



การพัฒนาตัวประสานสำหรับชั้นรองพื้นในงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทย



โดย
นายธนทัต ไทรงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาตัวประสานสำหรับชั้นรองพื้นในงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF BINDER IN GROUND LAYER FOR RESTORATION OF THAI
MURAL PAINTING



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (ANALYTICAL CHEMISTRY)

Department of CHEMISTRY

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาตัวประสานสำหรับชั้นรองพื้นในงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทย
โดย	ธนทัต ไทรงาม
สาขาวิชา	เคมีวิเคราะห์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ดร. นิชนันท์ เทพศุภรังษิกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ดร. สุนนมาลย์ จันทรเอี่ยม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. นิชนันท์ เทพศุภรังษิกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. สุธินี เกิดเทพ)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. รุติมา สงเคราะห์)

58310201 : เคมีวิเคราะห์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : จิตรกรรมฝาผนัง, ตัวประสาน, เมล็ดมะขาม, เฮมิเซลลูโลส

นาย ธนทัต ไทโรจาม: การพัฒนาตัวประสานสำหรับชั้นรองพื้นในงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ดร. ณิชนันท์ เทพศุภรังษิกุล

การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทยซึ่งในขั้นตอนการอนุรักษ์นั้นมีการลงชั้นรองพื้นบริเวณที่ชำรุด จากนั้นจึงซ่อมแซมส่วนของภาพจิตรกรรม โดยกาวเมล็ดมะขามถูกใช้เป็นตัวประสานในชั้นรองพื้นสำหรับงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทย แต่เนื่องจากเมล็ดมะขามทำได้ยากเมื่ออยู่นอกฤดูกาล มีขั้นตอนในการเตรียมที่ยุ่งยาก เสียสภาพได้ง่าย รวมทั้งปัญหาเชื้อรา และมอดในขั้นตอนการเก็บรักษาเมล็ดมะขามไว้ใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำกาวยางกระถินมาใช้เป็นตัวประสานแทนกาวเมล็ดมะขาม เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย และมีขั้นตอนในการเตรียมที่ง่าย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขามด้วยเอทานอลเพื่อเป็นการพัฒนาทำให้มีประสิทธิภาพการเป็นตัวประสานสำหรับชั้นรองพื้นได้ดี สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย และแก้ปัญหาการหาเมล็ดมะขามได้ยาก โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเฮมิเซลลูโลสคือที่อุณหภูมิ 65-70 °C และอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำกาวเมล็ดมะขาม เป็น 1.0 : 1.5 ในการศึกษาคุณสมบัติในด้านความหนืดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริงพบว่ากาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสแสดงคุณสมบัติด้านความหนืดสูงกว่ากาวยางกระถิน และใช้ปริมาณน้อยกว่า 13.50 และ 21.60 เท่า ตามลำดับ ในการทดสอบการเสถียรภาพของน้ำกาวพบว่ากาวเฮมิเซลลูโลสเสถียรภาพเข้าที่ที่สุด นอกจากนี้ในการศึกษาปริมาณโปรตีน และปริมาณลิพิดพบปริมาณโปรตีนในเมล็ดมะขามเท่ากับ 16.60 %(w/v) ในเฮมิเซลลูโลสที่ 3.04 %(w/v) และพบปริมาณลิพิดในเมล็ดมะขามที่ 7.17 %(w/v) ในเฮมิเซลลูโลสที่ 2.13 %(w/v) การศึกษาคุณสมบัติในด้านสีของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น ผลการทดลองพบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีสีขาวกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินเกิดการหลุดร่อนในสภาวะน้ำกระด้าง และน้ำประปา คุณสมบัติด้านการยึดเกาะ และรอยขีดข่วนของชั้นรองพื้น พบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความสามารถยึดเกาะได้ดีกว่าจึงช่วยยึดอายุจิตรกรรมฝาผนัง ในด้านสัญญาณวิทยาชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีการดูดซับเม็ดสีเข้ามาในชั้นรองพื้น เนื่องจากมีรูพรุนสูงซึ่งจะช่วยในการดูดซับสีให้ยึดเกาะกับชั้นรองพื้นได้ดียิ่งขึ้น และช่วยให้ระบายความชื้นได้ดี ทำให้ชั้นรองพื้นไม่แตกร่อนออกมา ดังนั้นกาวเฮมิเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาเตรียมในส่วนชั้นรองพื้นสำหรับงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนัง แทนกาวเมล็ดมะขาม และกาวยางกระถินได้

58310201 : Major (ANALYTICAL CHEMISTRY)

Keyword : Mural painting, Binder, Tamarind seed, Hemicellulose

MR. TANATAT SAINGAM : DEVELOPMENT OF BINDER IN GROUND LAYER FOR RESTORATION OF THAI MURAL PAINTING THESIS ADVISOR : DR. NICHANAN THEPSUPARUNGSIKUL

During the conservation processes of Thai mural painting, the wall must be filled with ground layer before painting. Tamarind kernel gum has been mentioned as a binder of the ground layer. However, there are difficulties in finding tamarind seeds out-of-season, and storage problems. Therefore, gum acacia has been used as a binder instead of tamarind seeds because of its convenience to purchase and to prepare. In this research, hemicellulose was extracted from tamarind kernels with ethanol in order to develop binder with good properties such as adhesion efficiency, less time consumption in preparation and long term preservation time. The results show that the optimum conditions of the hemicellulose extraction were at 65-70 °C and the ethanol-water ratio was 1.0 : 1.5. For practical use concentration, the tamarind kernel gum and hemicellulose gum have higher viscosity than the acacia gum and their amounts of gum are used less than the acacia gum 13.50 and 21.60 times, respectively. Moreover, hemicellulose gum has the longest preservation time. Protein contents of tamarind seed and hemicellulose were 16.60 %(w/v) and 3.04 %(w/v), respectively and total lipid contents were 7.17 %(w/v) and 2.13 %(w/v), respectively. Tamarind kernel gum and hemicellulose gum have whiter shade of the background than the acacia gum. Not only tamarind kernel gum and hemicellulose gum have higher adhesion property than acacia gum, but they are also tolerate to ground water and tap water. In terms of morphology, hemicellulose has highly porous which helps color absorption and humidity flow. Thus, hemicellulose gum from tamarind seeds maybe use for restoration of Thai mural painting instead of acacia gum and tamarind kernel gum.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. ณิชนันทน์ เทพศุภรังษิกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย รวมทั้งอาจารย์ ดร. สุธินี เกิดเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. สุนนมาลย์ จันทร์เอี่ยม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. ฐิติมา สงเคราะห์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ส่งผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ ถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์ขวัญจิต เลิศศิริ และอาจารย์ อนุวัฒน์ ลัดดาวัลย์ ที่อนุเคราะห์ก่อนอิฐ วาดภาพสีฝุ่น รวมทั้งให้ความรู้ และคำแนะนำเกี่ยวกับจิตรกรรมฝาผนังของไทย ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบด้วยเครื่องมือขั้นสูง ขอขอบคุณ คุณณัชชภา สงวนวงศ์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่กรุณาแนะนำวิธีใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในห้องวิจัย และขอขอบคุณ คุณศักดิ์ชัย เกาต์วง ที่กรุณาช่วยแก้ไขเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ และคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และให้ประสบการณ์อันมีค่าแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณเจ้าของหนังสือ วารสาร เอกสาร และวิทยานิพนธ์ทุกเล่ม ที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และกำลังใจตลอดมา

คุณค่า หรือประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาแต่พระคุณบิดา มารดา ครู และอาจารย์ที่อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้การสนับสนุน และให้กำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

ธนทัต ไทรงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1
1.1.1 จิตรกรรมฝาผนังไทย.....	1
1.1.2 การสร้างจิตรกรรมฝาผนังของไทยในสมัยโบราณ.....	2
1.1.3 การเสื่อมของจิตรกรรมฝาผนังไทย.....	6
1.1.4 การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังไทย.....	7
1.2 วัตถุประสงค์.....	9
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	9
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	10
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ยางกระถิน.....	11
2.2 เมล็ดมะขาม.....	13
2.3 เฮมิเซลลูโลส.....	14
2.4 ไฮโดรเจล.....	16
2.5 โพรตีน.....	17
2.6 ลิพิด.....	18

2.7 วิธีเจลด่าง.....	19
2.8 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	21
2.9 การทดสอบการยัดเกาะ	23
2.10 การทดสอบการดูดซับ	23
2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	24
2.11.1 เครื่องมือที่ใช้วัดสี	24
2.11.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	25
2.11.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์ แบบพลังงานกระจาย	26
2.11.4 เครื่องวัดความหนืดบรูคฟิลด์.....	27
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	31
3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม	34
3.4.1.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลส	34
3.4.1.2 การศึกษาปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลส	34
3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส	35
3.4.3 การศึกษาการเตรียมน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส.....	36
3.4.3.1 การเตรียมน้ำกาวยางกระถิน	36
3.4.3.2 การเตรียมน้ำกาวเมล็ดมะขาม.....	36
3.4.3.3 การเตรียมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	36

3.4.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเสียดสภาพของน้ำกาว	36
3.4.4.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านความหนืด	36
3.4.4.2 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวในการเสียดสภาพ	38
3.4.4.3 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวที่สกัดไขมันออกในการเสียดสภาพ.....	38
3.4.4.4 การศึกษาคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา	39
3.4.5 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของยางกระถิน เมล็ดมะขาม และเฮมิเซลลูโลสโดยการหาปริมาณโปรตีน และลิพิด	39
3.4.5.1 การหาปริมาณโปรตีน.....	39
3.4.5.2 การหาปริมาณลิพิด	42
3.4.6 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นรองพื้นจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส	43
3.4.6.1 การทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ และ ความชื้น	45
3.4.6.2 การทดสอบการยึดเกาะของสีที่ทาบนชั้นรองพื้น การดูดซึบของชั้นรองพื้น และ สีนบนชั้นรองพื้น	46
3.4.6.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง.....	49
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม	49
4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส	49
4.1.2 ผลของปริมาณเอทานอลต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส	50
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส	50
4.2.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) ที่ระยะเวลา 1, 5, 7, 10, 13, 15, 17 และ 20 นาที.....	50

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกาวยางกระถิน กาวเม็ลต์มะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเสถียรภาพของน้ำกาว	52
4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านความหนืด	52
4.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวในการเสถียรภาพ	63
4.3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวหลังจากสกัดลิกนินออกในการเสถียรภาพของน้ำกาว โดยใช้เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน การต้มกลั่น และเครื่องวัด pH	67
4.3.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา	72
4.4 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของยางกระถิน เม็ลต์มะขาม และเฮมิเซลลูโลสโดยการหาปริมาณโปรตีน และลิกนิน	80
4.4.1 ผลการทดสอบปริมาณโปรตีน	80
4.4.2 ผลการทดสอบปริมาณลิกนิน	81
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสีบนชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้นเตรียมจากกาวยางกระถิน กาวเม็ลต์มะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส	82
4.5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น	82
4.5.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของสีที่ทาบนชั้นรองพื้น การดูดซึบของชั้นรองพื้น และสีบนชั้นรองพื้น	107
4.5.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา	110
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	119
รายการอ้างอิง	124
ภาคผนวก	129
ประวัติผู้เขียน	146

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเมล็ดมะขาม	14
ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในเมล็ดมะขาม	18
ตารางที่ 2.3 ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของในเมล็ดมะขาม	19
ตารางที่ 2.4 ปริมาณโปรตีนที่พบในอาหารต่างๆ	21
ตารางที่ 3.1 การดำเนินงานวิจัย	33
ตารางที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างชั้นรองพื้น และวาดภาพบนชั้นรองพื้น	44
ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลผลิต และความหนืดของเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	49
ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตของเฮมิเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่างๆ ของปริมาณเอทานอลต่อน้ำกาวเมล็ดมะขาม	50
ตารางที่ 4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) ที่เวลาต่างๆ	51
ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมใช้จริง และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน	53
ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน	54
ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน	55
ตารางที่ 4.7 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน	56
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน	57
ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน	57

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถินในช่วงความเข้มข้น 15.00-30.00 %(w/v)	59
ตารางที่ 4.11 ค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามในช่วงความเข้มข้น 1.00-2.50 %(w/v)	60
ตารางที่ 4.12 ค่าความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0.50-1.75 %(w/v).....	61
ตารางที่ 4.13 ความหนืดน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนและหลังจากสกัดลิตินออก	62
ตารางที่ 4.14 ค่าความหนืดของน้ำกาวทั้งสามชนิดในแต่ละวัน	64
ตารางที่ 4.15 การสังเกตการเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน	64
ตารางที่ 4.16 ค่า pH ของน้ำกาวในแต่ละวัน	65
ตารางที่ 4.17 การเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน	66
ตารางที่ 4.18 ค่า pH ของน้ำกาว	66
ตารางที่ 4.19 การเกิดกลิ่นเน่าเสียของน้ำกาวในแต่ละวัน	67
ตารางที่ 4.20 การเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน	68
ตารางที่ 4.21 ค่า pH น้ำกาวในแต่ละวัน	69
ตารางที่ 4.22 การเกิดกลิ่นเน่าเสียของน้ำกาวในแต่ละวัน	70
ตารางที่ 4.23 การเสถียรภาพของน้ำกาว	70
ตารางที่ 4.24 ปริมาณโปรตีนของผงยางกระถิน	81
ตารางที่ 4.25 ปริมาณลิตินของผงยางกระถิน ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส	82
ตารางที่ 4.26 การหลุดร่อนของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น	108
ตารางที่ 4.27 การเกิดรอยขีดขูดของชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้	109
ตารางที่ 4.28 การเกิดรอยขีดขูดของชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ	109
ตารางที่ 4.29 การเกิดรอยขีดขูดของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้	109
ตารางที่ 4.30 การเกิดรอยขีดขูดของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ	110

สารบัญรูปภาพ

หน้า

กราฟที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) ที่เวลาต่างๆ 52

กราฟที่ 4.2 ค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถินในช่วงความเข้มข้น 15.00-30.00 %(w/v) 59

กราฟที่ 4.3 ค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามในช่วงความเข้มข้น 1.00-3.00 %(w/v)..... 60

กราฟที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0.50-1.75 %(w/v)..... 61

กราฟที่ 4.5 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะปกติ 83

กราฟที่ 4.6 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ..... 84

กราฟที่ 4.7 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะปกติ..... 86

กราฟที่ 4.8 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ 87

กราฟที่ 4.9 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะแสงแดด..... 89

กราฟที่ 4.10 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะแสงแดด 90

กราฟที่ 4.11 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะแสงแดด 92

กราฟที่ 4.12 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะแสงแดด 93

กราฟที่ 4.13 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)..... 96

กราฟที่ 4.14 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)..... 97

กราฟที่ 4.15 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ) 99

กราฟที่ 4.16 ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ) 100

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างจิตรกรรมฝาผนัง..... 2

รูปที่ 1.2 ความเสียหายของภาพจิตรกรรมฝาผนัง วัดเชิงท่า จังหวัดอยุธยา..... 7

รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการฉีกเสริมความมั่นคงให้จิตรกรรมฝาผนัง 8

รูปที่ 2.1	ยางกระถิน	11
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของยางกระถิน	12
รูปที่ 2.3	เมล็ดมะขาม	13
รูปที่ 2.4	เฮมิเซลลูโลสจากเนื้อในเมล็ดมะขาม	15
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของโพลีแซ็กคาไรด์จากเนื้อในเมล็ดมะขาม	15
รูปที่ 2.6	การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสายโซ่พอลิเมอร์	17
รูปที่ 2.7	ชุดอุปกรณ์สำหรับวิธีเจลดาทัล	19
รูปที่ 2.8	ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์	22
รูปที่ 2.9	การกรีดตัดเตอร์ลงบนชั้นรองพื้น	23
รูปที่ 2.10	การดันดินสอลงบนชั้นรองพื้น	24
รูปที่ 2.11	ระบบสี CIELAB	25
รูปที่ 2.12	เครื่อง FESEM-EDDX และแผนภาพ Optical systems ของ FESEM-EDX	26
รูปที่ 2.13	เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III+ Rheometer	27
รูปที่ 3.1	แผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสขนาด 1.5×1.5 cm	35
รูปที่ 3.2	ตัวอย่างการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ	40
รูปที่ 3.3	สารละลายตัวอย่างการสีน้ำตาลดำ (ซ้าย), สารละลายตัวอย่างการสีเขียวใส (ขวา)	41
รูปที่ 3.4	ชุดอุปกรณ์การกลั่นเพื่อหาปริมาณโปรตีน	41
รูปที่ 3.5	ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์เพื่อหาปริมาณลิพิด	43
รูปที่ 3.6	ชั้นรองพื้นที่วาดภาพด้วยสีฝุ่น	45
รูปที่ 3.7	การดันดินสอลงบนชั้นรองพื้น	47
รูปที่ 4.1	SEM images กำลังขยาย 3,000x บริเวณ Surface (ซ้าย), Cross section (ขวา) ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v)	73
รูปที่ 4.2	SEM images กำลังขยาย 3,000x บริเวณ Surface (ซ้าย), Cross section (ขวา) ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง	75

รูปที่ 4.3 SEM images กำลังขยาย 1000x บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวความเข้มข้น 2.00 %(w/v).....	77
รูปที่ 4.4 SEM images กำลังขยาย 1,000x บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากกาวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง.....	79
รูปที่ 4.5 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะปกติ	85
รูปที่ 4.6 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะปกติ	88
รูปที่ 4.7 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะแสงแดด ..	91
รูปที่ 4.8 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะแสงแดด	94
รูปที่ 4.9 ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดบนแผ่นไม้ที่ให้แสงด้วยเครื่อง Suntest	95
รูปที่ 4.10 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ).....	98
รูปที่ 4.11 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ).....	101
รูปที่ 4.12 ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดบนแผ่นไม้ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Hydrostatic head tester.....	102
รูปที่ 4.13 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำตามบ้านเรือน.....	103
รูปที่ 4.14 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำตามบ้านเรือน.....	104
รูปที่ 4.15 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำบาดาล.....	105
รูปที่ 4.16 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำบาดาล	106
รูปที่ 4.17 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวยางกระถินที่ทาบนแผ่นไม้.....	112

รูปที่ 4.18 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ทาบนแผ่นไม้.....	112
รูปที่ 4.19 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ทาบนแผ่นไม้.....	112
รูปที่ 4.20 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวยางกระถินที่ทาบนแผ่นไม้.....	113
รูปที่ 4.21 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ทาบนแผ่นไม้.....	113
รูปที่ 4.22 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ทาบนแผ่นไม้.....	113
รูปที่ 4.23 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวยางกระถินที่ทาบนก้อนอิฐ.....	115
รูปที่ 4.24 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ทาบนก้อนอิฐ.....	115
รูปที่ 4.25 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ทาบนก้อนอิฐ.....	115
รูปที่ 4.26 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวยางกระถินที่ทาบนก้อนอิฐ.....	116
รูปที่ 4.27 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ทาบนก้อนอิฐ.....	116
รูปที่ 4.28 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ทาบนก้อนอิฐ.....	116
รูปที่ 4.29 FESEM images กำลังขยาย 10,000x บริเวณ cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวชนิดต่างๆ ที่ทาบนแผ่นไม้ในโหมด Secondary electrons (ซ้าย) และ Back-scattered electrons (ขวา)	118
รูปที่ 5.1 ภาพจิตรกรรมบนบานประตูวัดคูสิดารามวรวิหาร แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร	12222

รูปที่ 5.2 ภาพจิตรกรรมบนฝาผนังวัดบ้านกอก ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี
..... 1222

รูปที่ 5.3 ภาพจิตรกรรมสัตว์หิมพานต์ วัดสุทัศน์เทพวราราม แขวงวัดราชบพิธ เขตพระนคร
กรุงเทพมหานคร 1233



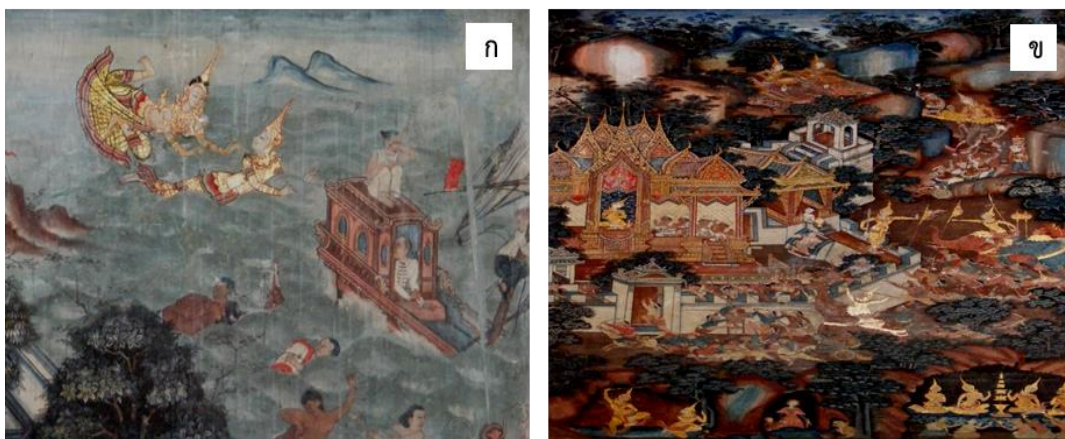
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

1.1.1 จิตรกรรมฝาผนังไทย

จิตรกรรมฝาผนังเป็นผลงานศิลปะที่มีคุณค่าทางด้านประวัติศาสตร์ โบราณคดี ขนบธรรมเนียมประเพณี วิถีการดำเนินชีวิต คติความเชื่อ รวมถึงคุณค่าทางสุนทรียศาสตร์ที่แสดงถึงความเจริญของคนในท้องถิ่นได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจิตรกรรมฝาผนังจึงเป็นการบันทึกประวัติศาสตร์ และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านมา จิตรกรรมฝาผนังของไทย เป็นศิลปะที่มีความประณีตสวยงาม แสดงถึงความรู้สึก สะท้อนวิถีชีวิตและความเป็นไทย ที่มีความอ่อนโยน ละมุนละไม มีการสร้างสรรค์สืบต่อกันมาตั้งแต่อดีตจนกลายเป็นศิลปะประจำชาติที่มีลักษณะ และรูปแบบเฉพาะ จิตรกรรมฝาผนังนิยมเขียนบนฝาผนังภายในอาคารที่เกี่ยวข้องกับพุทธศาสนา และอาคารที่เกี่ยวข้องกับบุคคลชั้นสูง เช่น โบสถ์ วิหาร พระที่นั่ง วัง โดยเขียนด้วยสีฝุ่น ตามกรรมวิธีของช่างเขียนไทยโบราณ เนื้อหาที่เขียนมักเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับ พุทธประวัติ ทศชาติชาดก ไตรภูมิวรรณคดี พงศาวดารต่างๆ สำหรับลักษณะจิตรกรรมไทยแบบประเพณี เป็นศิลปะที่มีอุดมคติผนวกเข้ากับเรื่องราวกึ่งลึกลับมหัศจรรย์ซึ่งคล้ายกับงานจิตรกรรมในประเทศแถบตะวันออกหลายๆ ประเทศ เช่น อินเดีย ศรีลังกา จีน และญี่ปุ่น เป็นต้น โดยภาพที่ระบายสีจะมีลักษณะแบนเรียบ และเนื่องจากสีค่อนข้างสดใส มีการตัดเส้นเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้มีเพียงด้านกว้างและยาวไม่มีความลึก ไม่มีการใช้แสง และเงามาประกอบ จิตรกรรมไทยแบบประเพณีมีลักษณะพิเศษในการจัดวางภาพแบบเล่าเรื่องเป็นตอนๆ ตามผนัง หรือ ช่องหน้าต่าง (จตุรัส อนุกุล, 2017)



