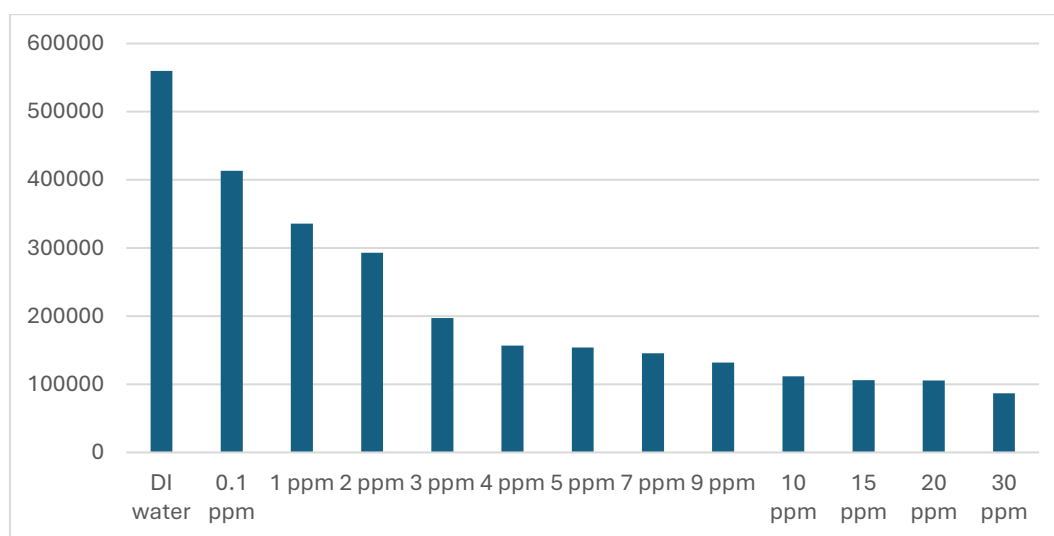


รูปที่ 4.46 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นทองแดงที่ผ่านการทำการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ

ตารางที่ 4.40 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซิติก

กรดอะซิติก	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)	R <sub>M</sub> (+2) (mm/year)
0 ppm	Cu-Pure	1	1.02	2.04	0.490196078	11596456473	23192912946
0 ppm (DI water)	Cu-Ref-1	$4.82792 \times 10^{-5}$	0.74	1.48	$3.26211 \times 10^{-5}$	559867.5574	1119735.115
0.10 ppm	Cu-0.1-1	$3.56139 \times 10^{-5}$	0.88	1.76	$2.02352 \times 10^{-5}$	412995.4835	825990.9669
1.00 ppm	Cu-1-1	$2.89701 \times 10^{-5}$	0.92	1.84	$1.57446 \times 10^{-5}$	335950.5081	671901.0161
2.00 ppm	Cu-2-1	$2.52749 \times 10^{-5}$	1.16	2.32	$1.08944 \times 10^{-5}$	293099.6516	586199.3032
3.00 ppm	Cu-3-1	$1.70106 \times 10^{-5}$	0.98	1.96	$8.67888 \times 10^{-6}$	197262.8495	394525.6989
4.00 ppm	Cu-4-1	$1.35133 \times 10^{-5}$	0.84	1.68	$8.0436 \times 10^{-6}$	156705.8835	313411.7669
5.00 ppm	Cu-5-1	$1.32568 \times 10^{-5}$	0.94	1.88	$7.05151 \times 10^{-6}$	153732.3628	307464.7257

กรดอะซีติก	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)	R <sub>M</sub> (+2) (mm/year)
7.00 ppm	Cu-7-1	$1.25548 \times 10^{-5}$	0.76	1.52	$8.25974 \times 10^{-6}$	145591.2592	291182.5184
9.00 ppm	Cu-9-1	$1.13616 \times 10^{-5}$	0.92	1.84	$6.17479 \times 10^{-6}$	131754.453	263508.906
10.00 ppm	Cu-10-1	$9.6374 \times 10^{-6}$	0.60	1.20	$8.03117 \times 10^{-6}$	111759.7193	223519.4386
15.00 ppm	Cu-15-1	$9.16453 \times 10^{-6}$	0.86	1.72	$5.32821 \times 10^{-6}$	106276.025	212552.05
20.00 ppm	Cu-20-1	$9.11255 \times 10^{-6}$	0.84	1.68	$5.42414 \times 10^{-6}$	105673.3079	211346.6157
30.00 ppm	Cu-30-1	$7.47377 \times 10^{-6}$	0.80	1.60	$4.67111 \times 10^{-6}$	86669.30265	173338.6053



รูปที่ 4.47 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Cu ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สำหรับโลหะเงิน (Silver, Ag) ที่ผ่านการทำ Oddy test จะใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันแต่ใช้ความหนาแน่น  $10.49 \text{ g/cm}^3$  ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.42 และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกแสดงดังตารางที่ 4.43 โดยผล corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.48 และ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.49