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างจิตรกรรมฝาผนัง โดย (ก) มหาชนกชาตค, (ข) มโหสถชาตค
(ยอดชาย พรหมอินทร์, 2554)

ฝายอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนัง และประติมากรรม กองโบราณคดี และกรมศิลปากรได้จำแนก ลักษณะแนวทางการเขียนภาพจิตรกรรมฝาผนังไทยเป็น 2 แบบคือ จิตรกรรมสกุลช่างหลวง หรือ จิตรกรรมแนวประเพณี ซึ่งมีลักษณะการเขียนภาพเป็นงานฝีมือช่างจากราชสำนัก และจิตรกรรมสกุลช่างพื้นบ้าน ที่อาจเกิดโดยช่างชาวบ้านในท้องถิ่น มีลักษณะภาพที่แสดงประเพณีนิยมในท้องถิ่นนั้นๆ เป็นหลักฐานแสดงให้เห็นลักษณะทางความคิด และจิตใจของชาวบ้านในท้องถิ่นได้เป็นอย่างดี (กฤษณ์ ทองเลิศ, 2554)

1.1.2 การสร้างจิตรกรรมฝาผนังของไทยในสมัยโบราณ

กรรมวิธีการเขียนภาพจิตรกรรมไทยมีหลายขั้นตอน โดยการเขียนภาพจิตรกรรมยังไม่ได้มีการบันทึกไว้แน่ชัดว่ามีขั้นตอนโดยละเอียดอย่างไร แต่เท่าที่มีผู้ศึกษา และสอบถามช่างเขียนรุ่นเก่าที่ยังมีชีวิตอยู่ สามารถเรียบเรียงเป็นความรู้เบื้องต้น แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน 1) การเตรียมผนัง หรือ การเตรียมชั้นปูนน้ำอ้อย เป็นขั้นตอนการเตรียมผนังชั้นปูนฉาบเพื่อความมั่นคงของโครงสร้างอิฐ และเพื่อเตรียมผนังให้เรียบเนียน 2) การเตรียมชั้นรองพื้น เป็นการทารองพื้นลงไปบนผนังปูนฉาบก่อนการเขียนภาพ โดยเตรียมรองพื้นจากดินสอพองผสมกับกาวที่ได้จากเมล็ดมะขาม และขัดพื้นอีกครั้งเพื่อให้ผิวเรียบ ชั้นรองพื้นนี้จะทำหน้าที่ดูดซับ และยึดเกาะสีได้ดี มีส่วนช่วยให้สีมีความสดใสตามธรรมชาติของสี 3) การเขียนภาพ เป็นขั้นตอนเขียนภาพลงบนฝาผนัง โดยใช้สีจากธรรมชาติ เช่น แร่ธาตุ ดิน หรือ เขม่า โดยนำสีมาบดให้ละเอียดแล้วผสมกับกาวหนังสัตว์ หรือ กาวยางกระถิน

ก) การเตรียมผนัง หรือ การเตรียมชั้นปูนน้ำอ้อย

การเตรียมชั้นปูนน้ำอ้อยตามกรรมวิธีโบราณ นำปูนขาวมาหมักแช่น้ำ และเปลี่ยนน้ำจนกว่าค่า pH ของปูนขาวจะเป็นกลาง จากนั้นทำการกรองกำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกให้หมด แล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นๆ เพื่อใช้เป็นปูนฉาบ หรือปูนน้ำอ้อย โดยในชั้นปูนน้ำอ้อยประกอบด้วย

1. กาวหนังสัตว์ ได้จากการนำหนังสัตว์ เช่น หนังวัว หรือหนังกระต่ายมาตัดเป็นเส้นเล็กๆ นำไปเผาไฟจนผิวเกรียม จากนั้นเคี้ยวจนเหนียวจะได้เป็นน้ำกาวหนังสัตว์
2. ยางเถาหัวด้วน ได้จากต้นเถาหัวด้วนซึ่งเป็นเถาวัลย์ชนิดหนึ่ง ลักษณะคล้ายต้นฝอยทองสีเขียว ใต้พื้นขึ้นตามต้นไม้ใหญ่
3. ยางบง ได้จากต้นบงซึ่งเป็นไม้ยืนต้น ยางอยู่ที่บริเวณเปลือก โดยเมื่อนำเปลือกมาสับเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นแช่น้ำทิ้งไว้ ยางจากต้นบงจะละลายออกมาปนอยู่ในน้ำ
4. ยางประดู่ เป็นไม้ยืนต้น คุณสมบัติมีความเหนียวยืดหยุ่นได้ดี
5. น้ำอ้อย ได้มาจากการเคี้ยวน้ำตาลอ้อยจนมีความหนืดที่ต้องการ
6. ทรายละเอียด โดยนำทรายมาแช่น้ำทิ้งไว้

นำส่วนผสมทั้งหมด มารวมกันจนกลายเป็นเนื้อเดียว นำไปฉาบบนผนัง ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ผนังแห้งสนิท จะได้เป็นชั้นปูนน้ำอ้อย (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

ข) การปรับสภาพพื้นผนังเพื่อลดความเป็นเบสของปูน

พื้นผนังที่ฉาบด้วยปูนน้ำอ้อยยังมีความเป็นเบสอยู่ จึงจำเป็นต้องปรับผนังปูนให้มีสภาพเป็นกลาง เพราะถ้าผนังมีความเป็นเบส ผนังจะดูดความชื้น ซึ่งไม่เหมาะต่อการเขียนภาพจิตรกรรม เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสียหายของภาพ โดยความชื้นจะดันภาพให้หลุดร่อนออกมา ดังนั้นช่างจะต้องหาวิธีปรับสภาพของผนังให้เป็นกลางก่อน โดยเมื่อฉาบพื้นผนังทั้งหมดแล้ว จะทิ้งผนังให้แห้งประมาณ 3-4 เดือน แล้วจึงทำการปรับสภาพผนังให้เป็นกลางด้วยน้ำไบซี้เหล็ก (ภาควิชาศิลปะไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

ต้นซีเหล็กเป็นไม้ขนาดกลางถึงใหญ่ ดอกสีเหลือง ใบมีสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด ได้แก่ กรดพาราคูมาริก (Para-coumaric acid) น้ำไบซี้เหล็กสามารถจัดความเป็นเบสของผนังได้เป็นอย่างดี ขั้นตอนในการเตรียมน้ำไบซี้เหล็ก เลือกใบที่แก่จัด นำไปบดให้เป็นผงจากนั้นผสมน้ำเล็กน้อย นำไปให้ความร้อน และเคี่ยวเป็นระยะเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จะได้น้ำไบซี้เหล็กสีเขียวอมน้ำตาล กรองเอาแต่น้ำ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปทาบนผนังทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วัน น้ำไบซี้เหล็กจะทำปฏิกิริยากับพื้นผนังปูน เกิดเป็นคราบสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นล้างน้ำไบซี้เหล็กออกด้วยน้ำสะอาด นอกจากนี้ น้ำไบซี้เหล็กยังช่วยทำให้ผนังยึดติดกันแน่นขึ้นไม่เกิดรอยร้าว

ค) การตรวจสอบความเป็นเบสของปูน

การตรวจสอบความเป็นเบสของผนังก่อนการทาชั้นรองพื้นสำหรับช่างไทยโบราณ จะใช้ขมิ้นชันสดมาตรวจสอบสภาพความเป็นเบสของผนัง

ในขมิ้นมีสารเคอร์มิน (Curmin) เป็นผลึกสีเหลือง เมื่อละลายในเบสจะให้สารละลายสีแดง ช่างโบราณจึงใช้หัวขมิ้นสดมาขีดบนผนังปูนที่ทำการปรับสภาพแล้วด้วยน้ำไบซี้เหล็ก ถ้าผนังไม่มีความเป็นเบสแล้วขมิ้นที่ขีดลงไปจะเป็นสีเหลืองตามปกติ แต่ถ้ายังมีความเป็นเบสอยู่ขมิ้นที่ขีดลงไปจะเปลี่ยนเป็นสีแดงสด จะต้องทำการปรับสภาพใหม่ เมื่อผนังไม่มีความเป็นเบสแล้ว ปล่อยผนังให้แห้งเป็นเวลาประมาณ 9 เดือน จึงเริ่มขั้นตอนการเตรียมชั้นรองพื้นเป็นลำดับต่อไป (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

ง) การเตรียมชั้นรองพื้น

ในการเตรียมชั้นรองพื้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากถ้าเตรียมชั้นรองพื้นไม่ดี เมื่อวาดภาพลงบนฝาผนัง ภาพอาจเกิดการหลุดลอก หรือ ชำรุดเสียหายได้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้ช่างโบราณจะประณีต และพิถีพิถันมาก (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

ข้อมูลจากสำเนาจารึก แผ่นศิลาว่าด้วยการปฏิสังขรณ์วัดโพธาราม สมุดไทยดำ จดหมายเหตุรัชกาลที่ 1 (จศ.1163) ระบุวัสดุที่ช่างไทยใช้ทำชั้นรองพื้นสำหรับเตรียมเขียนจิตรกรรมฝาผนัง ได้แก่ ดินสอพองผสมกาวเมล็ดมะขาม โดยเหตุที่เลือกใช้กาวจากเมล็ดมะขามอาจเนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่าย และมีคุณสมบัติที่เหมาะสม คือ ให้สีขาวนวลเรียบเนียน, ยึดเกาะกับพื้นปูนได้ดี, ดูดซับสีได้ดี และมีรูปทรงทำให้ผนังคายความชื้นออกได้ จึงได้กำหนดวัสดุชั้นรองพื้นจากดินสอพองกับกาวเมล็ดมะขามเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ซ่อมแซมจิตรกรรมฝาผนังของกลุ่มอนุรักษ์จิตรกรรม และประติมากรรมตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2514 (คณะศิษย์เก่าแผนกวิชาจิตรกรรมไทย, 2550; อภรณ์ ณ สงขลา, 2554) โดยการเตรียมชั้นรองพื้นมีส่วนผสม และขั้นตอนดังนี้

เมล็ดมะขามที่นิยมใช้ส่วนมากเป็นเมล็ดมะขามเปรี้ยว ในขั้นตอนการเตรียมน้ำกาวเมล็ดมะขาม นำเมล็ดมะขามคั่วให้ร้อน จากนั้นเทขณะที่กำลังร้อนลงในน้ำเย็น แช่น้ำทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 คืน เปลือกของเมล็ดมะขามจะหลุดออก จากนั้นแกะเอาเฉพาะเนื้อในเมล็ดมะขาม นำเนื้อในเมล็ดมะขามมาบดให้ละเอียดเติมน้ำลงไป จากนั้นนำไปเคี่ยวเป็นระยะเวลา ประมาณ 45 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ร้อนเกินไป เพราะจะทำให้กาวหมดประสิทธิภาพความเหนียว โดยนำกาวเมล็ดมะขามนั้นเกิดขึ้นจากเนื้อของเมล็ดมะขามละลายออกมาเป็นน้ำเมือกเหนียว ได้เป็นน้ำกาวเมล็ดมะขามกรองน้ำกาวเมล็ดมะขามด้วยผ้าขาวบาง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อได้น้ำกาวเมล็ดมะขามแล้วควรนำไปใช้

เตรียมเป็นชั้นรองพื้นให้หมดภายในหนึ่งวัน ถ้าข้ามวันแล้วน้ำกาวเมล็ดมะขามจะบูด เเน่ มีกลิ่นเหม็น และไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

การเตรียมดินสอพองให้นำดินสอพองไปแช่น้ำ แล้วเปลี่ยนน้ำทิ้ง 4-5 ครั้ง เพื่อปรับสภาวะของดินสอพองให้เป็นกลาง กรองด้วยผ้าขาวบาง แยกดินออกจากดินสอพอง เมื่อดินสอพองนอนก้นให้รินน้ำทิ้ง เอาเนื้อดินสอพองมาผสมกับกาวเมล็ดมะขามที่เตรียมไว้ ในอัตราส่วนดินสอพอง 1 ส่วนต่อกาวเมล็ดมะขาม 2 ส่วน กวนให้ดินสอพอง และกาวเมล็ดมะขามเข้าเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 30 นาที จากนั้นทาลงบนผนังให้มีความหนาประมาณ 2 mm โดยทา 3-4 ครั้ง แต่แต่ละครั้งที่ทาจะต้องทิ้งให้ชั้นรองพื้นแห้งสนิทเสียก่อนจึงจะสามารถทาครั้งต่อไปได้ เมื่อแห้งสนิทให้กวาดผนังด้วยหอยเบี้ยขนาดใหญ่ ถ้าไม่มีเปลือกหอยอาจใช้สำนวนของถ้วยหรือชามมากวาดผนังได้ การกวาดผนังนี้ควรกวาดขณะที่ชั้นรองพื้นยังหมาดๆ อยู่ ถ้าแห้งมากเกินไปผิวผนังจะเป็นฝุ่นผงกระจาย และจะทำให้ชั้นรองพื้นที่ทาลงไปแล้วนั้นหลุดออก (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

การกวาดคือการทำให้ชั้นรองพื้นแน่นขึ้นไม่ใช่เป็นการขัดเพื่อเอาออก เมื่อกวาดผนังจนได้ความแข็งแรงดีแล้วปิดฝุ่นออกให้หมด แล้วปล่อยให้แห้งเป็นระยะเวลาประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้ชั้นรองพื้นแห้ง

ประโยชน์ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากกาวเมล็ดมะขามผสมดินสอพองเมื่อทาลงบนผนัง

1. ชั้นรองพื้นที่เตรียมจากกาวเมล็ดมะขามผสมดินสอพอง จะไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวเคลือบผนังแต่จะทำให้ผนังมีความสามารถในการระบายความชื้นที่อยู่ที่ผนังออกมาได้ ถ้าความชื้นในผนังไม่สามารถระบายออกได้ เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นจะดันชั้นรองพื้นให้หลุดออก ทำให้ภาพเขียนเกิดการหลุดร่อน
2. ชั้นรองพื้นที่เตรียมจากกาวเมล็ดมะขามผสมดินสอพอง เป็นวัสดุจากธรรมชาติซึ่งสีฝุ่นที่ใช้เป็นสีจากธรรมชาติเช่นกัน ช่วยให้สี และชั้นรองพื้นยึดเกาะกันแน่นไม่หลุดร่อนออกจากกันง่าย
3. เมื่อวาดภาพสีฝุ่นธรรมชาติลงบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม สีฝุ่นจะมีความเรียบ เมื่อต้องการวาดทับลงบนสีอื่นไม่ว่าจะเป็นสีที่น้ำหนักรเบากว่า หรือสีที่น้ำหนักเข้มนกว่าก็ตาม สีที่ระบายทับลงไปจะไม่ดึงสีพื้นเดิมออกมาผสมกับที่ระบายทับ ทำให้ภาพที่วาดออกมามีลักษณะบางไม่เกาะกันเป็นชั้น โดยปัญหานี้มักพบกับสีโปสเตอร์ หรือ สีน้ำพลาสติก ซึ่งจะทำให้ชั้นสีหลุดร่อนออกมาในภายหลังได้ (ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี)

จ) การเขียนภาพ

ในขั้นตอนนี้เป็นการเขียนภาพลงบนฝาผนัง โดยสีที่ใช้เป็นสีที่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น สีน้ำตาลแดงมาจากการบดดินแดง สีขาวมาจากการบดเปลือกหอยให้ละเอียด สีน้ำตาลขาวเกิดจากการนำสีน้ำตาลแดงของดินแดงมาผสมกับสีขาวจากเปลือกหอย และสีเขียวอมกรมมาจากการบดหินมาลาไคท์ (Malachite) จากนั้นนำมาผสมกับกาวหนังสัตว์ หรือ กาวยางกระถิน แล้วทาลงบนฝาผนัง

1.1.3 การเสื่อมของจิตรกรรมฝาผนังไทย

ในปัจจุบันจิตรกรรมฝาผนังได้ชำรุดทรุดโทรมลงไป ซึ่งการชำรุดของจิตรกรรมฝาผนัง เกิดขึ้นจากตัวอาคารชำรุดทำให้จิตรกรรมเสียหายไปด้วย หรือ ชำรุดที่จิตรกรรมเอง การชำรุดมีลักษณะดังนี้ โครงสร้างชำรุด ซึ่งมีผลกระทบต่อจิตรกรรมฝาผนัง คือ

1. หลังคารั่ว
2. ฝาผนังแตกร้าว ผุ กร่อน เป็นโพรง หรือ ปูนฉาบหลุดหายไป
3. ฐาน แตก ร้าว หรือ ทรุด
4. บานประตูหน้าต่าง หัก ผุ หรือ ทรุด

จิตรกรรมชำรุด การชำรุดอาจเกิดที่จิตรกรรมฝาผนังได้ทั้ง 3 ระดับ คือ ชั้นรองพื้น ชั้นสี และผิวภาพ โดยมีสาเหตุต่างๆดังนี้

1. ความชื้น ได้แก่ น้ำฝนรั่ว ซึมหรือสาด น้ำจากใต้ดินซึมขึ้นตามฐานราก และฝาผนัง ไอน้ำในอากาศทำให้อับชื้น และการเกิดน้ำท่วมขัง
2. ฝุ่น ที่จับที่ผิวจิตรกรรม
3. คิว้นไฟ จากรูป เทียน การเผาสิ่งต่างๆ และคว้นจากเครื่องยนต์
4. แมลง และสัตว์ต่างๆ เช่น มด แมลงสาบ ผีง ชันรงค์ นก ค้างคาว จิ้งจก หรือตุ๊กแก
5. แสงสว่าง และความร้อน ทั้งแสงไฟฟ้า และแสงแดด ตลอดจนเปลวไฟต่างๆ
6. รา รวมทั้งตะไคร่น้ำ และจุลชีพต่างๆ ต้นไม้ขึ้นบนผนัง
7. ความสั่นสะเทือน เช่น แรงสั่นสะเทือนจากรถบรรทุก หรือการก่อสร้างในบริเวณใกล้เคียง
8. ลม แรงแลมจะพัดฝุ่นทรายมากระทบจิตรกรรม และที่เห็นได้ชัดคือบริเวณผนังบานประตู และหน้าต่างจิตรกรรมจะชำรุดเสียหายมาก

9. คน ความชำรุดที่เกิดจากคนมีหลายประเด็น คือ

- ความบกพร่องของวัสดุอุปกรณ์ และเทคนิคการสร้างงานจิตรกรรม
- ความผิดพลาด และบกพร่องในการรักษาหรือบูรณะผิวดิน
- การทำลายทั้งโดยเจตนา และไม่เจตนา เช่น การจับ ลูบ จุดรูปเทียน ปิดกวาง

หรือการทุบ เจาะ รื้อ ขูด ขีดลงบนภาพ (ศุภชัย สุชีโชติ, 2551)



รูปที่ 1.2 ความเสียหายของภาพจิตรกรรมฝาผนัง วัดเชิงท่า จังหวัดอยุธยา

1.1.4 การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังไทย

การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังในประเทศไทย ดำเนินการโดยกลุ่มงานอนุรักษ์จิตรกรรม และ ประติมากรรม กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม การดำเนินการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

1) ขั้นเตรียมการ โดยการสำรวจเก็บข้อมูลหลักฐานทางจิตรกรรม จัดลำดับความเร่งด่วนในการอนุรักษ์ตามคุณค่า ความสำคัญ และเทคนิคของจิตรกรรม วิเคราะห์ปัญหาจนรู้ถึงวิธีแก้ปัญหาที่เป็นสาเหตุให้จิตรกรรมเสื่อมสภาพ

2) ขั้นปฏิบัติการ โดยเป็นขั้นตอนการอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังให้กลับมามีสภาพดี และคงความงามดั้งเดิม โดยในปัจจุบันใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาผสมผสานกับความรู้การช่างไทยโบราณ โดยขั้นตอนการปฏิบัติการอนุรักษ์เริ่มต้นจากการทำความสะอาดฝาผนัง ผนังเสริมความมั่นคง และขูดปูนที่เสื่อมสภาพที่ไม่มีจิตรกรรมฝาผนังออกแล้วฉาบด้วยปูนน้ำอ้อย จากนั้นลงชั้นรองพื้นด้วยดินสอพองซึ่งผสมกับกาวเมล็ดมะขามหรือกาวยางกระถินในบริเวณที่ชำรุด สุดท้ายยึ่งซ่อมแซมส่วนภาพจิตรกรรม (วรรณิภา ณ สงขลา, 2528; คณะศิษย์เก่าแผนกวิชาจิตรกรรมไทย, 2550)



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการฝึกเสริมความมั่นคงให้จิตรกรรมฝาผนัง

โดยการซ่อมแซมชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีขั้นตอนในการเตรียมที่ยุ่งยาก น้ำกาวเสียสภาพได้ง่าย และหาเมล็ดมะขามได้ยากเมื่ออยู่นอกฤดูกาล ทั้งนี้รวมถึงปัญหาเชื้อรา และมอดในขั้นตอนการเก็บรักษาเมล็ดมะขามไว้ใช้งาน ประมาณปี พ.ศ. 2540 ช่างอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังไทยได้เริ่มนำกาวยางกระถินมาใช้เป็นตัวประสานในชั้นรองพื้นแทนกาวเมล็ดมะขามเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย และมีขั้นตอนในการเตรียมที่ง่าย แต่อย่างไรก็ตามกาวยางกระถินมีราคาแพง และเสียสภาพได้ง่าย ปัจจุบันมีการใช้ทั้งกาวเมล็ดมะขาม และกาวยางกระถินในการอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังไทยในส่วนของชั้นรองพื้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติของกาวเมล็ดมะขาม และกาวยางกระถิน อีกทั้งศึกษาการสกัดสารที่มีสมบัติเป็นตัวประสานในรูปแบบของเฮมิเซลลูโลส ชนิดไฮโดรเจลจากเนื้อในของเมล็ดมะขาม โดยการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขามด้วยเอทานอลจะมีการกำจัดสารอื่นๆ ออก เช่น โปรตีน และไขมัน เหลือองค์ประกอบที่สำคัญคือโพลีแซคคาไรด์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล เพื่อเป็นการพัฒนากาวเมล็ดมะขามให้มีประสิทธิภาพเป็นตัวประสานได้ดียิ่งขึ้น ง่ายต่อการเตรียมน้ำกาว และเก็บรักษาได้นาน จากนั้นศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพ ของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด การเสียสภาพของน้ำกาว ปริมาณโปรตีน ปริมาณลิพิด และลักษณะทางสัณฐานวิทยา และ ศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติของชั้นรองพื้น และสีที่ทาบนชั้นรองพื้นเตรียม