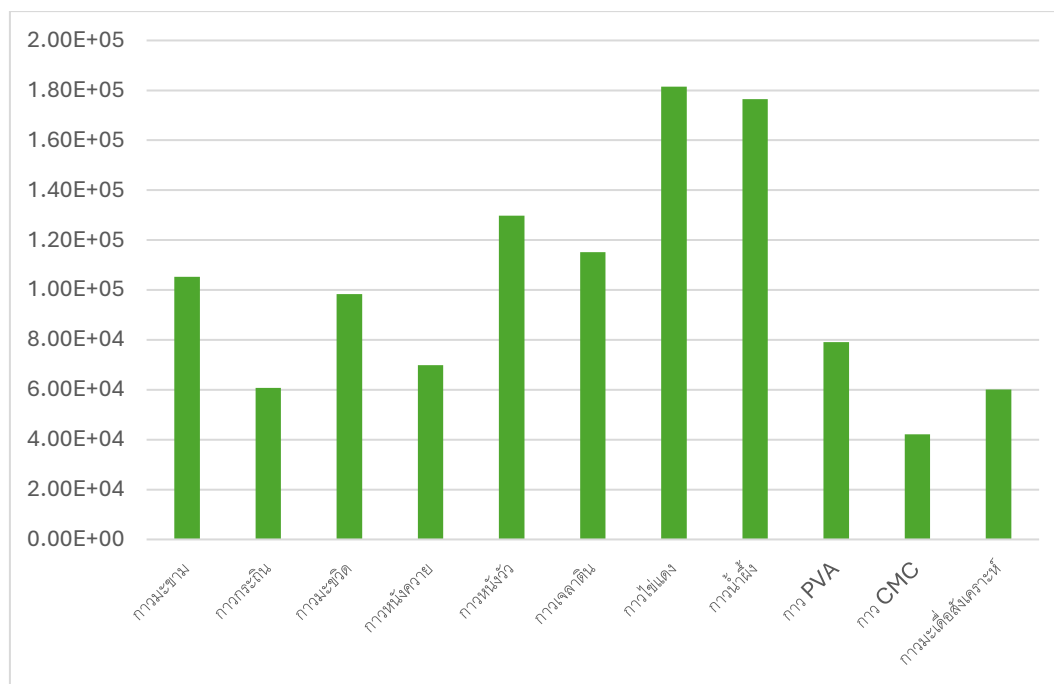
จากผลการคำนวณอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate) ของแผ่นทองแดงที่ใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ พบว่า สามารถเทียบฤทธิ์การกัดกร่อนได้เช่นเดียวกับการใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติกตามความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้ กาวมะขามกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะ

ซีตติกเข้มข้น 7.00 ppm. กาวกระถินกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. กาวมะขวิด กัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 9.00 ppm. กาวหนังควายกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. กาวหนังวัวกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 7.00 ppm. กาวเจลาตินกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 7.00 ppm. กาวไข่แดงกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 1.00 ppm. กาวน้ำผึ้งกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 1.00 ppm. กาว PVA กัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. กาว CMC กัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 30.00 ppm. และ กาวมะเดื่อสังเคราะห์กัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 30.00 ppm.

สรุปได้ว่า กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 1.00 ppm. ได้แก่ กาวไข่แดง และกาวน้ำผึ้ง กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 7.00 ppm. ได้แก่ กาวมะขาม กาวหนังวัวและกาวเจลาติน กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 9.00 ppm. ได้แก่ กาวมะขวิด กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. ได้แก่ กาวกระถิน หนังควาย และกาว PVA กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 20.00 ppm. ได้แก่ กาวไข่แดง กาวที่มีการกัตกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 30.00 ppm. ได้แก่ กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์

**ตารางที่ 4.41** พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)
กาวมะขวิด	Ag-L1	4.12354 × 10 <sup>-6</sup>	0.71	1.41	2.9245 × 10 <sup>-6</sup>	98365.90603
กาวไข่แดง	Ag-E1	6.79626 × 10 <sup>-6</sup>	0.63	1.26	5.39386 × 10 <sup>-6</sup>	181423.3425
กาว PVA	Ag-PVA1	2.82014 × 10 <sup>-6</sup>	0.60	1.20	2.35011 × 10 <sup>-6</sup>	79046.46687
กาวหนังควาย	Ag-B1	2.43164 × 10 <sup>-6</sup>	0.59	1.17	2.07833 × 10 <sup>-6</sup>	69904.9368
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	Ag-FS1	2.35869 × 10 <sup>-6</sup>	0.66	1.32	1.78688 × 10 <sup>-6</sup>	60102.11816
กาวน้ำผึ้ง	Ag-H1	6.29419 × 10 <sup>-6</sup>	0.60	1.20	5.24516 × 10 <sup>-6</sup>	176421.8871
กาวกระถิน	Ag-A1	2.16706 × 10 <sup>-6</sup>	0.60	1.20	1.80588 × 10 <sup>-6</sup>	60741.0735
กาว CMC	Ag-CMC1	1.58052 × 10 <sup>-6</sup>	0.63	1.26	1.25438 × 10 <sup>-6</sup>	42191.32496
กาวมะขาม	Ag-T1	4.5996 × 10 <sup>-6</sup>	0.74	1.47	3.12898 × 10 <sup>-6</sup>	105243.7646
กาวหนังวัว	Ag-C1	4.6286 × 10 <sup>-6</sup>	0.60	1.20	3.85717 × 10 <sup>-6</sup>	129736.5853
กาวเจลาติน	Ag-G1	4.51814 × 10 <sup>-6</sup>	0.66	1.32	3.42284 × 10 <sup>-6</sup>	115127.6866

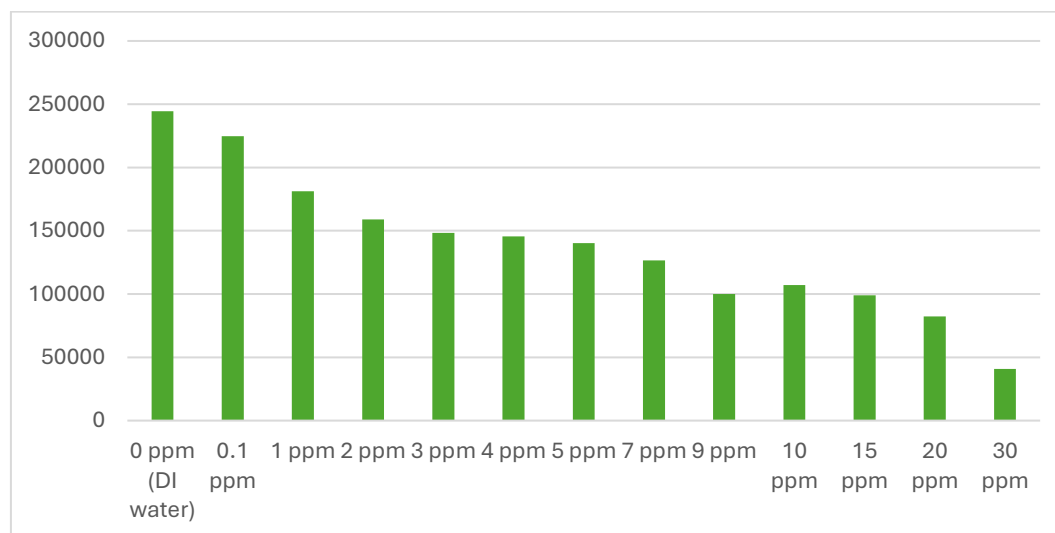


รูปที่ 4.48 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่าง กาวต่าง ๆ

ตารางที่ 4.42 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติก

กรดอะซีติก	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)
0 ppm (DI water)	Ag-Ref-1	$1.01808 \times 10^{-5}$	0.70	1.40	$7.27197 \times 10^{-6}$	244593.9291
0.10 ppm	Ag-0.1-1	$1.12243 \times 10^{-5}$	0.84	1.68	$6.68114 \times 10^{-6}$	224721.3977
1.00 ppm	Ag-1-1	$9.80844 \times 10^{-6}$	0.91	1.82	$5.38925 \times 10^{-6}$	181268.4917
2.00 ppm	Ag-2-1	$5.67205 \times 10^{-6}$	0.60	1.20	$4.72671 \times 10^{-6}$	158983.6499
3.00 ppm	Ag-3-1	$6.08247 \times 10^{-6}$	0.69	1.38	$4.40759 \times 10^{-6}$	148249.9729
4.00 ppm	Ag-4-1	$8.30998 \times 10^{-6}$	0.96	1.92	$4.32811 \times 10^{-6}$	145576.9045
5.00 ppm	Ag-5-1	$7.00068 \times 10^{-6}$	0.84	1.68	$4.16707 \times 10^{-6}$	140160.1093
7.00 ppm	Ag-7-1	$5.86854 \times 10^{-6}$	0.78	1.56	$3.76188 \times 10^{-6}$	126531.6324
9.00 ppm	Ag-9-1	$3.92238 \times 10^{-6}$	0.66	1.32	$2.9715 \times 10^{-6}$	99947.00346
10.00 ppm	Ag-10-1	$5.60583 \times 10^{-6}$	0.88	1.76	$3.18513 \times 10^{-6}$	107132.4511
15.00 ppm	Ag-15-1	$5.65588 \times 10^{-6}$	0.96	1.92	$2.94577 \times 10^{-6}$	99081.47894
20.00 ppm	Ag-20-1	$3.52907 \times 10^{-6}$	0.72	1.44	$2.45074 \times 10^{-6}$	82431.12311

กรดอะซีติก	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)
30.00 ppm	Ag-30-1	$2.71394 \times 10^{-6}$	1.12	2.24	$1.21158 \times 10^{-6}$	40751.69628



รูปที่ 4.49 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

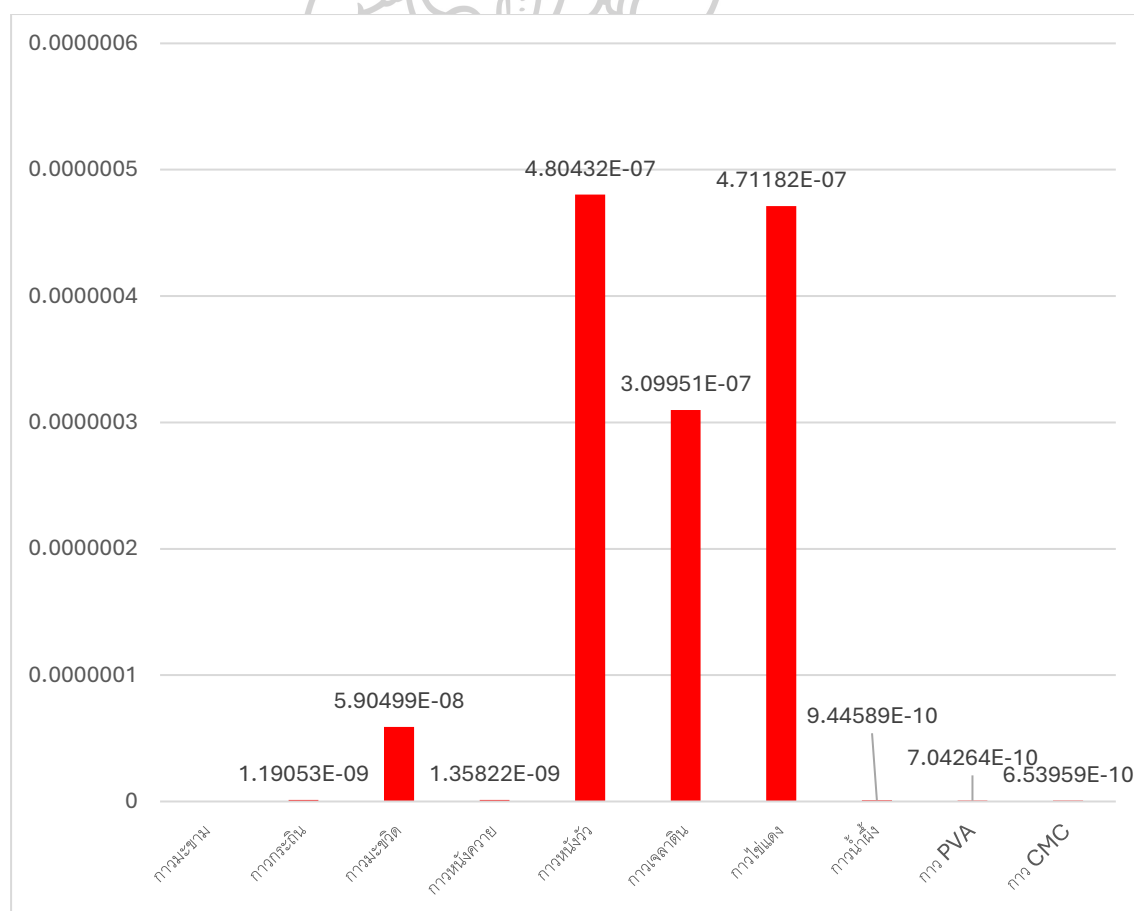
สำหรับโลหะตะกั่ว (Lead, Pb) ที่ผ่านการทำ Oddy test จะใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันแต่ใช้ความหนาแน่น  $10.49 \text{ g/cm}^3$  ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Ag ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.43 และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกแสดงดังตารางที่ 4.44 โดยผล corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกาวต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.50 และ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังรูป 4.51