จากน้ำกาวชนิดต่างๆ ในด้านของความคงทนของชั้นรองพื้น การยึดเกาะ การดูดซับ รวมทั้งความคงทนของสีต่อแสง และอุณหภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมชั้นรองพื้นจากกาวแต่ละชนิด

2. เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

3. เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านการเสถียรภาพของน้ำกาว รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีในด้านปริมาณโปรตีน และลิพิด

4. เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นรองพื้นจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสในด้านการดูดกลืนแสงที่สะท้อนจากสีของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น ความคงทนของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น การยึดเกาะของชั้นรองพื้น และสีบนชั้นรองพื้น การดูดซับของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. เฮมิเซลลูโลสที่ตกตะกอนด้วยเอทานอลมีค่าปริมาณโปรตีน และลิพิด น้อยกว่าเมล็ดมะขาม เนื่องจากมีการกำจัดสารอื่นๆ ที่ละลายได้ในตัวทำละลายเอทานอลออก

2. เฮมิเซลลูโลสที่สกัดด้วยเอทานอลมีคุณสมบัติด้านความหนืด การเก็บรักษา และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ดีกว่ายางกระถิน และเมล็ดมะขาม เนื่องจากเมื่อมีลิพิดน้อยลงทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้น และเมื่อสกัดโปรตีนออกไปทำให้การเนาเสีย และเกิดเชื้อรา ซ้ำลงจึงสามารถเก็บรักษาไว้ใช้งานได้ยาวนานขึ้น

3. กาวเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากการทดลองโดยการสกัดจากเมล็ดมะขามด้วยเอทานอลคาดว่าจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากาวเมล็ดมะขาม และกาวยางกระถิน สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวประสานในการเตรียมชั้นรองพื้นสำหรับงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังของไทยได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. เตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขามโดยการตกตะกอนด้วยเอทานอล
2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของ กาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และ กาวเฮมิเซลลูโลส
3. ประเมินประสิทธิภาพการเป็นตัวประสานของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และ กาวเฮมิเซลลูโลส
4. ประเมินประสิทธิภาพของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และ กาวเฮมิเซลลูโลส



บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางกระถิน

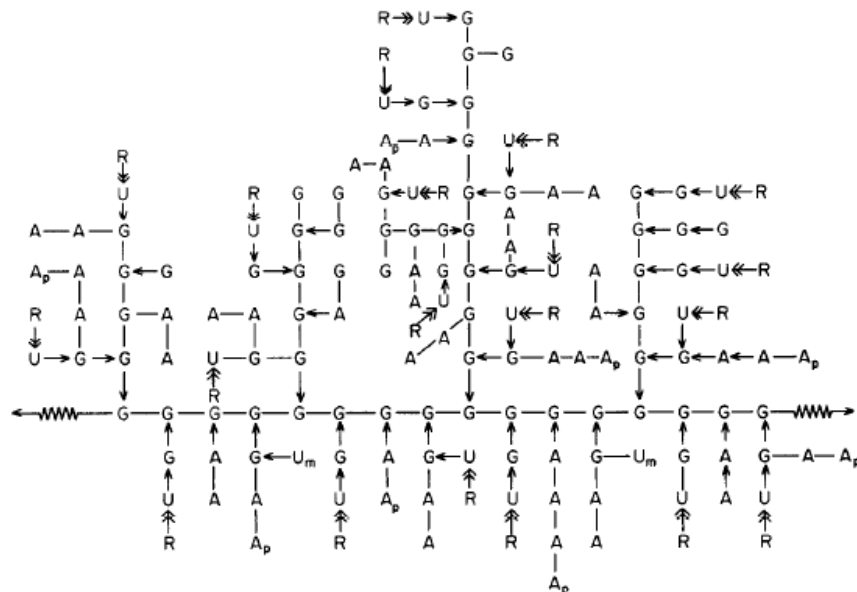
ยางกระถิน (Acacia gum) เกิดจากยางของต้นกระถินไหลออกมาจากกิ่ง และก้าน จากนั้นเกิดการทับถมกันเมื่อแห้งจึงจับกันเป็นก้อน โดยยางกระถินได้มาจากต้นกระถินบางสายพันธุ์ เช่น Acacia Senegal หรือ Acacia seyal (Sibaja-Hernández, Román-Guerrero, Sepúlveda-Jiménez, & Rodríguez-Monroy, 2015; Ali, Ziada, & Blunden, 2009) ยางกระถินนั้นสามารถกินได้ อุดมไปด้วยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง และมีความหนืดต่ำ ยางกระถินส่วนมากถูกใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว สารเพิ่มความข้นหนืด และเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ในอาหาร (ลูกกวาด มาชเมลโล่ และน้ำเชื่อม) แต่ยังสามารถนำไปใช้ในงานอื่นๆ ได้ เช่น สิ่งทอ เครื่องปั้นดินเผา ภาพพิมพ์หิน เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมยา (Ali et al., 2009) ยางกระถินเป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อร่างกาย (ศิริวรรณ ตั้งจิตวิบูลย์กุล และ พิระศักดิ์ ฉายประสาท, 2557)

ในทางการแพทย์ยางกระถินถูกใช้เพื่อรักษาอาการอักเสบภายในลำไส้ และแผลพุพอง นอกจากนี้ยังมีการใช้ในผู้ป่วยไตวายเรื้อรัง ซึ่งพบว่าช่วยลดระดับความเข้มข้นของยูเรีย (Urea) และครีเอทีนีน (Creatinine) ซึ่งช่วยให้ลดการฟอกไตจาก 3 เหลือ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ (Ali et al., 2009)



รูปที่ 2.1 ยางกระถิน

ยางกระถินประกอบไปด้วยน้ำตาลกาแล็กโทส (Galactose) 39.00-42.00 %(w/v) น้ำตาลอะราบินโนส (Arabinose) 24.00-27.00 %(w/v) น้ำตาลแรมโนส (Rhamnose) 12.00-16.00 %(w/v) และกรดกลูคูโรนิก (Glucuronic) 15.00-16.00 %(w/v) โปรตีน (Protein) 1.50-2.60 %(w/v) ไนโตรเจน (Nitrogen) 0.22-0.39 %(w/v) และความชื้น 12.50-16.00 %(w/v) ทั้งนี้ องค์ประกอบทางเคมีของยางกระถินอาจแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด อายุของต้นไม้ สภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมของดิน (Ali et al., 2009) โดยยางกระถินเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีกึ่งกำมัน และมีค่า pH เป็นกลาง หรือไปทางกรดเล็กน้อย ซึ่งยางพบว่ายางกระถินเป็นส่วนผสมในแคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) และเกลือโพแทสเซียม (Potassium salt) ของกรดอะราบิก (Arabic acid) สายโซ่หลักประกอบไปด้วย 1,3-linked β -D-galactopyranosyl และมีสายโซ่ข้าง หรือหมู่ฟังก์ชัน เป็น 1,3-linked β -D-galactopyranosyl จำนวน 2 ถึง 5 ตัว โดยโซ่ข้าง และสายโซ่หลักเชื่อมกันด้วย 1,6-linkages โดยทั้งสายโซ่หลัก และสายโซ่ข้าง ประกอบไปด้วย α -L-arabinofuranosyl, α -L-rhamnopyranosyl, β -D-glucuronopyranosyl และ 4-O-methyl- β -D-glucuronopyranosyl ส่วนใหญ่แล้ว β -D-glucuronopyranosyl และ 4-O-methyl- β -D-glucuronopyranosyl จะอยู่ที่บริเวณปลายสาย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของยางกระถิน โดย A = L-arabinofuranose, Ap = L-arabinopyranose, G = D-galactopyranose, R = L-rhamnose, U = D-glucuronic acid, Um = D-4-Omethylglucuronic acid (Street & Anderson, 1983)

2.2 เมล็ดมะขาม

มะขาม (Tamarind) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในวงศ์ Fabaceae เจริญเติบโตในประเทศต่าง ๆ มากกว่า 50 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และ อินโดนีเซีย ฝักมะขามมีลักษณะเป็นฝักสีน้ำตาล หนึ่งฝักประกอบด้วยเมล็ด 1-12 เมล็ด (วรางคณา สมพงษ์ ภาสกร ชีระศิลป์วิสุกุล และ คณิน ศรีสาสิกุลรัตน์, 2559) มะขามเป็นพืชที่สำคัญทางด้าน เศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ต้นมะขามนั้นสามารถนำเกือบทุกส่วนมาใช้ประโยชน์ในด้าน ต่างๆได้ นิยมปลูก และรับประทานในประเทศไทย สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลาย รูปแบบ อย่างไรก็ตามเมล็ดมะขาม (Tamarind seeds) ถือเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม การผลิตเนื้อมะขาม (สิริการ หนูสิงห์ และ วรางคณา สมพงษ์, 2558) เมล็ดมะขาม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามสีน้ำตาลแดง (Tamarind coat) 30.0-35.0 % (w/w) และส่วนที่เป็น เนื้อในเมล็ดมะขามสีขาว (Tamarind kernel) 60.0-65.0 % (w/w) โดยทั่วไปเนื้อในเมล็ดมะขามจะ ประกอบด้วย โพลีแซ็กคาไรด์ 65.1-72.2 % (w/w) โปรตีน 15.0-20.9 % (w/w) ลิพิด 3.9-8.0 % (w/w) ไฟเบอร์ (Fiber) 2.5-8.2 % (w/w) ความชื้น 11.4-22.7 % (w/w) และขี้เถ้า 2.4-4.2 % (w/w) แสดงตาราง 2.1 ผงเมล็ดมะขามมีคุณสมบัติเด่นด้านความคงตัวต่อความร้อน การเกิดเจล (Gel) ในช่วง pH กว้าง โดยเนื้อในเมล็ดมะขามพบสารที่ก่อให้เกิดเจลสูง 46.0-48.0 % (w/w) และยังเป็นแหล่งของโปรตีน และสารฟีนอลิก (Phenolic) ซึ่งถือเป็นลักษณะเฉพาะตัวของโพลีแซ็กคาไรด์จากเมล็ดมะขาม (พจนีย์ แก้วคำแสน และ บัวสี หงสาวดี, 2557; Sinchaiyakit & Suttajit, 2011; สิริการ หนูสิงห์ และ วรางคณา สมพงษ์, 2558; Kumar & Bhattacharya, 2008)



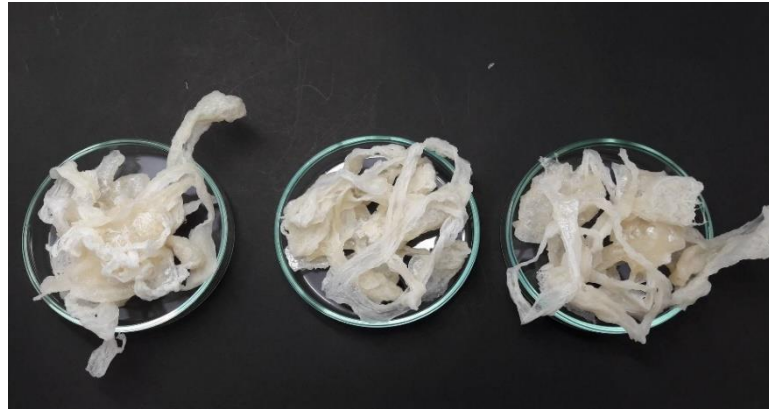
รูปที่ 2.3 เมล็ดมะขาม

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเมล็ดมะขาม (Kumar & Bhattacharya, 2008)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตร
โพลีแซ็กคาไรด์	65.1-72.2
โปรตีน	15.0-20.9
ลิวติน	3.9-8.0
ไฟเบอร์	2.5-8.2
ความชื้น	11.4-22.7
ซีลีเนียม	2.4-4.2

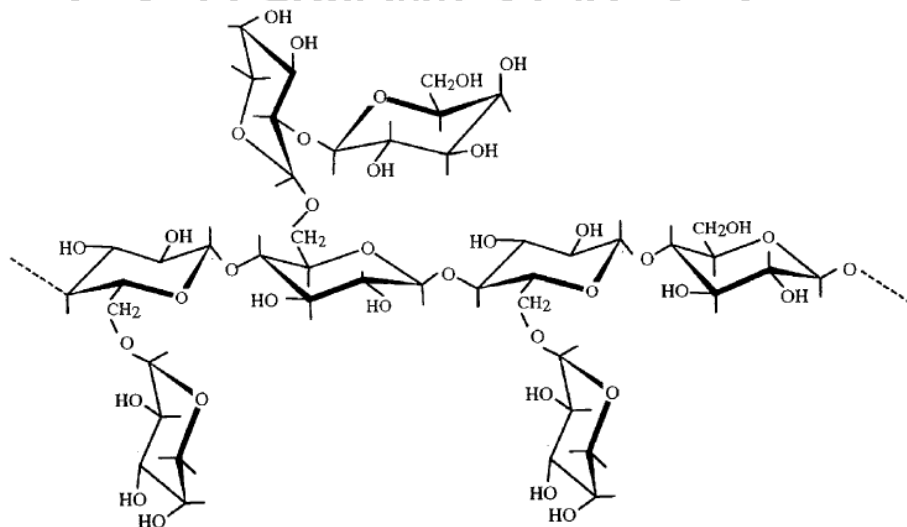
2.3 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ที่ได้มาจากการสกัดโพลีแซ็กคาไรด์จากเมล็ดมะขาม (Tamarind seed polysaccharide, TSP) ส่วนใหญ่ที่พบเป็นเฮมิเซลลูโลสจำพวกไซโลกลูแคน (Xyloglucan) คุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนี้คือ เมื่อเกิดการละลายจะมีความหนืด (Viscosity) และสามารถเกิดเจลได้ ที่ค่า pH ในช่วง 2.8-9.8 โดยจะเกิดเจลที่มีความคงตัวสูงสุด ที่ pH 2.80 โดยที่ไซโลกลูแคนถูกพบเนื้อในเมล็ดมะขาม 60.0 % (w/w) (ทง ภัครชพันธุ์, 2534; สิริการ หนูสิงห์ และ วรางคณา สมพงษ์, 2558) โดยกระบวนการสกัดไซโลกลูแคนจะมีการกำจัดโปรตีน และลิวตินออกเหลือโพลีแซ็กคาไรด์ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล (Ethanol) จึงคาดว่าเมื่อนำไปใช้เป็นกาว จะมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดีเนื่องจากมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ตามรายงานการวัดค่าความหนืดพบว่าเมื่อกำจัดลิวตินออกจากเมล็ดมะขามจะช่วยทำให้กาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (พอใจ ถามากร, 2556) ช่วยให้ใช้กาวในปริมาณที่น้อยกว่ากาวเมล็ดมะขาม รวมทั้งคาดว่ากาวเฮมิเซลลูโลสอาจเกิดการเสถียรภาพได้ช้ากว่ากาวเมล็ดมะขาม



รูปที่ 2.4 เฮมิเซลลูโลสจากเนื้อในเมลิ็ดมะขาม

เฮมิเซลลูโลส จำพวกไซโลกุลแคนประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาล 3 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) น้ำตาลไซโลส (Xylose) และน้ำตาลกาแลคโทส (Galactose) ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ในอัตราส่วน 2.80 : 2.25 : 1.00 มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 700,000-880,000 Dalton โดยโครงสร้างสายหลักประกอบด้วย (1→4)-β-D-glucan ต่อกัน และมีสายโซ่ข้าง หรือหมู่ฟังก์ชันเป็น α-D-xylopyranose กับ β-D-galactopyranosyl ต่อแบบ (1 → 2)-α-D-xylo-pyranose และต่อแบบ (1 → 6) กับ glucose residues (สิริการ หนูสิงห์ และ วราจคณา สมพงษ์, 2558; Chawanoraset, Saengtongdee, & Kaemchantuek, 2016) แสดงดังรูป 2.5



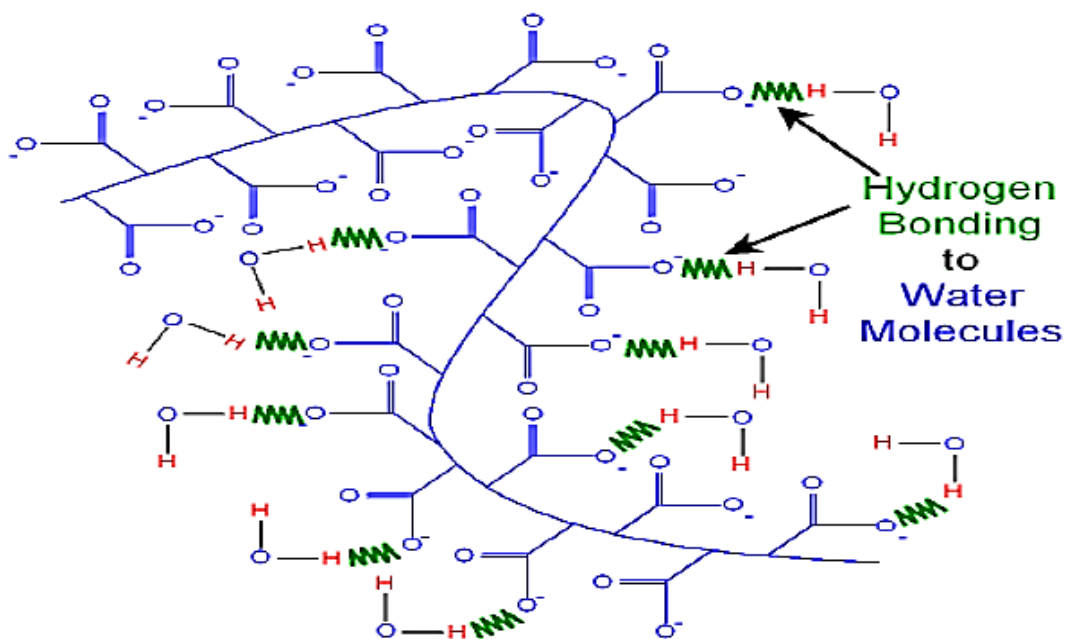
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโพลีแซ็กคาไรด์จากเนื้อในเมลิ็ดมะขาม

(Ren, Picout, Ellis, Ross-Murphy, & Reid, 2005)

2.4 ไฮโดรเจล

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์ชนิดไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบโครงร่างตาข่าย (Crosslinked structure) สามมิติ โดยส่วนใหญ่ไฮโดรเจลจะสังเคราะห์จากพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดกรด (Acid group) ประกอบอยู่ในสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นเมื่อนำไฮโดรเจลไปแช่น้ำ อะตอมไฮโดรเจนในสายพอลิเมอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิดประจุบวก (H_3O^+) และทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดเป็นประจุลบ ซึ่งการที่สายโซ่พอลิเมอร์กลายเป็นประจุลบจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสายโซ่ และดันให้สายโซ่ที่เกี่ยวข้องกันอยู่แยกออกจากกัน จากนั้นอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นประจุบวกอ่อนๆ จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมที่มีประจุลบในสายโซ่พอลิเมอร์แสดงดังรูป 2.6 ทำให้เป็นการเหนี่ยวนำโมเลกุลน้ำเข้าสู่ไฮโดรเจล ไฮโดรเจลจึงพองตัว และยืดหยุ่นขึ้น แต่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นแบบโครงร่างตาข่าย จึงทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรง เมื่อไฮโดรเจลมีการสูญเสียน้ำจะเกิดการหดตัวกลับคืนสู่สภาพเดิม และสามารถดูดซับน้ำได้อีก แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำจะลดลง (ธัญญภรณ์ ศรีสุบิน, 2557)

สำหรับไฮโดรเจลที่มีพอลิเมอร์เชื่อมต่อกันด้วยอันตรกิริยาที่อ่อนกว่าพันธะโคเวเลนต์ การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, pH หรือตัวทำละลาย อาจทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ภายในเจลหลุดออกจากกัน สถานะของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายเช่นนี้เรียกว่า “ซอล (Sol)” อย่างไรก็ตาม การปรับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ในซอล กลับมาเชื่อมต่อเป็นเจลได้อีกครั้ง โดยเรียกการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้ระหว่างสถานะซอล และเจลของพอลิเมอร์ว่า “Sol-gel transition” หรือ “Gelation” ในกรณีของไฮโดรเจลที่สายโซ่พอลิเมอร์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ จะมีความคงตัวสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ การเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจลเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้น หรือน้ำจะเกิดการบวม (ณัฐวิศิษฐ์ ยะสารวรรณ, 2557)



รูปที่ 2.6 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสายโซ่พอลิเมอร์
(ธัญญภรณ์ ศรีสุบิน, 2557)

2.5 โปรตีน

เมล็ดมะขามเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีน และกรดอะมิโน (Amino acid) แสดงดังตาราง 2.2 โดยโปรตีนที่พบในเมล็ดมะขามคิดเป็น 15.0-20.9 % (w/w) ซึ่งโปรตีนหลักที่พบ คืออัลบูมิน (Albumin) และโกลบูลิน (Globulin) โปรตีนจากเมล็ดมะขามประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ (Sulphur) เป็นองค์ประกอบ คือ ซิสเทอีน (Cysteine) และเมทไธโอนีน (Methionine) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดมะขามยังประกอบไปด้วย กรดกลูตามิก (Glutamic acid) กรดแอสปาทิก (Aspartic acid) ไกลซีน (Glycine) และลิวซีน (Leucine) เป็นจำนวนมาก สัดส่วนของกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำ (อะลานีน (Alanine) วาลีน (Valine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) และฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) กับกรดอะมิโนที่ชอบน้ำ ไลซีน (Lysine) ฮิสทีดีน (Histidine) กรดแอสปาทิก (Aspartic acid) กรดกลูตามิก และอาร์จินีน (Arginine) ซึ่งคิดเป็น 28.2 % (w/w) และ 42.3 % (w/w) ของโปรตีนในเมล็ดมะขาม (Sinchaiyakit & Suttajit, 2011; Bhattacharya, Bal, Mukherjee, & Bhattacharya, 1994; Kumar & Bhattacharya, 2008; Sahoo, Sahoo, & Nayak, 2011)

ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนในเมล็ดมะขาม
(Bhattacharya et al., 1994)

กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/16 กรัม ไนโตรเจน	กรดอะมิโน	มิลลิกรัม/16 กรัม ไนโตรเจน
ไลซีน	5.96	อะลานีน	6.96
ฮิสทีดีน	2.01	ซีสเทอีน	0.30
อาร์จินีน	4.20	วาเลอีน	4.60
กรดแอสปาดิก	11.59	เมทไธโอนีน	0.33
ทรีโอนีน	3.75	ไอโซลิวซีน	4.12
ซีรีน	7.11	ลิวซีน	8.21
กรดกลูตามิก	18.53	ไทโรซีน	1.99
โพรลีน	6.19	ฟีนิลอะลานีน	4.33
ไกลซีน	9.12		