จากผลการคำนวณอัตราการกัดกร่อน (corrosion rate) ของแผ่นตะกั่วที่ใช้ตัวอย่างเป็นกาวต่าง ๆ ในการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ พบว่า สามารถเทียบฤทธิ์การกัดกร่อนได้เช่นเดียวกับการใช้ตัวอย่างเป็นกรดอะซีติกตามความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ดังนี้ กาวมะขามและกาวมะเดื่อสังเคราะห์ไม่สามารถตรวจวัดได้ นอกจากนี้ กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่าแผ่นโลหะอ้างอิงได้แก่ กาวเจลาติน กาวที่มีการกัดกร่อนเทียบเท่ากรดอะซีติกเข้มข้น 1.00 ppm. ได้แก่ กาวหนังวัวและกาวไข่แดง

ตารางที่ 4.43 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิว สองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)
กาวมะขาม	Pb-T1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
กาวกระถิน	Pb-A1	$2.16676 \times 10^{-9}$	0.910	1.82	$2.16676 \times 10^{-9}$	$1.27832 \times 10^{-12}$
กาวมะขวิด	Pb-L1	$1.60616 \times 10^{-7}$	1.360	2.72	$1.60616 \times 10^{-7}$	$6.34044 \times 10^{-11}$
กาวหนังควาย	Pb-B1	$2.47195 \times 10^{-9}$	0.910	1.82	$2.47195 \times 10^{-9}$	$1.45837 \times 10^{-12}$
กาวหนังวัว	Pb-C1	$6.72605 \times 10^{-7}$	0.700	1.40	$6.72605 \times 10^{-7}$	$5.1586 \times 10^{-10}$
กาวเจลาติน	Pb-G1	$4.55628 \times 10^{-7}$	0.735	1.47	$4.55628 \times 10^{-7}$	$3.32807 \times 10^{-10}$
กาวไข่แดง	Pb-E1	$8.57551 \times 10^{-7}$	0.910	1.82	$8.57551 \times 10^{-7}$	$5.05928 \times 10^{-10}$
กาวน้ำผึ้ง	Pb-H1	$1.58691 \times 10^{-9}$	0.840	1.68	$1.58691 \times 10^{-9}$	$1.01425 \times 10^{-12}$
กาว PVA	Pb-PVA1	$1.09865 \times 10^{-9}$	0.780	1.56	$1.09865 \times 10^{-9}$	$7.56198 \times 10^{-13}$
กาว CMC	Pb-CMC1	$1.09865 \times 10^{-9}$	0.840	1.68	$1.09865 \times 10^{-9}$	$7.02184 \times 10^{-13}$
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	Pb-FS1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

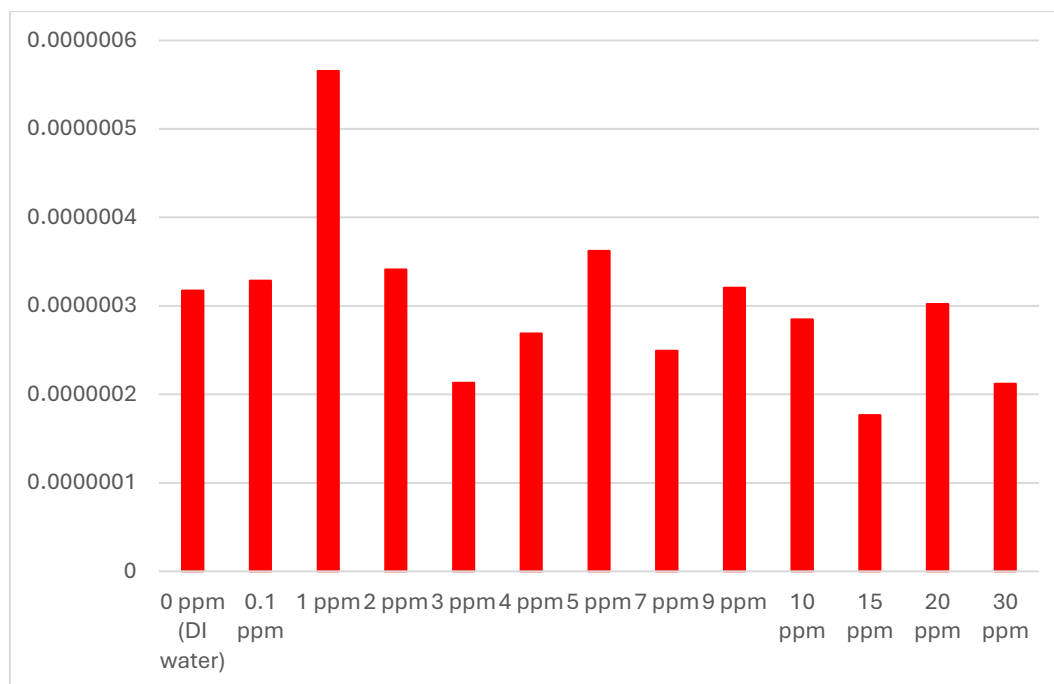
N/A = no detection



รูปที่ 4.50 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่าง  
กรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 4.44 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ  
Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติก

กรดอะซีติก	ชื่อแผ่นโลหะ	I corrosion (A)	A (cm <sup>2</sup> )	พื้นที่ผิวสองด้าน (cm <sup>2</sup> )	I corrosion (A/cm <sup>2</sup> )	R <sub>M</sub> (+1) (mm/year)
0 ppm (DI water)	Pb-Ref-1	$6.05466 \times 10^{-7}$	0.954	1.91	$3.17414 \times 10^{-7}$	$3.4082 \times 10^{-10}$
0.10 ppm	Pb-0.1-1	$5.52065 \times 10^{-7}$	0.840	1.68	$3.2861 \times 10^{-7}$	$3.52842 \times 10^{-10}$
1.00 ppm	Pb-1-1	$8.14217 \times 10^{-7}$	0.720	1.44	$5.65428 \times 10^{-7}$	$6.07124 \times 10^{-10}$
2.00 ppm	Pb-2-1	$5.73126 \times 10^{-7}$	0.840	1.68	$3.41146 \times 10^{-7}$	$3.66303 \times 10^{-10}$
3.00 ppm	Pb-3-1	$3.75362 \times 10^{-7}$	0.880	1.76	$2.13274 \times 10^{-7}$	$2.29001 \times 10^{-10}$
4.00 ppm	Pb-4-1	$3.71091 \times 10^{-7}$	0.690	1.38	$2.68906 \times 10^{-7}$	$2.88736 \times 10^{-10}$
5.00 ppm	Pb-5-1	$5.10564 \times 10^{-7}$	0.705	1.41	$3.62102 \times 10^{-7}$	$3.88804 \times 10^{-10}$
7.00 ppm	Pb-7-1	$4.53492 \times 10^{-7}$	0.910	1.82	$2.49172 \times 10^{-7}$	$2.67546 \times 10^{-10}$
9.00 ppm	Pb-9-1	$5.38629 \times 10^{-7}$	0.840	1.68	$3.20613 \times 10^{-7}$	$3.44255 \times 10^{-10}$
10.00 ppm	Pb-10-1	$5.1849 \times 10^{-7}$	0.910	1.82	$2.84884 \times 10^{-7}$	$3.05892 \times 10^{-10}$
15.00 ppm	Pb-15-1	$2.47161 \times 10^{-7}$	0.700	1.40	$1.76544 \times 10^{-7}$	$1.89562 \times 10^{-10}$
20.00 ppm	Pb-20-1	$3.98869 \times 10^{-7}$	0.660	1.32	$3.02173 \times 10^{-7}$	$3.24456 \times 10^{-10}$
30.00 ppm	Pb-30-1	$3.85745 \times 10^{-7}$	0.910	1.82	$2.11948 \times 10^{-7}$	$2.27577 \times 10^{-10}$







รูปที่ 4.51 corrosion rate (mm/year) ของแผ่นโลหะ Pb ที่ผ่านการทำ Oddy test โดยมีตัวอย่างกรดอะซีติกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ




#### 4.3.3 ผลการทดสอบการถอดออก

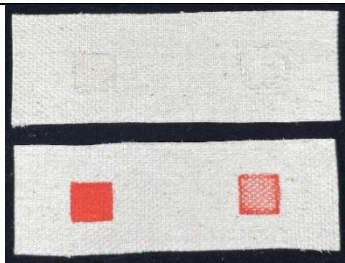
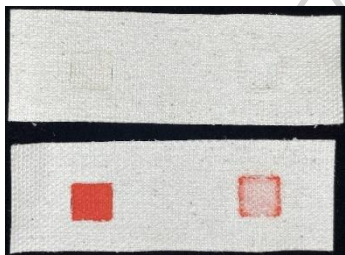

การประเมินผลการทดสอบการถอดออกหรือการทำความสะอาดในงานอนุรักษ์โดยใช้ตัวอย่างเป็นกาวยต่าง ๆ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดง กาวน้ำผึ้ง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ โดยอาศัยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์และการถ่ายภาพภายใต้แสงยูวีแสดงดังตารางที่ 4.45-4.47 ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า กาวทุกชนิดสามารถถอดออกหรือทำความสะอาดออกได้ จึงเหมาะสมที่จะใช้กับงานด้านการอนุรักษ์ แสดงดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.45 การถ่ายภาพการทำความสะอาดกาวบนพื้นผ้าใบ


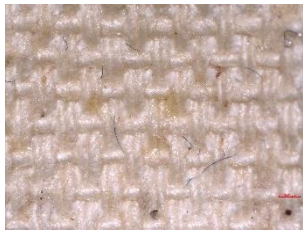

ตัวอย่าง	ภาพผ้าใบ	ความสามารถในการถอดออก	ความเหมาะสมในการใช้ในงานอนุรักษ์
กาวมะขาม		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้











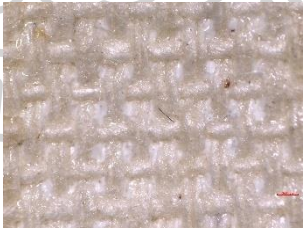




ตัวอย่าง	ภาพผ้าใบ	ความสามารถในการ ถอดออก	ความเหมาะสมในการใช้ ในงานอนุรักษ์
			
กาวมะขวิด		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวกระถิน		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวหนังควาย		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวหนังวัว		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้












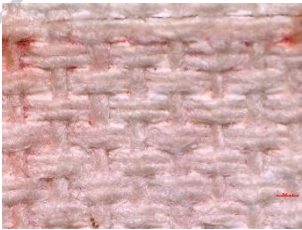



ตัวอย่าง	ภาพผ้าใบ	ความสามารถในการ ถอดออก	ความเหมาะสมในการใช้ ในงานอนุรักษ์
			
กาวเจลาติน		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวไข่แดง		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวน้ำผึ้ง		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาว PVA		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
















ตัวอย่าง	ภาพผ้าใบ	ความสามารถในการ ถอดออก	ความเหมาะสมในการใช้ ในงานอนุรักษ์
			
กาว CMC		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์		ถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์ได้












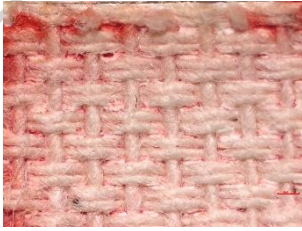



ตารางที่ 4.46 การถ่ายรูปการถอดออกหรือการทำความสะอาดกาวบนพื้นผ้าใบโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์




ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
กาวมะขาม			

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
กาวมะขาม ผสมผงสี			
กาวกระถิน			
กาวกระถิน ผสมผงสี			
กาวมะขวิด			
กาวมะขวิด ผสมผงสี			



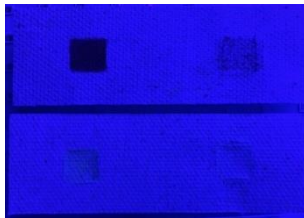
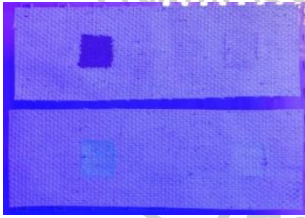
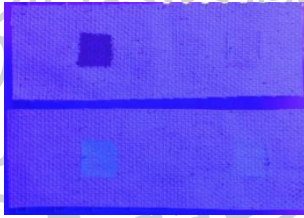
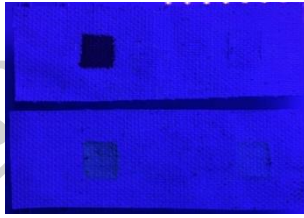
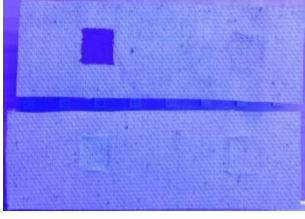
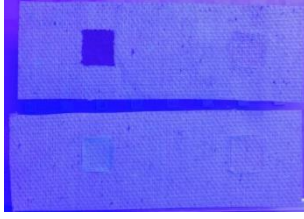
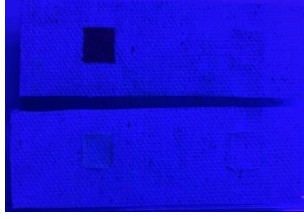
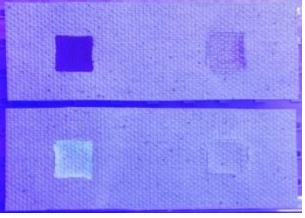

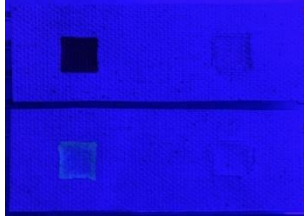
ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
กาวหนังควาย			
กาวหนังควาย ผสมผงสี			
กาวหนังวัว			
กาวหนังวัว ผสมผงสี			
กาวเจลาติน			
กาวเจลาติน			

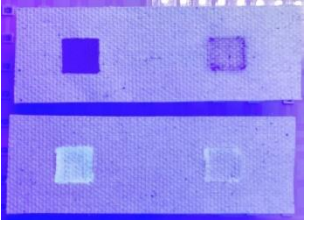
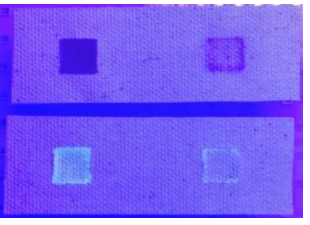
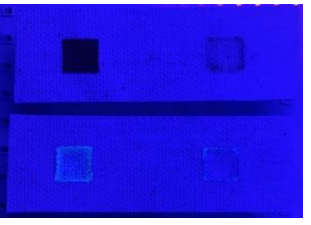
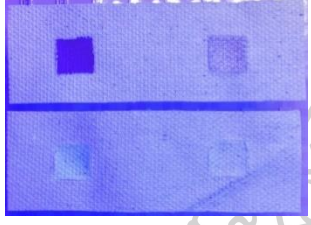

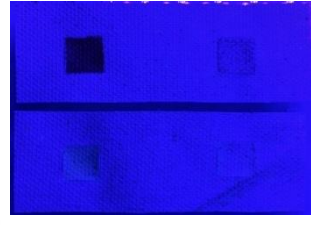


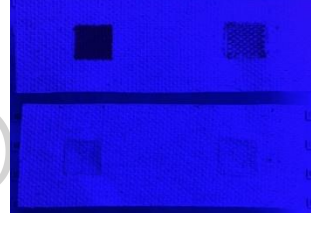
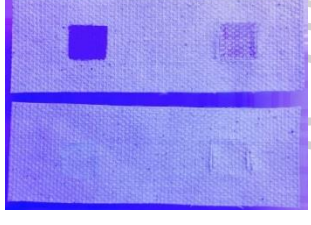

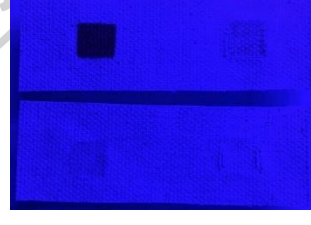
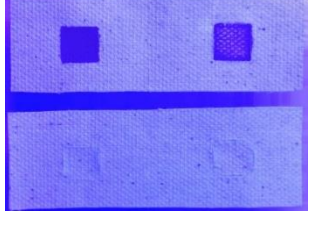

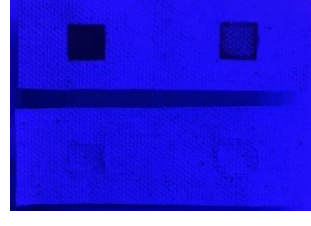
ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
ผสมผงสี			
กาวไข่แดง			
กาวไข่แดง ผสมผงสี			
กาวน้ำผึ้ง			
กาวน้ำผึ้งผสม ผงสี			

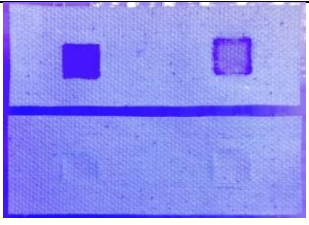
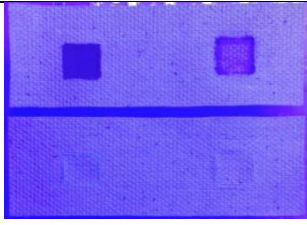
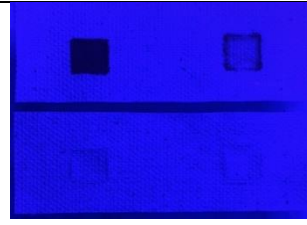
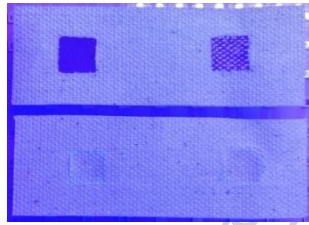
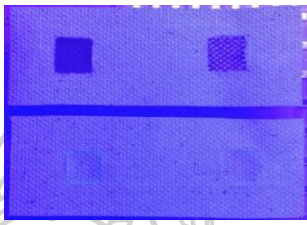
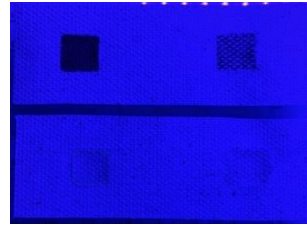
ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
กาว PVA			
กาว PVA ผสมผงสี			
กาว CMC			
กาว CMC ผสมผงสี			
กาวมะเดื่อสังเคราะห์			
กาวมะเดื่อ			