2.6 ลิพิด

ลิพิดที่พบในเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นสีเหลืองทอง กิ่งแห้ง คล้ายน้ำมันจากถั่วลิสง กรดลิพิดหลักที่พบในเมล็ดมะขามคือ กรดปาล์มติก (Palmitic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดไอโคซานอิก (Eicosanoic acid) สัดส่วนลิพิดในเมล็ดมะขามประกอบไปด้วยกรดไลโนเลอิก 36.0-49.0 % (w/w) ของลิพิดทั้งหมด ซึ่งเป็นลิพิดไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ สัดส่วนของลิพิดอื่นๆ ที่สำคัญ คือกรดโอเลอิกคิดเป็น 15.0-27.0 % (w/w) ของลิพิดทั้งหมด และกรดปาล์มติก 14.0-20.0 % (w/w) ของลิพิดทั้งหมด แสดงดังตาราง 2.3 การสกัดลิพิดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นเฮกเซน (Hexane) จะได้ผลผลิตลิพิด 6.00-6.40 % (w/w) การสกัดลิพิดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ผสมกับเมทานอล (Methanol) จะได้ผลผลิตลิพิด 7.40-9.00 % (w/w) (Sahoo et al., 2011)

ตารางที่ 2.3 ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของในเมล็ดมะขาม (Sahoo et al., 2011)

ลิพิด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ลิพิด	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปาล์มติก	14.0-20.0	เบฮินิก	3.0-5.0
สเตียริก	6.0-7.0	ลิกโนซีริก	3.0-8.0
โอเลอิก	15.0-27.0	เบต้า-ซีโตสเตอรอล	66.0-72.0
ไลโนเลอิก	36.0-49.0	แคมเพสสเตอรอล	16.0-19.0
อะราคิดิก	2.0-4.0	สติกแมสสเตอรอล	11.0-14.0

2.7 วิธีเคเจลดาล์

ในช่วงปี 1849-1900 นักเคมีชาวเดนมาร์ก Johan Kjeldahl ได้พัฒนาวิธีที่ชื่อเคเจลดาล์ (Kjeldahl method) ขึ้นมาเพื่อใช้หาปริมาณไนโตรเจนในสารอินทรีย์ วิธีนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการหาปริมาณไนโตรเจน สามารถนำไปใช้ได้กับอาหาร เครื่องดื่ม เนื้อสัตว์ ซีเรียล และอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้หาปริมาณไนโตรเจนใน น้ำเสีย และดิน ได้อีกด้วย วิธีเคเจลดาล์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1. การย่อยตัวอย่าง 2. การกลั่น และ 3. การไตเตรต โดยขวดเคเจลดาล์ ปริมาตร 500-800 mL และเครื่องควบคุมอุณหภูมิถูกใช้สำหรับการย่อยตัวอย่าง สำหรับการกลั่น น้ำและเบสถูกเติมลงไปในตัวอย่าง จากนั้นให้ความร้อน และกลั่นจนได้สารละลายมากกว่า 150 mL แอมโมเนียที่ออกมาจากการกลั่นจะถูกจับด้วยกรด และโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกใช้สำหรับการไตเตรตย้อนกลับ (Thiex, Manson, Anderson, & Persson, 2002)



รูปที่ 2.7 ชุดอุปกรณ์สำหรับวิธีเคเจลดาล์ (behr Labor-Technik)

(ก) อุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง (ข) อุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการกลั่น

หลักการของวิธีเจลดาคัล เดิมกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ลงในตัวอย่าง จากนั้นเติม โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate) และคอปเปอร์ (Copper) เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ความร้อน ไนโตรเจนจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) ที่จุดเดือดอุณหภูมิ 337 °C แอมโมเนีย (Ammonia) จะถูกปล่อยออกมาจากการกลั่นด้วย เบส และหาปริมาณจากการไตเตรตด้วยกรด ในการย่อยตัวอย่างควรต้องมีกรดซัลฟิวริกเหลืออยู่ ตลอดเวลาเพื่อใช้รักษาปริมาณแอมโมเนีย การเติมน้ำลงไปในตัวอย่างที่กำลังย่อยเพื่อช่วยป้องกันการ ผสมกันของกรดกับเบส และป้องกันการย่อยไม่ให้เกิดการเกาะกันเป็นของแข็ง และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ลงไปเพื่อสะเทินกรด จากนั้นแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาจะเข้าไปทำ ปฏิกิริยากับสารละลายกรดบอริก (Boric acid) จากนั้นนำไปไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

ปริมาณโปรตีนที่ได้จะถือเป็นโปรตีนไม่บริสุทธิ์ (Crude protein) เนื่องจากว่าวิธีนี้เป็น การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างทั้งหมด ดังนั้นอาจมีไนโตรเจนจากแหล่งอื่นที่ไม่ได้มาจาก โปรตีนปนมาด้วย ปริมาณโปรตีนสามารถคำนวณหาได้จากนำร้อยละไนโตรเจนคูณด้วย 6.25 เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยที่พบในโปรตีนมีค่าเท่ากับ 16.0 % (Thiex et al., 2002) โดย ปริมาณโปรตีนที่พบในอาหารต่างๆ แสดงดังตาราง 2.4



ตารางที่ 2.4 ปริมาณโปรตีนที่พบในอาหารต่างๆ (PanReac AppliChem)

อาหาร	ร้อยละไนโตรเจน	ร้อยละโปรตีน
ถั่ว และเมล็ดต่างๆ		
ถั่วแดง	3.40	21.20
ถั่วลันเตา	4.80	26.00
อัลมอนต์	4.90	25.30
เมล็ดทานตะวัน	3.20	17.20
เนื้อสัตว์		
เนื้อวัว	3.00	18.50
เนื้อไก่	3.70	23.10
ไข่	2.00	12.50
ปลา	2.60	16.00

2.8 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

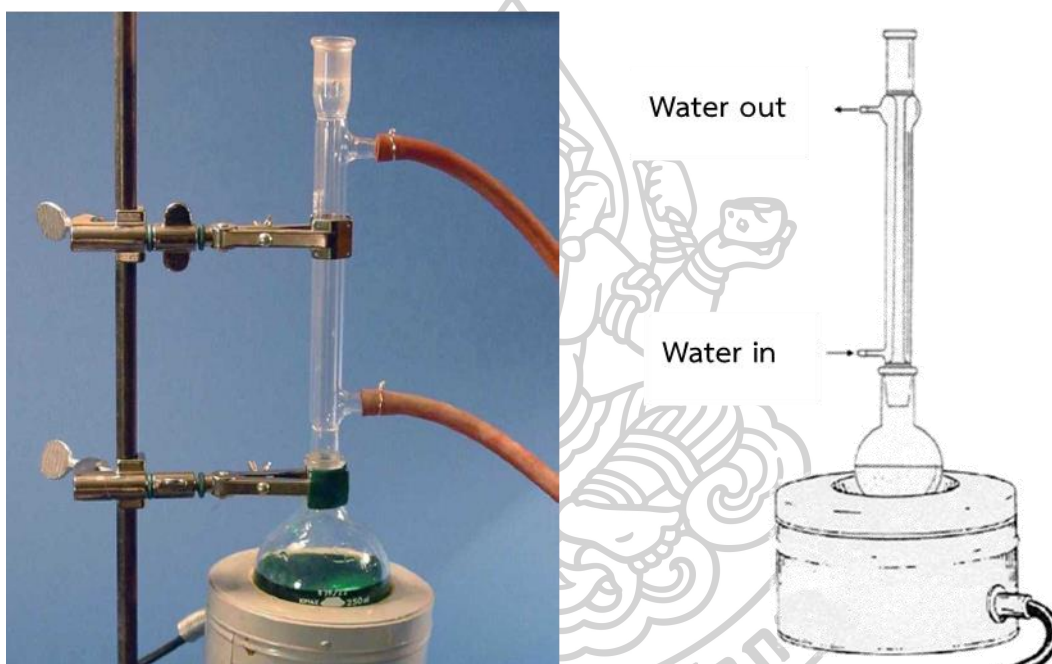
การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) เป็นการแยกสารผสมของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งการสกัดสารด้วยวิธีนี้อาศัยสมบัติการทำละลายของสารที่ต่างกันในตัวทำละลายชนิดต่างๆ สารที่นำมาสกัดเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว แต่ตัวทำละลายที่ใช้สกัดมักเป็นของเหลว ในการสกัดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดสารจากของแข็ง โดยส่วนมากวิธีนี้จะนิยมนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดเป็นผงก่อนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด จากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายหลายชนิดต้องใช้เวลานานในการสกัด และสามารถตั้งทิ้งไว้ได้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการให้ความร้อนเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามตัวทำละลายส่วนใหญ่มีจุดเดือดต่ำ ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนสูงเกินไปจึงอาจทำให้ตัวทำละลายระเหยออกจนหมด การวิเคราะห์ก็อาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธี และอุปกรณ์ที่เข้ามาแก้ปัญหา

การรีฟลักซ์ (Reflux) เป็นการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ให้ความร้อนเป็นเวลานาน โดยที่ตัวทำละลายไม่ระเหยออกไปจนหมด เนื่องจากเมื่อตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอ จะเกิดการควบแน่นอยู่ภายในคอนเดนเซอร์ และไหลกลับลงมาสู่ข้างล่างที่เป็นขวดกลั่นตามเดิม และจะหมุนเวียนเช่นนี้

ตลอดเวลา ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถช่วยให้ดำเนินการสกัดที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายได้ โดยที่ตัวทำละลายไม่ระเหยออกไป

ในส่วนของอุปกรณ์การรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์จะเสียบเข้าไปในขวดกลั่นซึ่งส่วนมากจะเป็นขวดก้นกลมจากนั้นจะยึดไว้ในแนวตั้งตรง จากนั้นปล่อยน้ำเย็นเข้ามาไหลเวียนอยู่รอบนอกภายในคอนเดนเซอร์ เนื่องจากจะช่วยให้ไอระเหยเกิดการควบแน่น และไหลกลับลงมาเป็นการป้องกันการสูญเสียตัวทำละลาย ในการปล่อยน้ำเย็นควรปล่อยจากบริเวณด้านล่างเข้าสู่คอนเดนเซอร์ และปล่อยน้ำออกบริเวณส่วนบนของคอนเดนเซอร์ แสดงดังรูป 2.8

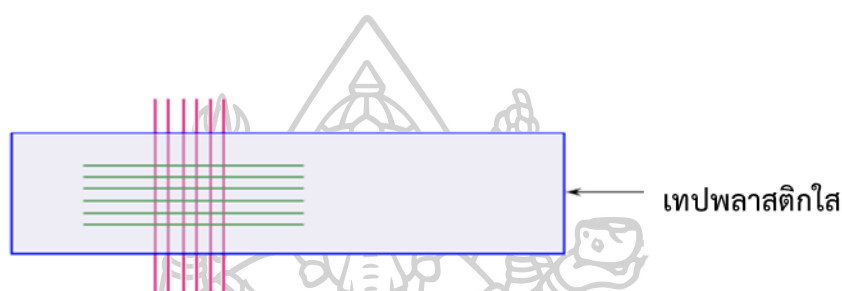


รูปที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์ (Fessenden, Fessenden, & Feist, 2001)

2.9 การทดสอบการยึดเกาะ

การทดสอบระดับความสามารถในการยึดเกาะระหว่างชั้นรองพื้นกับพื้นผิวต่างๆ นิยมใช้ “มีดปลายแหลม” กรีดลงบนชั้นรองพื้นสีเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ โดยต้องให้ทะลุถึงพื้นผิวที่ชั้นรองพื้นเกาะอยู่ แล้วใช้เทปพลาสติกใส ติดบนรอยกรีดแล้วดึง จำนวนช่องสี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่มีชั้นรองพื้นติดอยู่ แสดงถึงความสามารถในการยึดเกาะระหว่างชั้นรองพื้นกับพื้นผิวชนิดนั้น ซึ่งจะรายงานเป็นร้อยละของการหลุดร่อน แสดงดังรูป 2.9

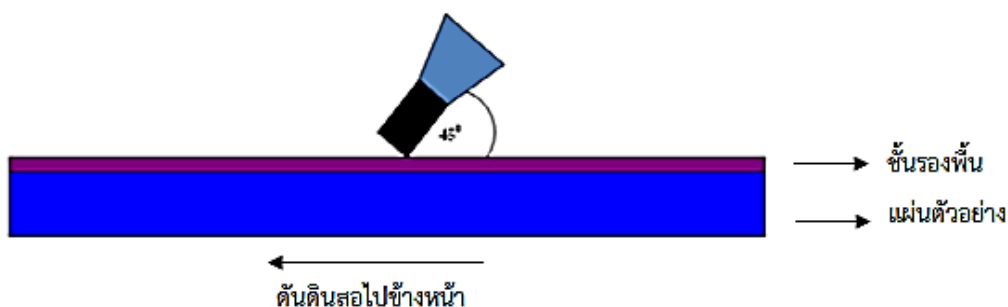
(สุธินี เกิดเทพ, 2551)



รูปที่ 2.9 การกรีดตัดเตอร์ลงบนชั้นรองพื้น
(สุธินี เกิดเทพ, 2551)

2.10 การทดสอบการขูดขีด

การทดสอบการขูดขีด (Pencil test) หมายถึง การทดสอบความแข็งแรงของประสิทธิภาพ ตัวอย่าง ที่สามารถทนต่อการเกิดรอยขูดขีดด้วยของแข็ง ซึ่งเป็นวิธีหาความแข็งแรงของตัวอย่างที่รวดเร็ว ง่าย ประหยัด โดยใช้ดินสอที่ทราบค่าความแข็งที่แน่นอน โดยจรดปลายดินสอให้ทำมุม 45° กับแผ่นตัวอย่าง กด และดันปลายดินสอไปข้างหน้าด้วยแรงที่เท่ากันให้ได้ระยะทางประมาณ 6.5 mm โดยเริ่มจากดินสอเบอร์ที่แข็งที่สุดก่อน แสดงดังรูป 2.10 (สุธินี เกิดเทพ, 2551)



รูปที่ 2.10 การต้นคืนสอลงบนชั้นรองพื้น
(สุจินี เกิดเทพ, 2551)

2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.11.1 เครื่องมือที่ใช้วัดสี

เครื่องมือที่ใช้วัดสี คือ เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่สามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็น Reflectance curve (โค้งค่าการสะท้อนแสง) วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี Reflectance curve ต่างกัน วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมา ก็จะมีควมยาวคลื่นต่างกัน โดยที่

สีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นที่ 430-460 nm

สีเขียว มีความยาวคลื่นที่ 500-580 nm

สีแดง มีความยาวคลื่นที่ 620-780 nm

ระบบที่ใช้การวัดสีในเครื่อง Spectrophotometer คือ ระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ซึ่งเป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ Color space

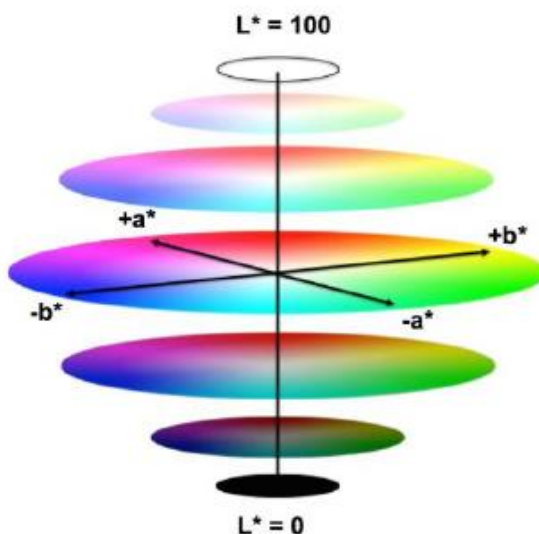
โดยกำหนดให้ L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

แกน a^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

แกน a^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.11 ระบบสี CIELAB (Sappi etc., 2013)

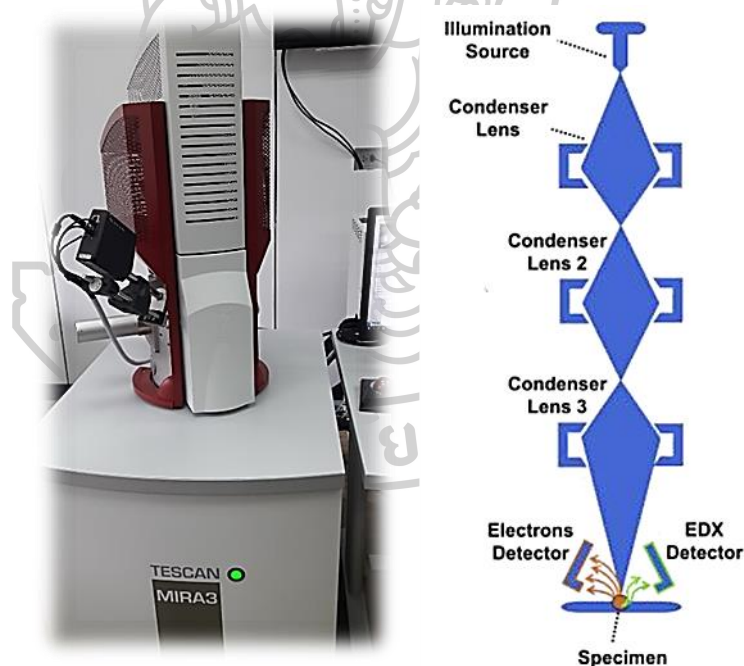
ในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.11 จะพบว่าจุดๆ หนึ่ง ใน Space นั้น เป็น L^* a^* b^* และเมื่อมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุดใน Space เป็น L^{2*} a^{2*} b^{2*} ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสี (ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, 2556)

2.11.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) มีจุดเด่นคือ มีระยะที่ลึก และชัดมาก เนื่องจากใช้คุณสมบัติคลื่นของอิเล็กตรอนซึ่งมีความยาวคลื่นสั้น ทำให้มีระยะในการแยกภาพชัดเจน ถึงในระดับ 0.2 nm และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆ ได้ ทำให้ได้ภาพที่มีความลึกสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นได้ หลักการทำงานคือ อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะโดนเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์แรง ในช่วง 0-30 kV โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุด หรือ มากกว่า โดยชุดแรกทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ชุดที่สองทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ ทำหน้าที่กราดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่าง ซึ่งบนผิวของตัวอย่างที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณ และ SEM จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (दनय गिजख्यनुकुल, 2547)

2.11.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์แบบพลังงานกระจาย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน ร่วมกับเครื่อง เอกซเรย์แบบพลังงานกระจาย (Field-emission scanning electron microscope with energy dispersive X-ray spectroscopy) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนประเภทหนึ่ง ที่ใช้ในการศึกษาชั้นฐานวิทยาของวัสดุ ที่มีขนาดตั้งแต่ไมโครเมตรไปจนถึงนาโนเมตรมีความละเอียดมากกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแบบเดิม เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่าฟิลด์อิมิสชันกันซึ่งผลิตลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความเข้มสูง มากกว่า ทั้งสแตนด์ไฟลามนต์ถึง 1,000 เท่า แต่มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถโฟกัสไปบริเวณที่มีพื้นที่ขนาดเล็กได้ และสามารถเพิ่มกำลังขยายได้มากขึ้น โดยยังให้ความละเอียดสูง นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์การวิเคราะห์ ธาตุเชิงพลังงานซึ่งใช้เป็นตัวตรวจวัดเพื่อใช้ วิเคราะห์องค์ประกอบ อัตราส่วน และการกระจายตัวของธาตุในตัวอย่าง (Kazmiruk, 2012; Stuart, 2013)



รูปที่ 2.12 เครื่อง FESEM-EDDX และแผนภาพ Optical systems ของ FESEM-EDX (Girão, Caputo, & Ferro, 2017)

2.11.4 เครื่องวัดความหนืดบรูคฟิลด์

เครื่องวัดความหนืดบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) เป็นเครื่องวัดความหนืดที่อุณหภูมิหนึ่งๆ การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอก หรือสปินเดิล (Spindle) ในของเหลวด้วยอัตราคงที่ สปินเดิลจะมีหลายขนาดด้วยกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความหนืดของของเหลวที่ต้องการวัด ถ้าตัวอย่างมีความหนืดต่ำจะใช้สปินเดิล และความเร็วสูง แต่ถ้าตัวอย่างมีความหนืดสูงจะใช้สปินเดิลขนาดเล็ก และความเร็วต่ำ ค่าความหนืดของของเหลวนั้นวัดได้จากค่าการต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราคงที่ โดยแรงต้านจะทำให้สปริงเกิดการยืดตัว ค่านี้จะคูณด้วยค่าคงที่ตามความเร็ว ขนาด และชนิดของเครื่อง ความหนืดของของเหลวที่ได้จะมีค่าเป็นเซนติพอยส์ (Centipoise, cP) (วิลาสินี เกิดเกลื่อน, 2553)



รูปที่ 2.13 เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III+ Rheometer

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Mishra & Langote, 2014 ได้เตรียมไซโลกลูแคนโดยนำผงเมล็ดมะขามแช่ในน้ำเย็น จากนั้นเทลงในน้ำเดือด และนำไปให้ความร้อนต่อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน นำส่วนสารละลายไซโลกลูแคนที่ได้มาตกตะกอนด้วย ethanol และนำส่วนที่ตกตะกอนไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นใช้เป็นตัวประสานในยาเม็ด ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้ไซโลกลูแคนเป็นตัวประสานในยาเม็ดได้

2. Bhalekar, Sonawane, & Shimpi, 2013 ได้เตรียมไซโลกลูแคนโดยนำผงเมล็ดมะขามแช่ในน้ำเย็น จากนั้นเทลงในน้ำเดือด และนำไปให้ความร้อนต่อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน นำส่วนสารละลายไซโลกลูแคนที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอล และนำส่วนที่ตกตะกอนไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 °C นำไซโลกลูแคนที่ได้ไปเติมน้ำ และ stir เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมซิสเทอีนไฮโดรคลอไรด์ (Cysteine hydrochloride) ลงไปเพื่อสังเคราะห์เป็น xyloglucan-cysteine conjugates เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการนำส่งยาผ่านทางเยื่อหู หรือการปลดปล่อยยาในระบบอาหารของพอลิเมอร์ (พอลิเมอร์ยึดติดเยื่อเมือก, Mucoadhesive polymer) ผลการทดลองพบว่า xyloglucan-cysteine conjugates สามารถนำมาใช้เป็นตัวนำส่งยาผ่านทางเยื่อหู หรือการปลดปล่อยยาในระบบอาหารของพอลิเมอร์ได้

3. Ganesan et al., 2013 ได้เตรียมไซโลกลูแคน โดยนำผงเมล็ดมะขามแช่ในน้ำเย็นจากนั้นเทใส่ลงในน้ำเดือด และนำไปให้ความร้อนต่อในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน นำส่วนสารละลายไซโลกลูแคนที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอล และนำส่วนที่ตกตะกอนไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 °C นำไซโลกลูแคนที่ได้ไป modify เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงยาชนิดที่ให้ปลดปล่อยยาอย่างช้า ๆ ในอัตราที่กำหนดไว้

4. พอใจ ถามากร, 2556 ได้หาค่าประกอบทางเคมีของผงมะขาม เช่น โปรตีน และลิวติล เปรียบเทียบความหนืดของผงมะขามที่มี/ไม่มีการกำจัดลิวติลออก ผลการทดลองพบว่าผงเมล็ดมะขามมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 17.50 ± 0.22 ของร้อยละน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณลิวติลเท่ากับ 9.47 ± 0.04 ของร้อยละน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดลิวติลคือ 53.00 ± 1.56 °C โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 724.00 ± 46.67 Brabender Unit (BU) และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดของผงเมล็ดมะขามที่กำจัดลิวติลคือ 51.10 ± 0.56 °C มีค่าความหนืดเท่ากับ 959.50 ± 3.53 BU