ตัวอย่าง	รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์		
	ผ้าใบอ้างอิง	ผ้าใบก่อนทำความสะอาด	ผ้าใบหลังทำความสะอาด
สังเคราะห์ ผสมผงสี			

ตารางที่ 4.47 การถ่ายรูปการถอดออกหรือการทำความสะอาดกาบบนพื้นผ้าใบภายใต้แสงยูวี

ตัวอย่าง	รูปถ่ายผ้าใบภายใต้แสงยูวี		
กาวมะขาม			
กาวกระถิน			
กาวมะขวิด			
กาวหนัง ควาย			

ตัวอย่าง	รูปถ่ายผ้าใบภายใต้แสงยูวี		
กาวหนังวัว			
กาวเจลาติน			
กาวไข่แดง			
กาวน้ำผึ้ง			
กาว PVA			
กาว CMC			

ตัวอย่าง	รูปถ่ายผ้าใบบายใต้แสงยูวี		
			
กาวมะเดื่อ สังเคราะห์			

ตารางที่ 4.48 ผลการทดสอบการถอดออกหรือการทำความสะอาดออกของกาวต่าง ๆ

ตัวอย่าง	การถอดออกหรือการทำความสะอาด		
	กาว	กาวผสมผงสี	หมายเหตุ
กาวมะขาม	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวกระถิน	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวมะขวิด	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวหนังควาย	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวหนังวัว	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวเจลาติน	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวไข่แดง	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวน้ำผึ้ง	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาว PVA	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาว CMC	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์
กาวมะเดื่อสังเคราะห์	สามารถถอดออกได้	สามารถถอดออกได้	ใช้ในงานอนุรักษ์

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของตัวอย่างกาวทั้ง 11 ชนิด แบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบ ได้แก่ กาวจากพืช เช่น กาวมะขาม กาวกระถินและกาวมะขวิด นอกจากนี้ยังมีกาวจากสัตว์ เช่น กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดงและกาวน้ำผึ้ง รวมไปถึงกาวจากการสังเคราะห์ เช่น กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ การศึกษาโครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและการหาความหนืดของกาว นอกจากนี้ ยังศึกษาสมบัติทางความร้อน ได้แก่ การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนและความเสถียรทางความร้อน มากไปกว่านั้น มีการศึกษาสมบัติอื่น ๆ เช่น ความโปร่งแสงของกาวและทดสอบการยึดเกาะของกาว นอกเหนือจากนี้ ได้ประยุกต์เข้ากับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ หรือเรียกว่า การทดสอบ Oddy (Oddy testing) เป็นวิธีการประเมินความปลอดภัยของวัสดุที่จะนำไปใช้ในงานอนุรักษ์ โดยมีการใช้แผ่นทองแดง แผ่นเงินและแผ่นตะกั่ว เป็นตัววัดปริมาณการกัดกร่อนบนพื้นผิวโลหะ เนื่องจาก โลหะแต่ละชนิดจะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยออกมาจากตัวอย่างกาว เช่น โลหะทองแดงจะถูกกัดกร่อนด้วยสารประกอบคลอไรด์ ออกไซด์และกำมะถัน ในส่วนของโลหะเงินจะถูกกัดกร่อนจากซัลไฟด์และกำมะถันเช่นเดียวกัน อีกทั้งโลหะตะกั่วยังถูกกัดกร่อนด้วยกรดอินทรีย์และอัลดีไฮด์ได้อีกด้วย เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำกาวธรรมชาติมาใช้ในงานด้านการอนุรักษ์ โดยผ่านวิเคราะห์ทางเคมี ร่วมกับการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์ เช่น การวัดค่าสีของแผ่นโลหะ การชั่งน้ำหนักของแผ่นโลหะ การถ่ายรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวโลหะ การวัดความเงาของแผ่นโลหะและการวัดค่าการนำไฟฟ้าของแผ่นโลหะ สามารถสรุปและอภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

จากการทดสอบการยึดเกาะของกาวเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการยึดเกาะของกาวกับพื้นผิวผ้าใบเมื่อนำไปใช้งาน พบว่า สามารถเรียงลำดับความสามารถในการยึดเกาะของกาวเมื่อผสมผงสีจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้ดังนี้ กาวเจลาติน กาว CMC กาวมะขาม กาวหนังวัว กาวหนังควาย กาว PVA กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวไข่แดง กาวกระถิน กาวมะขวิดและกาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ ประเมินความสามารถในการยึดเกาะของกาวได้เป็นคะแนนดังนี้ โดยกาวมะขาม กาวหนังควาย กาวหนังวัวและกาวเจลาตินได้รับคะแนนความยึดเกาะเท่ากับ 5 คะแนน หมายความว่ามีการยึดเกาะที่สูงสุดและกาวไข่แดง กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์ได้รับคะแนนความยึดเกาะ

เท่ากับ 4 คะแนน หมายความว่ามีการยึดเกาะที่สูง นอกจากนี้ กาวมะขวิดและกาวกระถินได้คะแนนความยึดเกาะเท่ากับ 3 และ 2 คะแนน ตามลำดับ หมายความว่ามีการยึดเกาะที่ปานกลางและพอใช้