5. Chandramouli et al., 2012 ได้เตรียมไซโลกลูแคน โดยนำผงเมล็ดมะขามแช่ในน้ำกลั่น จากนั้นนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นลงไป และนำไปให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง

จากนั้นนำไปแช่ในตู้เย็นเพื่อให้ส่วนที่ไม่ละลายตกตะกอน หลังจากตกตะกอนทำการกรองเอาเฉพาะ ส่วนสารละลายใส นำสารละลายใสแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 °C จนปริมาตรเหลือ หนึ่งในสามของปริมาตรเริ่มต้น ทำการตกตะกอนด้วย acetone และนำไปล้าง ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 °C จากนั้นนำไซโลกลูแคนที่ได้ไปใช้เป็นส่วนผสมในเม็ดยาต่างๆ เช่น Verapamil HCL และใช้เป็นตัวประสานในเทคนิคการทำแกรนูลแบบเปียก (Wet granulation) ผลการทดลองพบว่าไซโลกลูแคนสามารถใช้เป็นตัวประสานได้

6. Sinchaiyakit & Suttajit, 2011 ได้หาองค์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพของเมล็ด มะขาม นอกจากนี้ยังศึกษาประโยชน์ในด้านต่างๆของเมล็ดมะขาม ผลการทดลองพบว่าเมล็ดมะขาม ประกอบด้วย เปลือกของเมล็ดมะขามประมาณ 30.00-35.00 %(w/w) และเนื้อในของเมล็ดมะขาม ประมาณ 60.00-65.00 %(w/w) องค์ประกอบทางเคมีพบปริมาณโปรตีนประมาณ 13.00 %(w/w) และพบปริมาณลิพิดประมาณ 14.00-20.00 %(w/w) นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดมะขามส่งผลต่อระบบ ภูมิคุ้มกัน โดยโพลีแซ็กคาไรด์จากเนื้อในเมล็ดมะขามมีผลต่อระบบการกระตุ้นการจับกินสิ่ง แปลกปลอม ยับยั้งการเคลื่อนย้ายของเม็ดเลือดขาวชนิดลิวโคไซด์ (Leukocytes) และยับยั้งการ แบ่งตัวของเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซด์ (Lymphocyte)

7. Sahoo et al., 2011 ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะขาม สกัดไซโลกลูแคน จากเมล็ดมะขาม และนำไซโลกลูแคนไปใช้เป็นองค์ประกอบในเม็ดยา ผลการทดลองพบว่าเมล็ด มะขามมีปริมาณโปรตีนประมาณ 13.30-26.90 %(w/w) และพบปริมาณลิพิดประมาณ 4.50- 16.20 %(w/w) นอกจากนี้ยังพบว่าในเมล็ดมะขามมี amino group เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 18 ชนิด และพบแร่ธาตุอีก 10 ชนิด

บทที่ 3

เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- เกจวัดความหนาแบบดิจิตอล (Thickness gauge) (ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น M-547-400S, ญี่ปุ่น)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6610LV, ญี่ปุ่น)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชัน (Field emission scanning electron microscope, FESEM) (ยี่ห้อ TESCAN รุ่น MIRA3, สาธารณรัฐเช็ก)
- เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) (ยี่ห้อ Diligent รุ่น ST-EC, ไทย)
- เครื่องกวนแม่เหล็ก พร้อมควบคุมอุณหภูมิ (Hot plate stirrer) (ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS7, สาธารณรัฐประชาชนจีน)
- เครื่องกลั่นระเหยแห้ง (Evaporator) (ยี่ห้อ BUCHI รุ่น B-480, ไทย)
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น (Hydrostatic head tester) (ยี่ห้อ Gotech รุ่น GT-7005-R, สาธารณรัฐประชาชนจีน)
- เครื่องเคลือบตัวอย่าง (Sputter coater) (ยี่ห้อ Balzers รุ่น SCD 040, ลิกเตนสไตน์)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบ Analytical 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204, สวิตเซอร์แลนด์)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบ Top loading 2 ตำแหน่ง (Top loading balance) (ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 1502, สวิตเซอร์แลนด์)
- เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (Suntest) (ยี่ห้อ Atlas รุ่น CPS+, เยอรมันนี)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer) (ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 60, สหรัฐอเมริกา)
- เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-III+ Rheometer, สหรัฐอเมริกา)
- เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) (ยี่ห้อ Hettich รุ่น Rotina 380R, เยอรมันนี)
- ตู้อบ (Oven) (ยี่ห้อ Memmert, อังกฤษ)
- ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) (ยี่ห้อ GAST MANUFACTURING, INC. รุ่น DOA-V130-BN, สหรัฐอเมริกา)

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- กระจกนาฬิกา (Watch glass)
- กรวยแก้ว (Glass funnel)
- กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter)
- กระบอกฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- กระบอกตวง (Measuring cylinder)
- กระจกเป่าวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- ขวดก้นกลม (Round-bottom flask)
- ขวดปริมาตร (Volumetric flask)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- ขวดลดความดัน (Suction flask)
- ขาตั้ง (Metal stand)
- คีมคีบ (Forceps)
- คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
- แท่งคนแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- ที่จับบิวเรต (Burette clamp)
- ที่ยึดจับ (Clamp and Clamp holder)
- บิวเรต (Burette)
- ปีกเกอร์ (Beaker)
- ปิเปต (Pipette)
- ผ้าขาวบาง (Cheesecloth)
- ลูกยางสำหรับปิเปต (Pipette bulb)
- หลอดหยด (Pasteur pipette)



3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- เมล็ดมะขามเปรี้ยว (จังหวัดเพชรบูรณ์)
- ยางกระถิน (ประเทศชูดาน)
- Boric acid (H_3BO_3) (SIGMA-ALDRICH)
- Copper (II) sulfate anhydrous (CuSO_4) (Fisher Chemical)
- Dichloromethane (CH_2Cl_2) (ACS Xenon Ltd.)
- Ethanol 95 % (v/v) ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (โรงงานสุรา กรมสรรพสามิต)
- Hydrochloric acid (HCl) (RIC LABSCAN LIMITED)
- Methyl red indicator ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$) (Fluka)
- Sodium hydroxide (NaOH) (CARLO ERBA)
- Sodium sulfate (Na_2SO_4) (Fluka)
- Sodium carbonate anhydrous (CARLO ERBA)
- Sulfuric acid (H_2SO_4) (Ajax Finechem Pty Ltd.)



ตารางที่ 3.1 การดำเนินงานวิจัย

หัวข้อการดำเนินงานวิจัย	รายละเอียดการดำเนินงานวิจัย
1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม	1. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลส 2. การศึกษาปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลส
2. การทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส	1. ทดสอบการดูดซับน้ำของเฮมิเซลลูโลส
3. การศึกษาการเตรียมน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	1. การเตรียมน้ำกาวยางกระถิน 2. การเตรียมน้ำกาวเมล็ดมะขาม 3. การเตรียมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส
4. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาว เฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเสถียรภาพของน้ำกาว	1. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านความหนืด 2. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวในการเสถียรภาพ 3. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวที่สกัดลิพิดออกในการเสถียรภาพ 4. การศึกษาคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา
5. การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของยางกระถิน เมล็ดมะขาม และเฮมิเซลลูโลสโดยการหาปริมาณโปรตีน และลิพิด	1. การหาปริมาณโปรตีน 2. การหาปริมาณลิพิด
6. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นรองพื้นจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาว เฮมิเซลลูโลส	1. การทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น 2. การทดสอบการยึดเกาะของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น การดูดซับของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม (ดัดแปลงวิธีของ Bhalekar et al., 2013; Ganesan et al., 2013 และ Mishra & Langote, 2014)

3.4.1.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเอมิเซลลูโลส

นำผงเมล็ดมะขาม 40.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 2 L จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที โดยศึกษาที่ช่วงอุณหภูมิ 65-70 °C, 70-75 °C, 75-80 °C และ 80-85 °C ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้ตกตะกอน จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนสารละลายใสด้วยผ้าขาวบาง ทำการสกัดเอมิเซลลูโลสโดยการนำส่วนสารละลายใสมาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95 %(v/v) ในอัตราส่วนปริมาตรสารละลายใสต่อปริมาตรเอทานอล 1.5 : 1.0 พร้อมกับกวนอย่างช้าๆ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบีบเส้นใยเอมิเซลลูโลสให้แห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิช่วง 70-80 °C เป็นเวลาประมาณ 12-13 ชั่วโมง นำเอมิเซลลูโลสไปชั่งน้ำหนักหาร้อยละผลผลิตที่ได้ โดยคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละผลผลิตเอมิเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักเอมิเซลลูโลสแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักผงเมล็ดมะขาม}} \quad \text{สมการ 3.1}$$

3.4.1.2 การศึกษาปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมในการเตรียมเอมิเซลลูโลส

นำผงเมล็ดมะขาม 40.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 2 L จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 65-70 °C เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้ตกตะกอน กรองเอาเฉพาะส่วนสารละลายใสด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นทำการสกัดเอมิเซลลูโลสโดยการนำส่วนสารละลายใสมาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95 %(v/v) โดยศึกษาอัตราส่วนปริมาตรสารละลายใสต่อปริมาตรเอทานอลที่ 1.5 : 0.75, 1.5 : 0.90, 1.5 : 1.0, 1.5 : 1.5 โดยกวนสารละลายอย่างช้าๆ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบีบเส้นใยเอมิเซลลูโลสให้แห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิช่วง 70-80 °C เป็นเวลาประมาณ 12-13 ชั่วโมง นำเอมิเซลลูโลสไปชั่งน้ำหนักหาร้อยละผลผลิตที่ได้

3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส (อ้างอิง วิธีของ ภูสิทธิ์ ใจกาวิณ, 2552)

ศึกษาแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 3.00 %(w/v) และ 4.00 %(w/v) โดยเลือกแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) เนื่องจากที่ความเข้มข้น 3.00 %(w/v) แผ่นฟิล์มเกิดการละลายน้ำบางส่วน ในการศึกษาลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำ โดยนำผงเฮมิเซลลูโลส 4.00 g ละลายในน้ำ 100 mL จากนั้นให้ความร้อนจนผงเฮมิเซลลูโลสละลายจนหมด เทสารละลายเฮมิเซลลูโลส 25 mL ลงในจานเพาะเชื้อ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิช่วง 70-80 °C จากนั้นตัดแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ได้ให้มีขนาด 1.5×1.5 cm แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสขนาด 1.5×1.5 cm

นำแผ่นฟิล์มไปชั่งน้ำหนัก โดยเลือกแผ่นฟิล์มที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.0800-0.0900 g จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปแช่ในน้ำโดยศึกษาที่เวลา 1, 5, 7, 10 และ 20 นาที เพื่อหาระยะเวลาที่น้ำหนักของแผ่นฟิล์มคงที่ จากนั้นเทน้ำออกจากจานเพาะเชื้อ และเช็ดน้ำส่วนเกินแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาร้อยละปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบ และสัดส่วนการพองตัวได้จากสมการ 3.2

$$\text{ร้อยละการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ดูดซับน้ำ}} \quad (\text{สมการ 3.2})$$

3.4.3 การศึกษาการเตรียมน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส

3.4.3.1 การเตรียมน้ำกาวยางกระถิน

น้ำกาวยางกระถินที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง เตรียมโดยนำผงยางกระถิน 135.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 500.00 mL จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 80-90 °C เป็นเวลา 5-10 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง หรือนำไปเหี่ยงด้วยเครื่องเหี่ยงตตะกอนที่อัตราเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายออกจากตะกอน

3.4.3.2 การเตรียมน้ำกาวเมล็ดมะขาม

น้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง เตรียมโดยนำผงเมล็ดมะขาม 40.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 2 L จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 65-70 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 6-7 ชั่วโมง หรือนำไปเหี่ยงด้วยเครื่องเหี่ยงตตะกอนที่อัตราเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายออกจากตะกอน

3.4.3.3 การเตรียมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส

น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง เตรียมโดยนำผงเฮมิเซลลูโลส 1.25 g มาละลายในน้ำกลั่น 500 mL จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 80-90 °C เป็นเวลาประมาณ 15-20 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง หรือนำไปเหี่ยงด้วยเครื่องเหี่ยงตตะกอนที่อัตราเร็ว 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายออกจากตะกอน

3.4.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเสถียรภาพของน้ำกาว

3.4.4.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านความหนืด

ในงานวิจัยนี้ศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวจาก 5 สภาวะ โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-III+ Rheometer)

ก) การศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง คือความเข้มข้นที่มาจากการเตรียมน้ำกาวแต่ละชนิด โดย อาจารย์ ขวัญจิต เลิศศิริ นายช่างจิตรกรรม อาวุโส กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ซึ่งเป็นนักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังที่มีความเชี่ยวชาญ และประสบการณ์ในการเตรียมน้ำกาวสังเกตุว่ามีความหนืดเหมาะสมในการใช้งาน

ความเข้มข้นของน้ำกาวยางกระถินที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมใช้จริงคือ 27.00 %(w/v) เตรียมดังขั้นตอนข้อ 3.4.3.1

ความเข้มข้นของน้ำกาวเมล็ดมะขามที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมใช้จริงคือ 2.00 %(w/v) เตรียมดังขั้นตอนข้อ 3.4.3.2

ความเข้มข้นของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมใช้จริงคือ 1.25 %(w/v) เตรียมดังขั้นตอนข้อ 3.4.3.3

ข) การศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่เท่ากัน

เตรียมน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) ปริมาตร 500 mL โดยนำผงยางกระถิน 10.00 g ผงเฮมิเซลลูโลส 10.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 500 mL ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามให้นำผงเมล็ดมะขาม 40.00 g มาละลายในน้ำกลั่น 2 L จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงให้ตกตะกอน เก็บส่วนสารละลายใสปริมาตร 500 mL

ค) การศึกษาปริมาณของกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดของน้ำกาวใกล้เคียงกัน

เนื่องจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีขั้นตอนการเตรียมที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน โดยต้องเริ่มจากต้มน้ำกาวเมล็ดมะขามเป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นรอให้ผงเมล็ดมะขามตกตะกอนเป็นระยะเวลา 5-6 ชั่วโมง ดังนั้นจึงกำหนดค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามที่เตรียมเป็นหลัก โดยมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 90.00-100.00 cP และเตรียมที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.20 %(w/v) หากเตรียมน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) จะมีค่าความหนืดเท่ากับ 455.30 cP ซึ่งในการเตรียมน้ำกาวยางกระถินให้มีค่าความหนืดเท่านี้จำเป็นต้องใช้ผงยางกระถินจำนวนมาก ดังนั้นจึงกำหนดความหนืดของน้ำกาว 90.00-100.00 cP โดยเตรียมน้ำกาวยางกระถินเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 27.00 %(w/v) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 0.50 %(w/v) นำไปวัดค่าความหนืดเริ่มต้น จากนั้นค่อยๆ เติมผงยางกระถิน หรือเฮมิเซลลูโลส จนได้ความหนืดที่ใกล้เคียง 90.00-100.00 cP ตามต้องการ บันทึกปริมาณกาวที่ใช้

ง) การศึกษาผลของปริมาณกาบแต่ละชนิดต่อค่าความหนืด

น้ำกาบยางกระถิน ศึกษาที่ความเข้มข้นในช่วง 15.00-35.00 %(w/v)

น้ำกาบเมล็ดมะขาม ศึกษาที่ความเข้มข้นในช่วง 1.00-3.00 %(w/v)

น้ำกาบเฮมิเซลลูโลส ศึกษาที่ความเข้มข้นในช่วง 0.50-1.75 %(w/v)

จ) การศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาบเมล็ดมะขาม และน้ำกาบเฮมิเซลลูโลสหลังจากสกัดไขมัน

ออก

น้ำกาบเมล็ดมะขามหลังจากสกัดไขมันออก ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) เตรียมน้ำกาบดังหัวข้อ 3.4.3.2

น้ำกาบเฮมิเซลลูโลสหลังจากสกัดไขมันออก ความเข้มข้น 1.25 %(w/v) เตรียมน้ำกาบดังหัวข้อ 3.4.3.3

3.4.4.2 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาบในด้านการเสถียรภาพ

เตรียมน้ำกาบทั้งสามชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ปริมาตร 100 mL โดยน้ำกาบยางกระถินเตรียมที่ความเข้มข้น 27.00 %(w/v) น้ำกาบเมล็ดมะขาม 2.00 %(w/v) และน้ำกาบเฮมิเซลลูโลส 1.25 %(w/v) นำมาใส่ในขวดแก้วพร้อมทั้งปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 °C) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำกาบแต่ละชนิดในแต่ละวัน โดยพิจารณาในด้านค่าความหนืด การตกตะกอน การเกิดกลิ่นเน่าเสีย และค่า pH

ก) การศึกษาด้วยเครื่องวัดความหนืด การสังเกต และกระตาศยูนีเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

ศึกษาน้ำกาบทั้งสามชนิดเป็นระยะเวลา 5 วัน ด้วยเครื่องวัดความหนืด สังเกตการตกตะกอน และค่า pH ด้วยกระตาศยูนีเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ เป็นระยะเวลา 3 วัน

ข) การศึกษาด้วยเครื่องเหวี่ยงตกตะกอน การดมกลิ่น และเครื่องวัด pH

ศึกษาน้ำกาบทั้งสามชนิดเป็นระยะเวลา 5 วัน ด้วยเครื่องเหวี่ยงตกตะกอน การดมกลิ่นเน่าเสีย และค่า pH ด้วยเครื่องวัด pH เป็นระยะเวลา 4 วัน

3.4.4.3 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาบที่สกัดไขมันออกในด้านการเสถียรภาพ

เตรียมน้ำกาบที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ปริมาตร 100 mL โดยน้ำกาบเมล็ดมะขามที่สกัดไขมันออกเตรียมที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และน้ำกาบเฮมิเซลลูโลสที่สกัดไขมันออกเตรียมที่ความเข้มข้น 1.25 %(w/v) นำมาใส่ในขวดแก้วพร้อมทั้งปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 °C) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำกาบแต่ละชนิดในแต่ละวัน ในด้านการ

ตกตะกอนด้วยการสังเกต การเกิดกลิ่นเน่าเสียด้วยการดมกลิ่น และค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เครื่องวัด pH เป็นระยะเวลา 9 วัน

3.4.4.4 การศึกษาคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาคุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเครื่อง SEM (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6610LV) ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามี 4 ชนิด ดังนี้

ก) แผ่นฟิล์ม เตรียมจากน้ำกาวความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และเตรียมที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

เตรียมแผ่นฟิล์มโดยนำน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง (น้ำกาวยางกระถิน 27.00 %(w/v), น้ำกาวเมล็ดมะขาม 2.00 %(w/v) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.25 %(w/v)) โดยเทน้ำกาวปริมาตร 10 mL ลงในจานเพาะเชื้อ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70-80 °C เป็นเวลา 12-13 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างที่ศึกษาให้มีขนาดไม่เกิน 1×1 cm นำตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง จากนั้นนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยศึกษาบริเวณ Surface และ Cross section

ข) ชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

เตรียมชั้นรองพื้นโดยนำน้ำกาวแต่ละชนิดผสมกับดินสอพองในอัตราส่วนต่างๆ (ดินสอพอง : น้ำกาวยางกระถิน 2.9 : 1.0, ดินสอพอง : น้ำกาวเมล็ดมะขาม 1.0 : 1.0 และดินสอพอง : น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.0 : 1.0) คนให้เข้ากันด้วยโกร่งบดยา จากนั้นเทชั้นรองพื้น 5 mL ลงในจานเพาะเชื้อ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70-80 °C เป็นเวลา 12-13 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างที่ศึกษาให้มีขนาดไม่เกิน 1×1 cm โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง (น้ำกาวยางกระถิน 27.00 %(w/v), น้ำกาวเมล็ดมะขาม 2.00 %(w/v) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.25 %(w/v)), ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) และดินสอพองที่ไม่ได้ผสมน้ำกาว ด้วยเครื่อง SEM โดยศึกษาบริเวณ Surface และ Cross section

3.4.5 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของยางกระถิน เมล็ดมะขาม และเฮมิเซลลูโลส โดยการหาปริมาณโปรตีน และลิพิด

3.4.5.1 การหาปริมาณโปรตีน (ตัดแปลง วิธีของ Thies et al., 2002)

การหาปริมาณโปรตีนของเมล็ดมะขามใช้วิธีคเจลดาร์ล โดยการวิเคราะห์ไนโตรเจนที่มีอยู่ทั้งหมดในตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานสากลว่ามีความแม่นยำ และใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้

วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ เมล็ดถั่ว เมล็ดทานตะวัน หรือเมล็ดจากพืชชนิดต่างๆ

ก) การเทียบมาตรฐานสารละลาย HCl

เทียบมาตรฐานสารละลาย HCl ด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.10 M Na_2CO_3 (เตรียมโดยชั่ง Na_2CO_3 5.30 g ละลายในน้ำ 500 mL) โดยปิเปตสารละลาย HCl 25.00 mL ลงในขวดรูปชมพู่ หยด Methyl red 2-3 หยด จากนั้นนำไปไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.10 M Na_2CO_3 โดยที่จุดยุติสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมชมพูอ่อน

ข) การหาปริมาณโปรตีนในตัวอย่างกาว

นำตัวอย่างกาว (ผงยางกระถิน, ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส) 1.00 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จากนั้นเติม CuSO_4 0.50 g, Na_2SO_4 5.00 g และ Conc. H_2SO_4 15 mL สังเกตสีของตัวอย่างจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสารละลายสีน้ำตาลดำ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างกาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ

ปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ นำไปให้ความร้อนบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้สารละลายกระเด็น เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 400-420 °C สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลดำเป็นสีเขียวใส แสดงดังรูปที่ 3.3



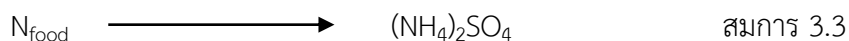
รูปที่ 3.3 สารละลายตัวอย่างกาวสีน้ำตาลดำ (ซ้าย), สารละลายตัวอย่างกาวสีเขียวใส (ขวา)

ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายใส่ในขวดลดความดัน เติมน้ำกลั่นลงไป 35 mL เติมสารละลาย NaOH 40 % (w/v) 50 mL จนสารละลายเปลี่ยนกลับมาเป็นสีน้ำตาลดำ นำสารละลายที่ได้ไปกลั่นกับสารละลาย 4.00 % (w/v) H_3BO_3 ทันทึ (เตรียมโดยชั่ง H_3BO_3 4.00 g ละลายในน้ำอุ่น 100 mL) จัดชุดอุปกรณ์การกลั่นดังรูปที่ 3.4 ทำการกลั่นโดยเปิดสารละลาย H_3BO_3 25.00 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่จากนั้นหยด Methyl red ลงไป 1-2 หยด สีของสารละลาย H_3BO_3 จะเปลี่ยนเป็นสีชมพู จากนั้นให้ความร้อนกับสารละลายตัวอย่าง อย่างช้าๆ จนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 90-95 °C สารละลาย H_3BO_3 จะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลืองอ่อน ให้ความร้อนต่ออีก 30 นาที

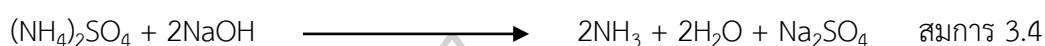


รูปที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์การกลั่นเพื่อหาปริมาณโปรตีน

จากนั้นนำสารละลาย H_3BO_3 ไปไทเตรตกับสารละลาย HCl จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีชมพูอ่อนหรือสีชมพูอมส้ม คำนวณหาร้อยละโปรตีนจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้



ปฏิกิริยาในขั้นตอนการกลั่น



ปฏิกิริยาในขั้นตอนการไทเตรต



$$\text{ร้อยละไนโตรเจน} = \frac{14 \times (\text{ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเตรต}) \times \text{ความเข้มข้นของ HCl} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times 1,000} \quad \text{สมการ 3.8}$$

$$\text{ร้อยละโปรตีน} = \text{ร้อยละไนโตรเจน} \times 6.25 \quad \text{สมการ 3.9}$$

3.4.5.2 การหาปริมาณลิพิด (อ้างอิง วิธีของ Panchal, Deshmukh, & Sharma, 2014)

นำตัวอย่างกาว (ผงยางกระถิน, ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส) 20.00 g ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 mL เติมเอทานอล 120 mL ลงไป นำไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พร้อมกวนสารละลายตลอดเวลาด้วย magnetic bar จัดชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ดังรูป 3.5 จากนั้นกรองสารละลายที่ได้ใส่ขวดก้นกลมที่ชั่งน้ำหนักแล้ว นำไประเหยตัวทำละลายเอทานอลออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแห้ง จากนั้นนำขวดก้นกลมไปชั่งน้ำหนัก โดยคำนวณหาร้อยละลิพิดจาก

ปริมาณลิกพิด = น้ำหนักขวดก้นกลมหลังรีฟลักซ์ - น้ำหนักขวดก้นกลมแห้ง สมการ 3.10

$$\text{ร้อยละลิกพิด} = \frac{\text{ปริมาณลิกพิด} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างขาว}} \quad \text{สมการ 3.11}$$



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์เพื่อหาปริมาณลิกพิด

3.4.6 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นรองพื้นจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส

ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในหัวข้อ

- ความคงทนของสีฝุ่นชั้นรองพื้นต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น
- การยึดเกาะของสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น การหลุดล่อนของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น
- ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เตรียมชั้นรองพื้นโดยนำน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ผสมกับดินสอพองในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ

- ดินสอพอง : น้ำกาวยางกระถิน เท่ากับ 2.5 : 1.0
- ดินสอพอง : น้ำกาวเมล็ดมะขาม เท่ากับ 1.0 : 1.0
- ดินสอพอง : น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 1.0 : 1.0

จากนั้นคนให้เข้ากัน ด้วยโกร่งบดยาแล้วนำไปทาบนก้อนอิฐ และแผ่นไม้ขนาด 10×7 cm ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วทาทับลงไปอีกรอบ ทำเช่นนี้จนทาครบ 4 รอบ ทิ้งไว้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการกวาดชั้นรองพื้นให้ผิวเรียบเนียนด้วยส่วนกลมมนของขวดลิโพอ จากนั้นวาดภาพด้วยสีฝุ่นลงบนชั้นรองพื้น ซึ่งวาดโดย อาจารย์ อนุวัฒน์ ลัดดาวัลย์ ภาควิชาศิลปะไทย คณะจิตรกรรม ประติมากรรมและภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (รูป 3.6) ทิ้งไว้ให้แห้งซึ่งตัวอย่างที่ถูกทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างชั้นรองพื้น และวาดภาพบนชั้นรองพื้น

วัสดุที่ทำชั้นรองพื้น	ชนิดของกาว	การทำชั้นรองพื้น และการวาดภาพ
ก้อนอิฐ	น้ำกาวยางกระถิน	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ
	น้ำกาวเมล็ดมะขาม	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ
	น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ
แผ่นไม้	น้ำกาวยางกระถิน	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ
	น้ำกาวเมล็ดมะขาม	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ
	น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	ชั้นรองพื้น
		ชั้นรองพื้นที่วาดภาพ



รูปที่ 3.6 ชั้นรองพื้นที่วาดภาพด้วยสีฝุ่น

3.4.6.1 การทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ

และความชื้น

ในการทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้นของตัวอย่าง ดังตาราง 3.1 จะรายงานด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป และวัดค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 60) โดยทดสอบจากความคงทนของชั้นรองพื้นในสภาวะดังนี้

ก) การทนต่ออุณหภูมิที่สภาวะปกติ

ทดสอบโดยดัดแปลงจาก มอก. 1123, 2555 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีรองพื้นสำหรับงานปูน โดยวางตัวอย่างก้อนอิฐ และแผ่นไม้ที่ทำชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 °C) เป็นเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 0-10 บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป และวัดค่าสี $L^* a^* b^*$

ข) การทนต่อแสง

เป็นการทดสอบโดยใช้วิธีเร่งสภาวะ จะทดสอบโดยดัดแปลงจาก มอก. 1123, 2555 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีรองพื้นสำหรับงานปูน โดยวางตัวอย่างก้อนอิฐ และแผ่นไม้ที่ทำชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพในโรงอบโซลาเซลล์ซึ่งเป็นการวัดความทนแสงแดดในสภาวะจริง โดยศึกษาเป็นเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 0-10 บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป และวัดค่าสี $L^* a^* b^*$

นอกจากนี้นำตัวอย่างชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ใส่ในเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (Suntest) ที่ความเข้มแสง 400 W/m^2 เป็นเวลา 40 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความคงทนของสีของชั้นรองพื้นต่อแสงที่สภาวะควบคุมแสงด้วยเครื่อง บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป

ค) การทนต่อความร้อน

ทดสอบโดยใช้วิธีเร่งสภาวะ ดัดแปลงจาก มอก. 1123, 2555 เรื่อง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีรองพื้นสำหรับงานปูน

- วางตัวอย่างก้อนอิฐ และแผ่นไม้ที่ทาชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 60 °C โดยศึกษาเป็นเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 0-10 บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป และบันทึกค่าเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$

- วางตัวอย่างก้อนอิฐ และแผ่นไม้ที่ทาชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น (Hydrostatic head tester) โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 60 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 95 % เป็นเวลา 150 ชั่วโมง บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป

ง) การทนต่อน้ำ

ทดสอบโดยดัดแปลงจาก มอก. 1123, 2555 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีรองพื้นสำหรับงานปูน นำตัวอย่างก้อนอิฐ และแผ่นไม้ที่ทาชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพวางแช่ในน้ำ 5 ชั่วโมงต่อวัน เป็นระยะเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 0-10 โดยน้ำที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำประปา และน้ำกระด้าง (เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่ความเข้มข้น 3.00 %(w/v)) ทั้งนี้เพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำที่ใช้ตามบ้านเรือน และน้ำบาดาล ตามลำดับ บันทึกผลโดยสังเกตด้วยตาเปล่า พร้อมทั้งถ่ายรูป

3.4.6.2 การทดสอบการยึดเกาะของสีที่ทาบนชั้นรองพื้น การขูดขีดของชั้นรองพื้น และสีบนชั้นรองพื้น

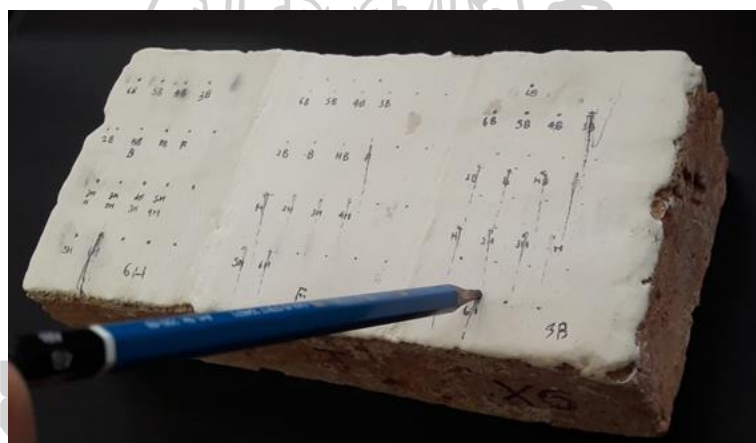
ก) การทดสอบคุณสมบัติในด้านการยึดเกาะของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น (อ้างอิงวิธีของ ASTM D3359-02, 2004)

ชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพที่ทาบนแผ่นไม้ และก้อนอิฐเตรียมตั้งขั้นตอนข้อ 3.4.6 จากนั้นใช้คัตเตอร์กรีดชั้นรองพื้นบนแผ่นไม้เป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 1×1 cm จำนวน 56 ช่อง และกรีดชั้นรองพื้นบนก้อนอิฐเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาด 1×1 cm จำนวน 48 ช่อง โดยต้องกรีดให้ทะลุถึงพื้นผิวที่เป็นแผ่นไม้ หรือก้อนอิฐ จากนั้นใช้เทปพลาสติกใส ติดบนรอยกรีดแล้วดึง คำนวณร้อยละชั้นรองพื้นที่หลุดออกดังนี้

$$\text{ร้อยละชั้นรองพื้นที่หลุดออก} = \frac{\text{จำนวนช่องของชั้นรองพื้นที่หลุด} \times 100}{\text{จำนวนช่องทั้งหมด}} \quad \text{สมการ 3.12}$$

ข) การทดสอบคุณสมบัติในด้านการดูดซับของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น (อ้างอิง วิธีของ ISO 15184, 2012)

ชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพที่ทาบนแผ่นไม้ และก้อนอิฐเตรียมดังขั้นตอนข้อ 3.4.6 จากนั้นเตรียมดินสอไม้โดยเหลาดินสอไม้ เอาเฉพาะส่วนของไม้ออก ให้ได้ปลายดินสอทรงกระบอก ยาวประมาณ 5-6 mm จากนั้นฝนปลายดินสอบนกระดาษทราย โดยให้หน้าตัดของปลายดินสอตั้งฉากกับกระดาษทราย ฝนจนกระทั่งได้หน้าตัดรูปวงกลมที่เรียบเสมอกัน จรดปลายดินสอให้ทำมุม 45° กับตัวอย่างชั้นรองพื้น และชั้นรองพื้นที่วาดภาพที่ทาบนแผ่นไม้ และก้อนอิฐ กดและดันปลายดินสอไปข้างหน้า ด้วยแรงที่เท่ากัน โดยให้เริ่มจากดินสอเบอร์ที่แข็งที่สุดก่อน ค่าระหว่างเบอร์ดินสอที่อยู่ติดกัน กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยความแข็ง เรียงลำดับจากความอ่อนไปแข็งดังนี้ 6B-5B-4B-3B-2B-B-HB-F-H-2H-3H-4H-5H-6H



รูปที่ 3.7 การดันดินสอลงบนชั้นรองพื้น

3.4.6.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ชั้นรองพื้นบนก้อนอิฐ และแผ่นไม้เตรียมดังขั้นตอนข้อ 3.4.6 จากนั้นตัดก้อนอิฐ และแผ่นไม้ให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด กว้าง \times ยาว \times สูง เท่ากับ $1 \times 1 \times 1$ cm โดยให้มีทั้งส่วนที่เป็นก้อนอิฐ และ ส่วนของชั้นรองพื้น และให้มีทั้งส่วนที่เป็นชั้นรองพื้น และชั้นสี ตัดตัวอย่างที่ศึกษาให้มีขนาดไม่เกิน 1×1 cm นำตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง จากนั้นนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง FESEM รุ่น MIRA3 โดยศึกษาบริเวณ Surface และ Cross section

**ก) ชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ หรือก้อนอิฐ โดยเตรียมจากความเข้มข้นของน้ำกาวที่นักอนุรักษ์
จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง**

เตรียมชั้นรองพื้นโดยนำน้ำกาวแต่ละชนิดผสมกับดินสอพองในอัตราส่วนที่เหมาะสม (ดินสอพอง : น้ำกาวยางกระถิน 2.5 : 1.0, ดินสอพอง : น้ำกาวเมล็ดมะขาม 1.0 : 1.0 และดินสอพอง : น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.0 : 1.0) คนให้เข้ากันด้วยโถรงบดยา จากนั้นทาชั้นรองพื้นลงบนแผ่นไม้ หรือก้อนอิฐ เป็นจำนวน 1 รอบ ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วทาทับลงไปอีกรอบ ทำเช่นนี้จนทาครบ 4 รอบ ทิ้งไว้แห้ง ทำการกวาดชั้นรองพื้นให้ผิวเรียบเนียนด้วยส่วนกลมมนของขวดลิโพ ตัดตัวอย่างที่ศึกษาให้มีขนาดไม่เกิน 1×1 cm นำตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง จากนั้นศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้น ที่เตรียมจากน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง (น้ำกาวยางกระถิน 27.00 % (w/v), น้ำกาวเมล็ดมะขาม 2.00 % (w/v) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.25 % (w/v) ด้วยเครื่อง FESEM รุ่น MIRA3 โดยศึกษาบริเวณ Surface และ Cross section

ข) ชั้นสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้น

เตรียมชั้นรองพื้นโดยนำน้ำกาวแต่ละชนิดผสมกับดินสอพองในอัตราส่วนที่เหมาะสม (ดินสอพอง : น้ำกาวยางกระถิน 2.5 : 1.0, ดินสอพอง : น้ำกาวเมล็ดมะขาม 1.0 : 1.0 และดินสอพอง : น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.0 : 1.0) คนให้เข้ากันด้วยโถรงบดยา จากนั้นทาชั้นรองพื้นลงบนแผ่นไม้ ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วทาทับลงไปอีกรอบ ทำเช่นนี้จนทาครบ 4 รอบ ทิ้งไว้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการกวาดชั้นรองพื้นให้ผิวเรียบเนียน จากนั้นวาดภาพด้วยสีฝุ่นลงบนชั้นรองพื้น รอให้ชั้นสีแห้งเป็นเวลาประมาณ 20 นาที ตัดตัวอย่างที่ศึกษาให้มีขนาดไม่เกิน 1×1 cm นำตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง จากนั้นศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นสีที่ทาลงบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง (น้ำกาวยางกระถิน 27.00 % (w/v), น้ำกาวเมล็ดมะขาม 2.00 % (w/v) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.25 % (w/v)) ด้วยเครื่อง FESEM รุ่น MIRA3 โดยศึกษาบริเวณ Cross section

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขาม

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส โดย 1. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส 2. ศึกษาผลของปริมาณเอทานอลต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อในเมล็ดมะขามอย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว

4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลสที่ให้ร้อยละผลผลิตเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด โดยศึกษาในช่วง 65-70, 70-75, 75-80 และ 80-85 °C จากผลการทดลองพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 65-70 °C ให้ร้อยละผลผลิตเฮมิเซลลูโลสมากที่สุดที่ 45.43 % โดยมากกว่าที่อุณหภูมิในช่วง 70-75 °C เท่ากับ 13.16 % และเมื่อนำไปเตรียมเป็นน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง (1.25 % (w/v)) พบว่าให้ค่าความหนืดที่ 352.00 cP โดยในช่วงอุณหภูมิ 70-75 °C ให้ค่าความหนืดที่ 358.40 cP ซึ่งต่างกันเพียง 1.82 % โดยไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) นอกจากนี้ในช่วงอุณหภูมิ 75-80 และ 80-85 °C ให้ค่าความหนืด และร้อยละผลผลิตน้อยกว่าช่วงอุณหภูมิ 65-70 °C ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิในช่วง 65-70 °C สำหรับการเตรียมเฮมิเซลลูโลส เนื่องจากให้ร้อยละผลผลิต และความหนืดที่เหมาะสมที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลผลิต และความหนืดของเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

ผลการทดลอง	อุณหภูมิ			
	65-70 °C	70-75 °C	75-80 °C	80-85 °C
ผงเมล็ดมะขาม (g)	50.00	50.00	50.00	50.00
น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส (g)	22.17 ± 0.75	19.72 ± 1.57	21.34 ± 0.85	21.17 ± 1.59
ร้อยละผลผลิต (%)	45.43 ± 1.51	39.45 ± 3.15	42.69 ± 1.69	42.35 ± 3.17
ค่าความหนืด (cP)	352.00	358.40	314.00	339.20

n = 3

4.1.2 ผลของปริมาณเอทานอลต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลส

การศึกษาปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมต่อการเตรียมเฮมิเซลลูโลสที่ให้ร้อยละผลผลิตเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด โดยศึกษาที่อัตราส่วนปริมาณเอทานอลต่อน้ำกาวที่ 0.75 : 1.50, 0.90 : 1.50, 1.00 : 1.50 และ 1.50 : 1.50 จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่ 1.00 : 1.50 ให้ร้อยละผลผลิต 51.02 % ในขณะที่อัตราส่วนที่ 1.50 : 1.50 ให้ร้อยละผลผลิต 53.95 % โดยมากกว่าที่อัตราส่วน 1.00 : 1.50 เพียง 2.93 % ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) ดังนั้นเลือกอัตราส่วนปริมาณเอทานอลต่อน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ 1.00 : 1.50 เนื่องจากใช้ปริมาณเอทานอลน้อยกว่าที่อัตราส่วน 1.00 : 1.00 ถึง 33.33 % อีกทั้งยังแตกต่างจากวิธีที่รายงานโดย Mishra & Langote, 2014 ที่เติมเอทานอลมากเกินไป ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตของเฮมิเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่างๆ ของปริมาณเอทานอลต่อน้ำกาวเมล็ดมะขาม

ผลการทดลอง	เอทานอล : น้ำกาวเมล็ดมะขาม			
	0.75 : 1.50	0.90 : 1.50	1.00 : 1.50	1.50 : 1.50
ผงเมล็ดมะขาม (g)	20.00	20.00	20.00	20.00
น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส (g)	7.40 ± 0.18	9.36 ± 0.48	10.20 ± 0.29	10.79 ± 0.25
ร้อยละผลผลิต (%)	37.08 ± 1.08	46.78 ± 2.41	51.02 ± 1.46	53.95 ± 1.26

n = 3

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส

4.2.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมที่ความเข้มข้น 4.00 % (w/v) ที่ระยะเวลา 1, 5, 7, 10, 13, 15, 17 และ 20 นาที

การศึกษาการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมที่ความเข้มข้น 4.00 % (w/v) เพื่อทดสอบคุณสมบัติการเป็นไฮโดรเจลของเฮมิเซลลูโลสที่อุณหภูมิห้อง (ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 และกราฟที่ 4.1) จากผลการทดลองพบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ 1-13 นาที แผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อแช่น้ำทำให้สายโซ่พอลิเมอร์กลายเป็นประจุลบจึงทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสายโซ่ และดันให้สายโซ่ที่พันกันอยู่แยกออกจากกัน จากนั้นอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำซึ่งมี

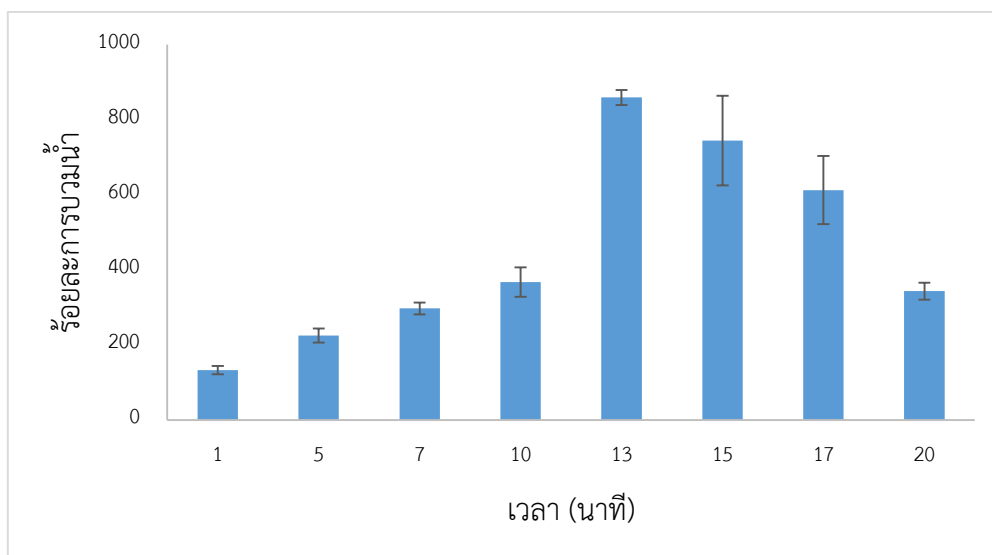
ความเป็นประจวบเหมาะๆ จะเข้ามาสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมที่มีประจุลบในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เฮมิเซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ (ธัญญภรณ์ ศรีสุบิน, 2557; Chen et al., 2012; Nisbet et al., 2006) ซึ่งในนาที่ที่ 13 พบว่าแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสเกิดการบวมน้ำมากที่สุดเท่ากับ 858.81% โดยหลังจากนาที่ที่ 13 การบวมน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสจะลดลงตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เฮมิเซลลูโลสเป็นไฮโดรเจลที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่เชื่อมต่อกันด้วยอันตรกิริยาที่อ่อนกว่าพันธะโควาเลนต์ เช่น พันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงดึงดูดอ่อนๆ สามารถสลายตัวได้ง่าย เมื่อพอลิเมอร์สลายตัวออกไม่จับตัวกันเป็นโครงร่างสามมิติ จึงเกิดการละลายน้ำได้ ทำให้ไม่สามารถวัดการบวมตัวได้ เนื่องจากเกิดการละลาย แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับน้ำ อาจช่วยทำให้ชั้นรองพื้นมีคุณสมบัติในการระบาย และดูดซับความชื้น ซึ่งเมื่อเทียบกับกาวยางกระถินที่ไม่สามารถโดนน้ำได้ เนื่องจากจะเกิดการละลาย และไม่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดังนั้นจึงคาดว่าเมื่อนำเฮมิเซลลูโลสมาใช้เตรียมชั้นรองพื้น จะส่งผลทำให้ภาพจิตรกรรมฝาผนังมีการแตกหลุดร่อนช้าลง และช่วยให้ภาพจิตรกรรมติดทนนานขึ้น

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที่)	ร้อยละการดูดซับน้ำ ของแผ่นฟิล์ม	%RSD
1	133.01 ± 11.07	8.33
5	224.66 ± 18.71	5.30
7	297.22 ± 15.75	10.69
10	367.28 ± 39.26	10.69
13	858.81 ± 19.92	2.32
15	744.21 ± 119.54	16.06
17	612.30 ± 90.66	14.81
20	343.26 ± 22.52	6.56

n = 3

กราฟที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4.00 %(w/v) ที่เวลาต่างๆ



4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านความหนืด ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเสถียรภาพของน้ำกาว

4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านความหนืด

โดยวัดค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดจาก 5 สภาวะ

1. ความหนืดของน้ำกาวที่นำก่อนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง เพื่อเปรียบเทียบความหนืดและความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิด
2. ความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดอย่างชัดเจน
3. ปริมาณของกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดของน้ำกาวใกล้เคียงกัน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกัน
4. ปริมาณกาวแต่ละชนิดต่อค่าความหนืด เพื่อศึกษาความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิดที่เหมาะสมต่อการนำมาเตรียมชั้นรองพื้น
5. ความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังจากสกัดลิพิดออก เพื่อศึกษาผลของปริมาณลิพิดต่อความหนืดของน้ำกาว