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยประเมินจากสายตา (Visual examination) พบว่า กาวที่มีการกัดกร่อนแผ่นโลหะมากที่สุดได้แก่ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ เนื่องจากได้รับคะแนนการประเมินการกัดกร่อนเป็น U หมายความว่ากาวชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ รองลงมาเป็นกาวมะขาม กาวกระถิน กาว PVA และกาว CMC โดยได้รับคะแนนการประเมินการกัดกร่อนเป็น U หมายความว่ากาวชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ นอกจากนี้ กาวที่มีการกัดแผ่นโลหะปานกลางได้แก่ กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาวไข่แดงและกาวน้ำผึ้ง โดยได้รับคะแนนการประเมินการกัดกร่อนเป็น T หมายความว่ากาวชนิดนี้สามารถใช้ในงานอนุรักษ์แบบชั่วคราว ส่วนกาวที่กัดก่อนแผ่นโลหะน้อยที่สุด เช่น กาวหนังวัวและกาวเจลาติน โดยได้รับคะแนนการประเมินการกัดกร่อนเป็น P หมายความว่ากาวชนิดนี้เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยอาศัยการวัดค่าสี เช่น การวิเคราะห์ค่าเดลต้าอี ( $\Delta E$ ) วัดโดยใช้สัดส่วนตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 คือความแตกต่างของสีที่น้อยกว่าและ 100 คือมีค่าความบิดเบือนที่สมบูรณ์ ช่วงการรับรู้มาตรฐานมีดังนี้ ค่า 1 หมายถึงไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่า ค่า 1-2 หมายถึงรับรู้ได้จากการสังเกตอย่างใกล้ชิด ค่า 2-10 หมายถึงรับรู้ได้เพียงแวบเดียว ค่า 11-49 หมายถึงสีมีความคล้ายคลึงกันมากกว่าตรงกันข้ามและค่า 50-100 หมายถึงสีตรงกันข้ามอย่างแน่นอน จากการวิจัยพบว่า กาวที่ทำให้แผ่นโลหะมีการเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวมะขาม กาวหนังควาย กาวเจลาติน กาวมะขวิด กาวกระถิน กาว PVA กาว CMC กาวไข่แดง กาวหนังวัวและกาวน้ำผึ้ง ตามลำดับ

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยอาศัยการถ่ายภาพพื้นผิวของแผ่นโลหะพบว่า กาวที่ได้ผลลัพธ์ว่าเหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ ได้แก่ กาวเจลาติน ถัดมากาวที่สามารถใช้กับงานอนุรักษ์ได้ชั่วคราว ได้แก่ กาวหนังควาย กาวหนังวัว กาวไข่แดงและกาวน้ำผึ้ง มากไปกว่านี้ กาวที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานอนุรักษ์ ได้แก่ กาวมะขาม กาวกระถิน กาวมะขวิด กาว PVA กาว CMC และกาวมะเดื่อสังเคราะห์

การประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยอาศัยการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี พบว่าสามารถเรียงลำดับกาวที่มีการกัดกร่อนแผ่นโลหะจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้ดังนี้ กาวมะเดื่อสังเคราะห์ กาวมะขาม กาว CMC กาวกระถิน กาวมะขวิด กาวหนังควาย กาว PVA กาวหนังวัว กาวเจลาติน กาวไข่แดงและกาวน้ำผึ้ง

โดยสรุป จากการรวบรวมการประเมินผลการทดสอบวัสดุเพื่องานอนุรักษ์โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ พบว่า สามารถระบุได้ว่า กาวที่สามารถใช้ในงานอนุรักษ์ได้ มีดังนี้ กาวน้ำผึ้ง กาวไข่แดง กาวหนังวัว กาวเจลาตินและกาวมะขวิด เป็นต้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตอาจจะใช้เทคนิคที่สามารถวิเคราะห์กาวพอลิเมอร์ได้แบบครอบคลุม โดยเครื่องมือชั้นสูงเพื่อเก็บข้อมูลของกาวในเรื่องโครงสร้างทางเคมี เช่น Gel Performance Chromatography และอาจจะศึกษาการสังเคราะห์หรือกาวหนังสัตว์ชนิดอื่น ๆ เช่น กาวหนังกระต่าย กาวกระดูกปลา เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

1. มุลินธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, การสร้างจิตรกรรมฝาผนังของช่างไทยในสมัยโบราณ.
2. ศรีใส, ส., จิตรกรรมฝาผนัง หอพระพุทธรูป วัดทุ่งศรีเมือง. 2560.
3. Stephens, C. H.; Breitung, E. M., Impact of volatile organic compounds (VOCs) from acrylic double-sided pressure-sensitive adhesives (PSAs) on metals found in cultural heritage environments. *Polymer Degradation and Stability* 2021, 193, 109738.
4. Díaz, I.; Cano, E., Quantitative Oddy test by the incorporation of the methodology of the ISO 11844 standard: A proof of concept. *Journal of Cultural Heritage* 2022, 57, 97-106.
5. Malviya, R.; Jha, S.; Fuloria, N. K.; Subramaniyan, V.; Chakravarthi, S.; Sathasivam, K.; Kumari, U.; Meenakshi, D. U.; Porwal, O.; Sharma, A.; Kumar, D. H.; Fuloria, S. Determination of Temperature-Dependent Coefficients of Viscosity and Surface Tension of Tamarind Seeds (*Tamarindus indica* L.) *Polymer Polymers* [Online], 2021.
6. Daoub, R. M. A.; Elmubarak, A. H.; Misran, M.; Hassan, E. A.; Osman, M. E., Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 2018, 17 (3), 241-249.
7. Bridarolli, A.; Freeman, A. A.; Fujisawa, N.; Łukomski, M., Mechanical properties of mammalian and fish glues over range of temperature and humidity. *Journal of Cultural Heritage* 2022, 53, 226-235.
8. Mosleh, Y.; van Die, M.; Gard, W.; Breebaart, I.; van de Kuilen, J.-W.; van Duin, P.; Poulis, J. A., Gelatine adhesives from mammalian and fish origins for historical art objects conservation: How do microstructural features determine physical and mechanical properties? *Journal of Cultural Heritage* 2023, 63, 52-60.
9. Miu, L.; Niculescu, M., Preliminary Study on the Adhesiveness Properties of Hide Glue. *Leather and Footwear Journal* 2022, 22, 139-144.
10. Kaboorani, A.; Riedl, B., Improving performance of polyvinyl acetate (PVA) as a binder for wood by combination with melamine based adhesives. *International Journal*

*of Adhesion and Adhesives* 2011, 31 (7), 605-611.

11. El-Sayed, S.; Mahmoud, K. H.; Fatah, A. A.; Hassen, A., DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. *Physica B: Condensed Matter* 2011, 406 (21), 4068-4076.

12. Lee, C.; Volpi, F.; Fiocco, G.; Weththimuni, M. L.; Licchelli, M.; Malagodi, M. Preliminary Cleaning Approach with Alginate and Konjac Glucomannan Polysaccharide Gel for the Surfaces of East Asian and Western String Musical Instruments *Materials* [Online], 2022.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