ก) ความหนืดของน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง

เป็นการศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 27.00, 2.00 และ 1.25 % (w/v) ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ได้มาจากการเตรียมน้ำกาวแต่ละชนิดของนักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง

• ผลการวัดค่าความหนืดต่างวัน

ผลการวัดค่าความหนืดแบบต่างวัน เป็นระยะเวลา 3 วัน ของน้ำกาวชนิดต่างๆ โดยน้ำกาวยางกระถินมีความหนืดที่ 82.43 cP น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 435.00 cP โดยมากกว่าน้ำกาวยางกระถิน 81.05 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดที่ 342.10 cP โดยมากกว่าน้ำกาวยางกระถิน 75.90 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) ดังนั้น กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสแสดงคุณสมบัติด้านความหนืดที่ดีกว่ากาวยางกระถิน อีกทั้งกาวยางกระถินเตรียมที่ความเข้มข้นมากกว่ากาวเมล็ดมะขามถึง 13.50 เท่า และมากกว่ากาวเฮมิเซลลูโลสถึง 21.60 เท่า นอกจากนี้ น้ำกาวเมล็ดมะขามมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 21.36 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) แต่เตรียมที่ความเข้มข้นมากกว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 1.60 เท่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมใช้จริง และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	27.00	82.43 ± 2.98	3.62
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	2.00	435.00 ± 39.55	9.09
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	1.25	342.10 ± 32.26	9.43

n = 3

• ผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกัน

ผลการวัดค่าความหนืดของน้ำกาวชนิดต่างๆ ในวันเดียวกัน โดยน้ำกาวยางกระถินมีความหนืด 84.20 cP น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 455.33 cP โดยมากกว่าน้ำกาวยางกระถิน 81.51 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืด 343.60 cP โดยมากกว่าน้ำกาวยางกระถิน 75.49 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) ดังนั้นกาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสแสดงคุณสมบัติด้านความหนืดที่ดีกว่ากาวยางกระถิน ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	27.00	84.20 ± 5.11	6.08
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	2.00	455.30 ± 21.00	4.64
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	1.25	343.60 ± 20.04	5.84

n = 3

ผลการวัดค่าความหนืดต่างวันพบว่า มีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 3.62, 9.09 และ 9.43 ตามลำดับ และผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกันมีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 6.08, 4.64 และ 5.84 ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความหนืดในวันเดียวกันมีความแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แบบต่างวัน

ข) ความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่เท่ากัน

โดยศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) ทั้งนี้เพื่อให้เห็นความแตกต่างในด้านความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

• ผลการวัดค่าความหนืดต่างวัน

ผลการวัดค่าความหนืดแบบต่างวันของน้ำกาวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) พบว่า น้ำกาวยางกระถินมีความหนืดที่ 24.13 cP น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 408.10 cP และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดที่ 2,887.00 cP ดังนั้นกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดสูงสุด โดยน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดต่างกัน 116.00 เท่า และในส่วนของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดต่างกัน 7.00 เท่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.6 ทั้งนี้อาจเนื่องจากในขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสจะมีการกำจัดสารอื่นๆ ออกไป เช่น โปรตีน และลิกนิน เหลือองค์ประกอบที่สำคัญคือโพลีแซ็กคาไรด์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ และมีคุณสมบัติการเป็นไฮโดรเจล

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	2.00	24.10 ± 0.26	1.09
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	2.00	408.1 ± 18.62	4.56
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	2.00	2,887.00 ± 204.41	7.08

n = 3

• ผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกัน

ผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกันของน้ำกาวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเท่ากัน 2.00 % (w/v) พบว่าน้ำกาวยางกระถินมีความหนืดที่ 23.90 cP น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 516.20 cP และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดที่ 2,888.00 cP ดังนั้นน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ค่าความหนืดสูงสุด โดยที่น้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดต่างกัน 121.00 เท่า และในส่วนของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดต่างกัน 6.00 เท่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	2.00	23.90 ± 0.17	0.72
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	2.00	516.20 ± 43.12	8.35
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	2.00	2,888.00 ± 179.60	6.22

n = 3

ผลการวัดค่าความหนืดต่างวันพบว่า มีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 1.09, 4.56 และ 7.08 ตามลำดับ และผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกันมีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 0.72, 8.35 และ 6.22 ดังนั้นมีน้ำกาวเมล็ดมะขามแบบต่างวันมีความแม่นยำกว่าการวิเคราะห์แบบวันเดียวกัน ส่วนน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสการวิเคราะห์แบบวันเดียวกันมีความแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แบบต่างวัน

ค) ปริมาณของกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดของน้ำกาวใกล้เคียงกัน

ศึกษาความเข้มข้นของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียงที่ 100.00 cP ทั้งนี้เพื่อให้เห็นความแตกต่างของปริมาณกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกัน

• ผลการวัดค่าความหนืดต่างวัน

ผลการวัดค่าความหนืดแบบต่างวันของน้ำกาวชนิดต่างๆ โดยควบคุมให้ได้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP พบว่าน้ำกาวยางกระถินมีความหนืดที่ 108.70 cP โดยใช้ปริมาณผงยางกระถินถึง 32.00 g น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 90.07 cP ใช้ปริมาณผงเมล็ดมะขาม 1.20 g ในขณะที่น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดที่ 98.73 cP ใช้ปริมาณผงเฮมิเซลลูโลสเพียง 0.80 g ดังนั้นน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสใช้ปริมาณน้อยที่สุด โดยใช้ปริมาณผงเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าผงยางกระถินถึง 40.00 เท่า และใช้ผงเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าผงเมล็ดมะขาม 1.50 เท่า ซึ่งค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ผล t-test ในภาคผนวก) ผลแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP และ %RSD แบบการวิเคราะห์ต่างวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	32.00	108.70 ± 7.92	7.29
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	1.20	90.07 ± 5.63	6.25
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	0.80	98.73 ± 4.24	4.29

n = 3

• ผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกัน

ผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกันของน้ำกาวชนิดต่างๆ โดยควบคุมให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP พบว่าน้ำกาวยางกระถินมีความหนืดที่ 112.60 cP โดยที่ต้องใช้ปริมาณผงยางกระถินถึง 32.00 g น้ำกาวเมล็ดมะขามมีความหนืดที่ 89.50 cP โดยใช้ปริมาณผงเมล็ดมะขาม 1.20 g ในขณะที่น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความหนืดที่ 105.30 cP ใช้ปริมาณผงเฮมิเซลลูโลส 0.80 g ดังนั้นน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสใช้ปริมาณน้อยที่สุด โดยใช้ปริมาณผงเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าผงยางกระถินถึง 40.00 เท่า และใช้ผงเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าผงเมล็ดมะขาม 1.50 เท่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ให้ค่าความหนืดใกล้เคียง 100.00 cP และ %RSD แบบการวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% (w/v))	ความหนืด (cP)	%RSD
น้ำกาวยางกระถิน	32.00	112.60 ± 15.50	13.77
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	1.20	89.50 ± 3.66	4.09
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	0.80	105.30 ± 4.84	4.60

n = 3

ผลการวัดค่าความหนืดต่างวันพบว่ามีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 7.29, 6.25 และ 4.29 ตามลำดับ และผลการวัดค่าความหนืดในวันเดียวกันมีค่า %RSD ของน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 13.77, 4.09 และ 4.60 ดังนั้นน้ำกาวยางกระถินแบบต่างวันมีความแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แบบวันเดียวกัน ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามการวิเคราะห์แบบวันเดียวกันมีความแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แบบต่างวัน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสการวิเคราะห์แบบต่างวัน และการวิเคราะห์แบบวันเดียวกันมีความแม่นยำใกล้เคียงกัน

ง) ผลของปริมาณกาวแต่ละชนิดต่อค่าความหนืด

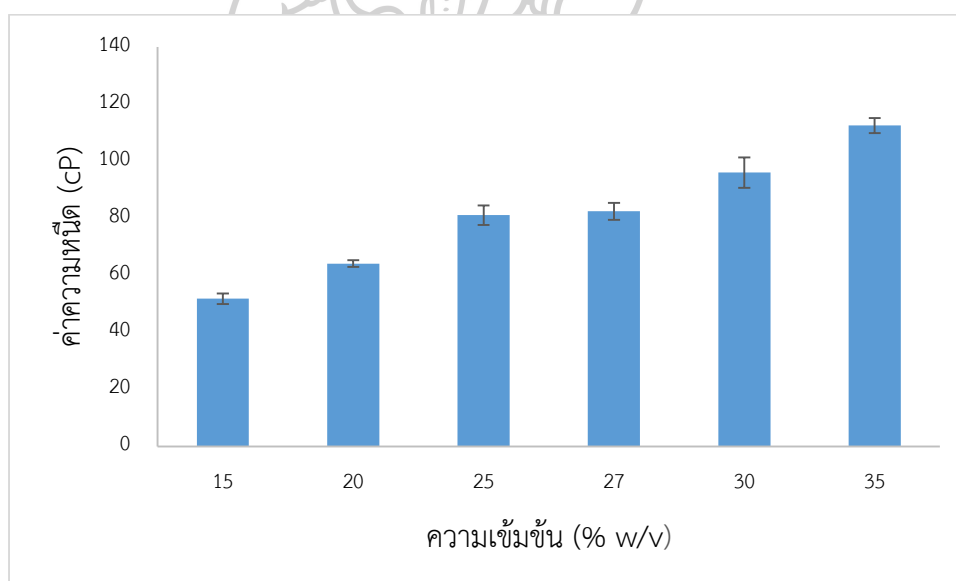
ศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิด ในช่วงความเข้มข้นต่างๆ ที่ครอบคลุมความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง น้ำกาวยางกระถินศึกษาในช่วงความเข้มข้น 15.00-35.00 % (w/v) มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางกระถิน แต่ค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 15.00 % (w/v) มีค่าความหนืดเท่ากับ 51.80 cP และที่ความเข้มข้น 35.00 % (w/v) มีค่าความหนืดเท่ากับ 112.50 cP ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 53.96 % ในขณะที่น้ำกาวเมล็ดมะขามศึกษาในช่วง 1.00-3.00 % (w/v) ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นสูงตามปริมาณผงเมล็ดมะขาม จะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 1.00 % (w/v) มีค่าความหนืดเท่ากับ 84.40 cP และที่ความเข้มข้น 3.00 % (w/v) มีค่าความหนืดเท่ากับ 3,290.80 cP ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 97.44 % และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสศึกษาในช่วง 0.5-1.75 % (w/v) ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นสูงตามปริมาณเฮมิเซลลูโลส จะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 0.50 มีค่าความหนืดเท่ากับ 56.00 cP และที่ความเข้มข้น 1.75 % (w/v) มีค่าความหนืดเท่ากับ 1,258 cP ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 95.55 % ดังนั้นน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ให้ค่าความหนืดสูงชันมากในปริมาณของกาวที่น้อยกว่ายางกระถินมาก ตัวอย่างเช่น น้ำกาวยางกระถินที่ความเข้มข้น 35.00 % (w/v) ให้ค่าความหนืดเท่ากับ 112.50 cP ขณะที่น้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3.00 % (w/v) ให้ค่าความหนืดเท่ากับ 3,290.80 cP โดยมีความหนืดมากกว่าน้ำกาวยางกระถินถึง 96.58 % และใช้ปริมาณผงเมล็ดมะขามน้อยกว่าถึง 11.67 เท่า ส่วนน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1.50 % (w/v) ให้ค่าความหนืด 1,258.00 cP มากกว่าน้ำกาวยางกระถินถึง 91.06 % (w/v) และใช้ปริมาณผงเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าถึง 23.33 เท่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 กราฟที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถินในช่วงความเข้มข้น 15.00-30.00 %(w/v)

ความเข้มข้น (% w/v)	ความหนืด (cP)	%RSD
15.00	51.80 ± 1.80	3.52
20.00	64.10 ± 1.19	1.86
25.00	81.10 ± 3.44	4.25
27.00	82.43 ± 2.98	3.62
30.00	96.00 ± 5.36	5.58
35.00	112.50 ± 2.63	2.34

n = 3

กราฟที่ 4.2 ค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถินในช่วงความเข้มข้น 15.00-30.00 %(w/v)

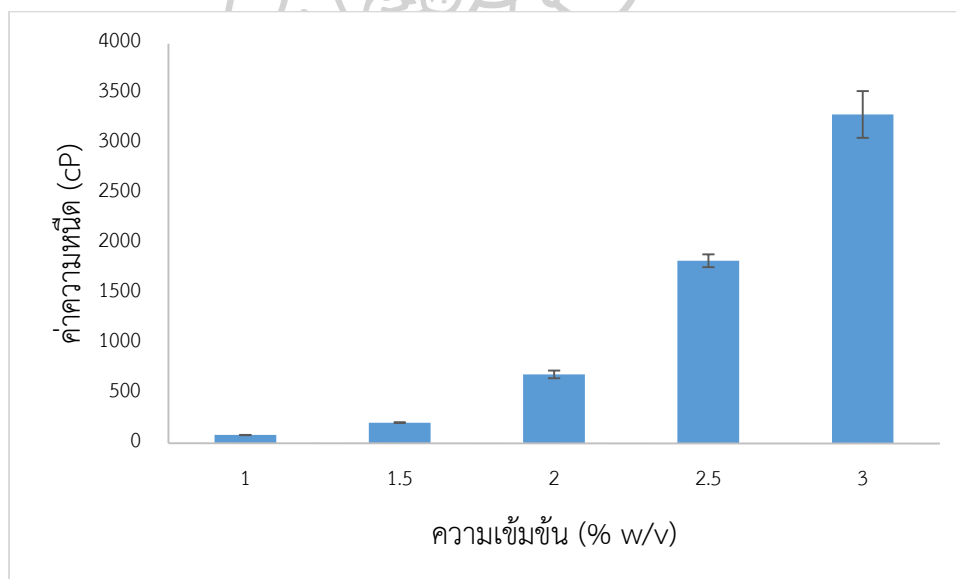


ตารางที่ 4.11 ค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามในช่วงความเข้มข้น 1.00-2.50 %(w/v)

ความเข้มข้น (% w/v)	ความหนืด (cP)	%RSD
1.00	84.40 ± 1.29	1.52
1.50	207.90 ± 1.55	0.75
2.00	690.60 ± 39.31	5.69
2.50	1,829.00 ± 63.09	3.45
3.00	3,293.80 ± 234.71	7.13

n = 3

กราฟที่ 4.3 ค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามในช่วงความเข้มข้น 1.00-3.00 %(w/v)

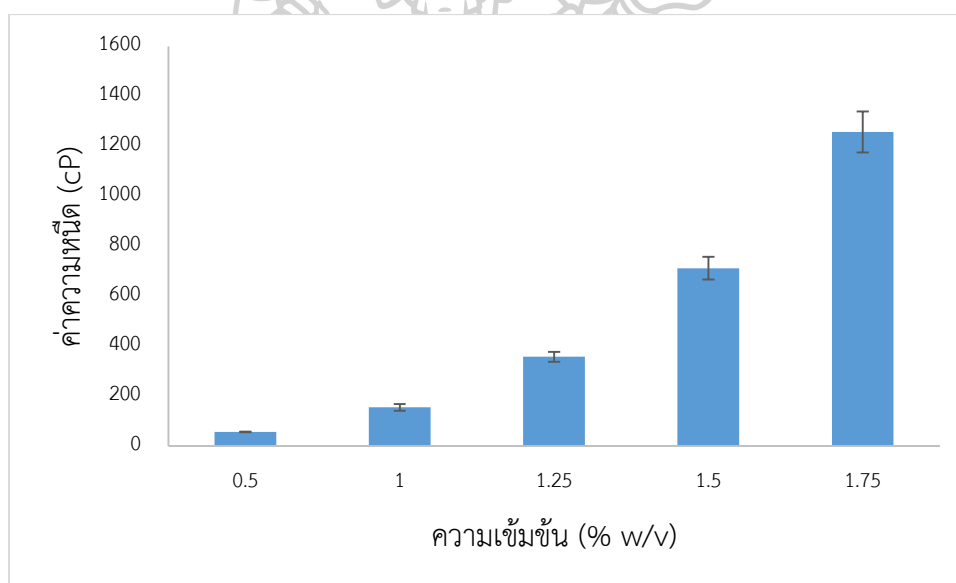


ตารางที่ 4.12 ค่าความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0.50-1.75 % (w/v)

ความเข้มข้น (% w/v)	ความหนืด (cP)	%RSD
0.50	56.00 ± 1.37	2.43
1.00	154.60 ± 13.57	8.78
1.25	343.60 ± 20.05	5.60
1.50	711.80 ± 45.53	6.40
1.75	1,258.00 ± 82.17	6.53

n = 3

กราฟที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0.50-1.75 % (w/v)



จากผลการทดลองพบว่าเมื่อลดความเข้มข้นของน้ำกาวยางกระถินค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นน้ำกาวยางกระถินมีแนวโน้มที่จะสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของน้ำกาวลง แต่ยังสามารถคงค่าความหนืดที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริงไว้ได้ ในขณะที่น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสค่าความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเตรียมน้ำกาวที่มีค่าความหนืดที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

จ) ความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังจากสกัดลิตีตออก

ศึกษาความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่มีการสกัดลิตีตออก โดยเตรียมน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง น้ำกาวเมล็ดมะขามก่อนสกัดลิตีตมีค่าความหนืด 455.30 cP หลังจากสกัดลิตีตออกมีค่าความหนืดเท่ากับ 377.32 cP ค่าความหนืดลดลง 17.13 % ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนสกัดลิตีต มีค่าความหนืดเท่ากับ 343.60 cP หลังจากสกัดลิตีตออกมีค่าความหนืดเท่ากับ 383.53 cP ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 10.41 % ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ดังนั้นจึงคาดว่าลิตีตเป็นตัวแปรสำคัญในผงเมล็ดมะขามเนื่องจากทำให้ค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามลดลง ในขณะที่ลิตีตไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ผลแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ความหนืดน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนและหลังจากสกัดลิตีตออก

น้ำกาว ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% w/v)	ความหนืดก่อน สกัดลิตีต (cP)	%RSD	ความหนืดหลัง สกัดลิตีต (cP)	%RSD
น้ำกาวเมล็ด มะขาม	2.00	455.30 ± 21.00	4.64	377.32 ± 16.01	4.24
น้ำกาวเฮมิ เซลลูโลส	1.25	343.60 ± 20.04	5.84	383.53 ± 21.78	5.68

n = 3

ในการเตรียมชั้นรองพื้นถ้ามีน้ำกาวมีความหนืดมากเกินไปจะทำให้ดินสอพองจับกันเป็นก้อน แต่ถ้ามีน้ำกาวมีความหนืดน้อยเกินไปดินสอพองจะเหลวไม่สามารถนำมาเตรียมเป็นชั้นรองพื้นได้ ดังนั้นจากการศึกษาความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิดจาก 5 สภาวะ พบว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ค่าความหนืดสูงสุด ดังนั้นชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสจึงใช้ปริมาณกาวน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ความหนืดที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง

4.3.2 ผลทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวในด้านการเสถียรภาพ

ศึกษาคุณสมบัติของน้ำกาวแต่ละชนิดต่างๆ ในด้านการเสถียรภาพ โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่น้กอนุรักษจิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ในด้านความหนืด การเกิดตะกอน ค่า pH และการเกิดกลิ่นเน่าเสีย

ก) การศึกษาด้วยเครื่องวัดความหนืด การสังเกต และกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

โดยการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด การตกตะกอนด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า และค่า pH ด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ ในแต่ละวัน

- ด้านความหนืด

การศึกษาการเสถียรภาพในด้านความหนืดของน้ำกาวด้วยเครื่องวัดความหนืดเป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำกาวยางกระถินในวันที่ 0 มีค่าความหนืดเท่ากับ 79.00 cP และในวันที่ 1, 2 และ 3 ค่าความหนืดของน้ำกาวยางกระถินไม่แตกต่างกัน น้ำกาวเมล็ดมะขามในวันที่ 0 มีค่าความหนืดเท่ากับ 485.50 cP ในวันที่ 1 ลดลงเหลือ 412.50 cP ในวันที่ 2 และ 3 ค่าความหนืดลดต่ำลงจนไม่สามารถวัดค่าความหนืดได้ ส่วนน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสในวันที่ 0 มีค่าความหนืดเท่ากับ 577.60 cP ในวันที่ 1 ลดลงเหลือ 537.80 cP และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 2 และ 3 โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 427.40 และ 363.70 cP ตามลำดับ ดังนั้นพิจารณาการเสถียรภาพในด้านความหนืดน้ำกาวยางกระถินให้ผลดีที่สุด เนื่องจากค่าความหนืดไม่ลดลง ผลแสดงดังตารางที่ 4.14



ตารางที่ 4.14 ค่าความหนืดของน้ำกาวทั้งสามชนิดในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	ความหนืด (cP)			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
น้ำกาวยางกระถิน	79.00	79.00	78.60	79.40
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	485.50	412.50	n.d.	n.d.
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	577.60	537.80	427.40	363.70

(n.d. = ไม่สามารถวัดได้)

- ด้านการตกตะกอน

ศึกษาการเสถียรภาพในด้านการเกิดตะกอนของน้ำกาวจากการสังเกตด้วยตาเปล่า ในระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำกาวเมล็ดมะขามเกิดตะกอนตั้งแต่วันที่ 3 ในขณะที่น้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสยังไม่เห็นตะกอนในช่วงเวลา 3 วัน เนื่องจากน้ำกาวเมล็ดมะขามตกตะกอนตั้งแต่วันที่ 2 จึงพิจารณาเป็นระยะเวลา 3 วัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเสถียรภาพในด้านการเกิดตะกอนน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม เนื่องจากไม่เกิดตะกอน ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การสังเกตการเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน

ตัวอย่าง	ตะกอน			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
น้ำกาวยางกระถิน	×	×	×	×
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	×	×	✓	✓
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	×	×	×	×

(✓ = เกิดตะกอน ; × = ไม่เกิดตะกอน)

- ด้านค่า pH

ศึกษาการเสียสภาพในด้านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำกาวด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำกาวยางกระถินมีค่า pH เท่ากับ 5 ตลอดระยะเวลา 3 วัน ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามมีค่า pH เท่ากับ 6 ในวันที่ 0 และเพิ่มเป็น 7 ในวันที่ 1 จากนั้นในวันที่ 2 และ 3 ค่า pH ลดลงเป็น 5 และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่า pH เท่ากับ 6 ตลอดระยะเวลา 3 วัน ดังนั้นพิจารณาการเสียสภาพในด้านค่า pH น้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม เนื่องจากค่า pH ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ผลแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่า pH ของน้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	pH			
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
น้ำกาวยางกระถิน	5.00	5.00	5.00	5.00
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	6.00	7.00	5.00	5.00
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	6.00	6.00	6.00	6.00

ข) การใช้เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน การตมกลิ่น และเครื่องวัด pH

โดยการตมกลิ่นเน่าเสีย การตกตะกอนด้วยการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยมีการใช้เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน และค่า pH ด้วยเครื่องวัด pH

- ด้านการตกตะกอน

ศึกษาการเสียสภาพในด้านการตกตะกอนของน้ำกาวโดยใช้เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน พบว่าจากการสังเกตในระยะเวลา 4 วัน น้ำกาวยางกระถินเกิดตะกอนตั้งแต่วันที่ 1 แต่เนื่องจากกาวยางกระถินไม่มีกลิ่นเน่าเสีย และค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเกิดตะกอนของน้ำกาวยางกระถินที่มาจากเหวี่ยงแตกต่างกับการตกตะกอนที่ตั้งทิ้งไว้ ซึ่งอาจไม่เกี่ยวกับการเสียสภาพของน้ำกาว ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามเกิดตะกอนในวันที่ 2 และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสเกิดตะกอนในวันที่ 3 ซึ่งผลการทดลองแตกต่างจากการสังเกตด้วยตาเปล่า เนื่องจากในการสังเกต น้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ไม่พบการตกตะกอนตลอดระยะเวลา 3 วัน ดังนั้นพิจารณาการเสียสภาพในด้านการตกตะกอน น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเกิดตะกอนช้าที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	การเกิดตะกอน				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
น้ำกาวยางกระถิน	x	✓	✓	✓	✓
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	x	x	✓	✓	✓
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	x	x	x	✓	✓

(✓ = เกิดตะกอน ; x = ไม่เกิดตะกอน)

- ด้านค่า pH

ศึกษาการเสถียรภาพของน้ำกาวในด้านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เครื่องวัด pH ในระยะเวลา 4 วัน พบว่าน้ำกาวยางกระถินมีค่า pH เท่ากับ 4.11 ในวันที่ 0 และในวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.20–4.30 ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามมีค่า pH เท่ากับ 6.03 ในวันที่ 0 และลดลงเป็น 5.84 ในวันที่ 1 จากนั้นในวันที่ 2, 3 และ 4 ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 4.13–4.61 และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่า pH เท่ากับ 7.62 ในวันที่ 0 ลดลงเป็น 6.62 ในวันที่ 1 ลดลงเป็น 5.92 ในวันที่ 2 จากนั้นในวันที่ 3 และ 4 ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 4.06–4.24 ซึ่งให้ผลการเปลี่ยนแปลงค่า pH แตกต่างจากการทดสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ ที่น้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่า pH คงที่เป็น 5 และ 6 ตลอดระยะเวลา 4 วัน ดังนั้นพิจารณาการเสถียรภาพในด้านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป น้ำกาวยางกระถิน ให้ผลดีกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ผลแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่า pH ของน้ำกาว

น้ำกาวตัวอย่าง	pH				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
น้ำกาวยางกระถิน	4.11	4.21	4.30	4.20	4.26
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	6.03	5.84	4.61	4.44	4.13
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	7.62	6.62	5.92	4.24	4.06

- ด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสีย

ศึกษาการเสียสภาพในด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสียด้วยการต้มกลั่นเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่า น้ำกายางกระถินเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 3 ส่วนน้ำกาวเมล็ดมะขามเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 2 และ น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 3 ดังนั้นพิจารณาการเสียสภาพในด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสีย น้ำกายางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม เนื่องจากเกิดกลิ่นเน่าเสียช้ากว่า ผลแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การเกิดกลิ่นเน่าเสียของน้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	การเกิดกลิ่นเน่าเสีย				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
น้ำกายางกระถิน	x	x	x	✓	✓
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	x	x	✓	✓	✓
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	x	x	x	✓	✓

(✓ = เกิดกลิ่นเน่าเสีย ; x = ไม่เกิดกลิ่นเน่าเสีย)

4.3.3 ผลทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวหลังจากสกัดลิพิดออกในด้านการเสียสภาพของน้ำกาวโดยใช้เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน การต้มกลั่น และเครื่องวัด pH

- ด้านการตกตะกอน

ศึกษาการเสียสภาพของน้ำกาวในด้านการเกิดตกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงตกตะกอน สังเกตในระยะเวลา 10 วัน พบว่าน้ำกาวเมล็ดมะขามหลังสกัดลิพิดเกิดตะกอนตั้งแต่วันที่ 3 และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิพิดเกิดตะกอนในวันที่ 7 ขณะที่น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนสกัดลิพิดตกตะกอนในวันที่ 3 ดังนั้นพิจารณาการเสียสภาพในด้านการเกิดตะกอนน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิพิดให้ผลดีที่สุด เนื่องจากเกิดตะกอนช้าที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การเกิดตะกอนของน้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	การเกิดตะกอน										
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
น้ำกาวเมล็ดมะขาม หลังสกัดลิกนิน	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส หลังสกัดลิกนิน	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	

(✓ = เกิดตะกอน ; x = ไม่เกิดตะกอน)

- ด้านค่า pH

ศึกษาการเสถียรภาพของน้ำกาวในด้านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่องวัด pH เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าน้ำกาวเมล็ดมะขามหลังสกัดลิกนินมีค่า pH เท่ากับ 8.33 ในวันที่ 0 และลดลงเป็น 6.38 ในวันที่ 1 จากนั้นในวันที่ 2 จนถึงวันที่ 10 ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 4.35-5.06 ยกเว้นวันที่ 7 มีค่า pH เท่ากับ 6.54 ส่วนน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิกนินมีค่า pH เท่ากับ 7.07 ในวันที่ 0 ลดลงเป็น 7.18 ในวันที่ 1 จากนั้นในวันที่ 2 จนถึงวันที่ 6 ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 6.16-6.79 และในวันที่ 7 ถึงวันที่ 9 ค่า pH ลดลงอยู่ในช่วง 4.59-4.96 ยกเว้นวันที่ 9 มีค่า pH เท่ากับ 6.78 ขณะที่น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนสกัดลิกนินมีค่า pH ลดลงเท่ากับ 4.24 ในวันที่ 3 หลังสกัดลิกนินมีค่า pH ลดลงเท่ากับ 4.96 ในวันที่ 7 ดังนั้นพิจารณาการเสถียรภาพในด้านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิกนินให้ผลดีที่สุด เนื่องจากค่า pH ของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสเกิดการเปลี่ยนแปลงช้า ผลแสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่า pH น้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	pH									
	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	6.03	5.84	4.61	4.44	4.13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
น้ำกาวเมล็ดมะขาม หลังสกัดลิวินิต	8.33	6.38	4.64	4.35	4.35	4.83	4.41	6.54	4.46	5.06
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	7.62	6.62	5.92	4.24	4.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส หลังสกัดลิวินิต	7.07	7.18	6.47	6.79	6.16	6.71	6.33	4.96	4.59	6.78

(n.d. = ไม่สามารถวัดได้)

- ด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสีย

ศึกษาการเสียสภาพในด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสียด้วยการต้มกลั่นเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่า น้ำกาวเมล็ดมะขามหลังสกัดลิวินิตเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 2 และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิวินิตเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 4 ขณะที่น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อนสกัดลิวินิตเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 3 หลังสกัดลิวินิตเกิดกลิ่นเน่าเสียในวันที่ 4 ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเนื่องจากลิวินิตสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ ทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นเหม็นหืน และรสที่ผิดปกติ (พรพิมล ม่วงไทย, 2554) นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสโดยแบคทีเรีย ดังนั้นพิจารณาการเสียสภาพในด้านการเกิดกลิ่นเน่าเสีย น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิวินิตให้ผลดีกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขามเนื่องจากเกิดกลิ่นเน่าเสียช้ากว่า จากการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การเกิดกลิ่นเน่าเสียของน้ำกาวในแต่ละวัน

น้ำกาวตัวอย่าง	การเกิดตะกอน										
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	วันที่ 8	วันที่ 9	
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
น้ำกาวเมล็ดมะขาม หลังสกัดลิกนิน	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส หลังสกัดลิกนิน	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(✓ = เกิดกลิ่นเน่าเสีย ; x = ไม่เกิดกลิ่นเน่าเสีย)

ตารางที่ 4.23 การเสถียรภาพของน้ำกาว

ตัวอย่างน้ำกาว	การเกิดตะกอน	ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลง	การเกิดกลิ่นเน่าเสีย
น้ำกาวยางกระถิน	เกิดตะกอนวันที่ 1	ค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลง	เกิดกลิ่นเน่าเสียวันที่ 3
น้ำกาวเมล็ดมะขาม	เกิดตะกอนวันที่ 2	ค่า pH เปลี่ยนแปลงสูง ในวันที่ 2	เกิดกลิ่นเน่าเสียวันที่ 2
น้ำกาวเมล็ดมะขาม หลังสกัดลิกนิน	เกิดตะกอนวันที่ 2	ค่า pH เปลี่ยนแปลงสูง ในวันที่ 2	เกิดกลิ่นเน่าเสียวันที่ 2
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส	เกิดตะกอนวันที่ 3	ค่า pH เปลี่ยนแปลงสูง ในวันที่ 3	เกิดกลิ่นเน่าเสียวันที่ 3
น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส หลังสกัดลิกนิน	เกิดตะกอนวันที่ 7	ค่า pH เปลี่ยนแปลงสูง ในวันที่ 7	เกิดกลิ่นเน่าเสียวันที่ 4

จากการศึกษาการเสถียรภาพของน้ำกาวพบว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิกนินมีอายุการใช้งานนานที่สุดโดยมีค่า pH เปลี่ยนแปลงช้าที่สุด เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเข้าไปย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสชนิดไซโลกลูแคนได้ โดยส่วนใหญ่แล้วการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสชนิดไซโลกลูแคนของแบคทีเรีย สามารถเกิดได้ 3 แบบ คือ 1. สายโซ่ข้างจะโดนย่อยสลายก่อน จากนั้นจึงย่อยสลายส่วนที่เป็นสายโซ่หลัก 2. สายโซ่หลักจะโดนย่อยสลายกลายเป็น โอลิโกแซ็กคาไรด์สายเล็กๆ โดยที่ยังมีสายโซ่ข้างเชื่อมต่ออยู่ 3. มีการย่อยสลายสายโซ่หลักเป็น โอลิโกแซ็กคาไรด์สายเล็กๆ โดยยังมีสายโซ่ข้างเชื่อมต่ออยู่ และมีส่วนที่สายโซ่ข้างโดนย่อยสลายเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยแบคทีเรียที่พบ เช่น *Bacteroides spp.*, *Bifidobacterium spp.* และ *Clostridium spp.* (Hartemink, Van Laere, Mertens, & Rombouts, 1996) นอกจากนี้แบคทีเรียจะย่อยสารโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิกนิน ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก จากนั้นสารเหล่านี้จะถูกนำไปสร้างเป็นกรดอินทรีย์ต่อไป โดยกรดที่พบมากที่สุดคือกรดอะซิติกจึงทำให้ค่า pH ลดลง (ธนพร วิชัย และ วรรัตน์ ปัตตประกร, 2554) ดังนั้นเมื่อสกัดโปรตีน และลิกนินออกจึงทำให้แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกได้น้อยลง ค่า pH ของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสจึงเปลี่ยนแปลงช้ากว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม ซึ่งการที่ pH ลดต่ำลงทำให้ค่า pH เท่ากับจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) คือจุดที่ประจุรวมของโปรตีนเป็นศูนย์ ทำให้ประจุดูดเข้าหากันโปรตีนจึงตกตะกอนลงมา (วรรณภา เอี่ยมอาจ, 2557) เมื่อมีปริมาณโปรตีนน้อยลงจึงทำให้น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสตกตะกอนช้าสุด นอกจากนี้ยังเกิดกลิ่นเน่าเสียช้าที่สุดเนื่องจากการสกัดโปรตีนออก โดยโปรตีนจะถูกแบคทีเรียสร้างเอนไซม์ไปย่อยสลายโมเลกุลของโปรตีนหรือกรดอะมิโน ทำให้เกิดเป็นสารที่ระเหยได้ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulphide) ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสีย (Wungkobkiat & Kuntiya, 2012) เมื่อสกัดโปรตีนออกไปจึงช่วยให้เกิดกลิ่นเน่าเสียได้ช้าลง โดยปกติน้ำกาวเมล็ดมะขามไม่สามารถเก็บรักษาได้เกินหนึ่งวันที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิกนินสามารถเก็บรักษาได้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นเมื่อน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิกนินเตรียมเป็นน้ำกาวสามารถเตรียมได้ในปริมาณมาก โดยที่เก็บรักษาไว้ใช้ได้เป็นระยะเวลา 7 วัน ช่วยให้ประหยัดเวลาในการเตรียมน้ำกาว

4.3.4 ผลทดสอบคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา

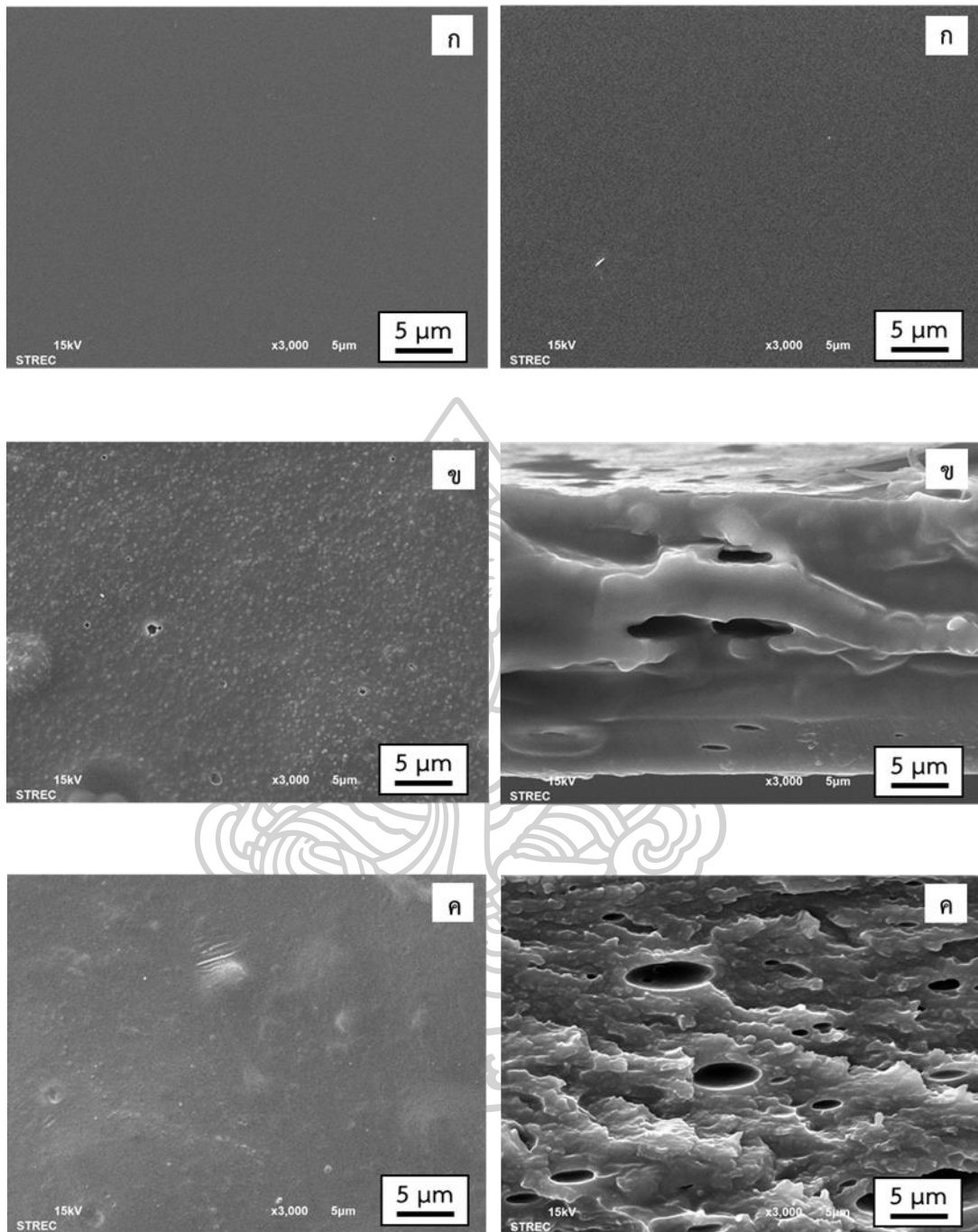
เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบริเวณ Surface และ Cross section ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำกาวแต่ละชนิด รวมทั้งชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวแต่ละชนิดด้วยเครื่อง SEM

ก) แผ่นฟิล์ม เตรียมที่ความเข้มข้นของน้ำกาว 2.00 %(w/v) และที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

แผ่นฟิล์มน้ำกาวเตรียมที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) พบว่าบริเวณของ Surface แผ่นฟิล์มน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.1 (ซ้าย, ก)) มีผิวที่เรียบเนียน ในขณะที่แผ่นฟิล์มน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.1 (ซ้าย, ข)) และแผ่นฟิล์มน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.1 (ซ้าย, ค)) มีผิวขรุขระแต่ยังไม่สามารถบอกความแตกต่างของแผ่นฟิล์มได้มากนัก บริเวณ Cross section สังเกตเห็นความแตกต่างของแผ่นฟิล์มอย่างชัดเจน โดยที่แผ่นฟิล์มน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.1 (ขวา, ก)) มีผิวที่เรียบเนียนไม่มีรูพรุน แผ่นฟิล์มน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.1 (ขวา, ข)) และแผ่นฟิล์มน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.1 (ขวา, ค)) สังเกตเห็นรูพรุน โดยแผ่นฟิล์มน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส มีจำนวนรูพรุนมากที่สุด ดังนั้นน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีคุณสมบัติ ดีกว่าน้ำกาวยางกระถินในด้านของรูพรุน เนื่องจากอาจช่วยในการผ่านเข้าออกของน้ำ และความชื้นได้ดี



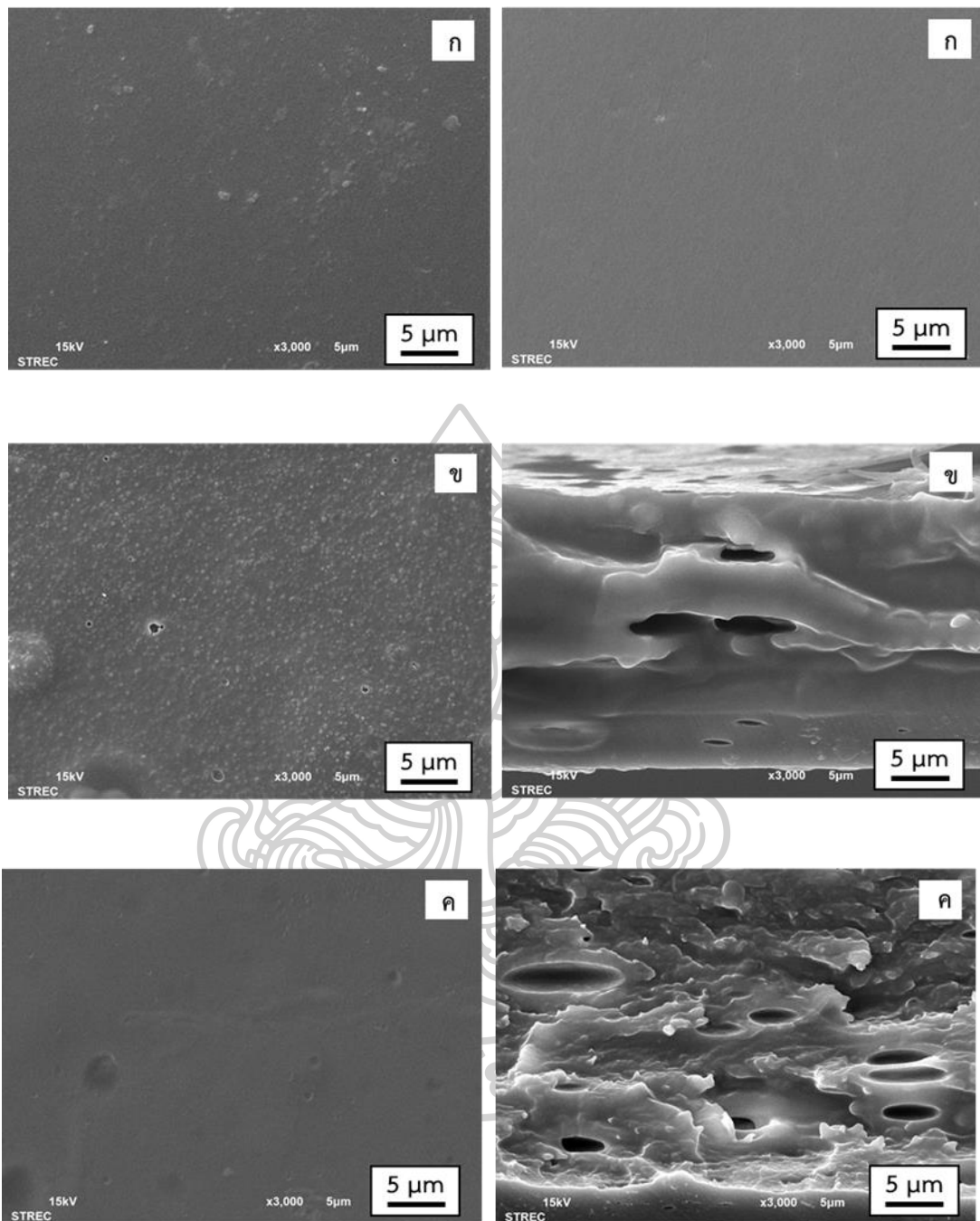


รูปที่ 4.1 SEM images กำลังขยาย 3,000x บริเวณ Surface (ซ้าย), Cross section (ขวา) ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้น 2.00 %(w/v) โดย (ก) กาวยางกระถิน (ข) กาวเม็ล็ดมะขาม และ (ค) กาวเฮมิเซลลูโลส

แผ่นฟิล์มน้ำกาวเตรียมที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง พบว่า Surface แผ่นฟิล์มน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.2 (ซ้าย, ก)) มีผิวที่เรียบเนียน ในขณะที่แผ่นฟิล์มน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.2 (ซ้าย, ข)) และแผ่นฟิล์มน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.2 (ซ้าย, ค)) มีผิวขรุขระแต่ยังไม่สามารถบอกความแตกต่างของแผ่นฟิล์มได้มากนัก บริเวณ Cross section สังเกตเห็นความแตกต่างของแผ่นฟิล์มอย่างชัดเจน โดยแผ่นฟิล์มน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.2 (ขวา, ก)) มีผิวที่เรียบเนียนไม่มีรูพรุน ส่วนแผ่นฟิล์มน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.2 (ขวา, ข)) และแผ่นฟิล์มน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.2 (ขวา, ค)) สังเกตเห็นรูพรุน เหมือนภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) ดังนั้นน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ให้ผลดีกว่าน้ำกาวยางกระถินในด้านของรูพรุน ซึ่งคาดว่าจะช่วยในการผ่านเข้าออกของน้ำ และความชื้นทำให้จิตรกรรมบนชั้นรองพื้นไม่แตก หรือหลุดร่อนจากการที่มีความชื้นผ่านออกมา และคาดว่าจะช่วยให้สีที่ทาบนชั้นรองพื้นแห้งได้เร็วขึ้น





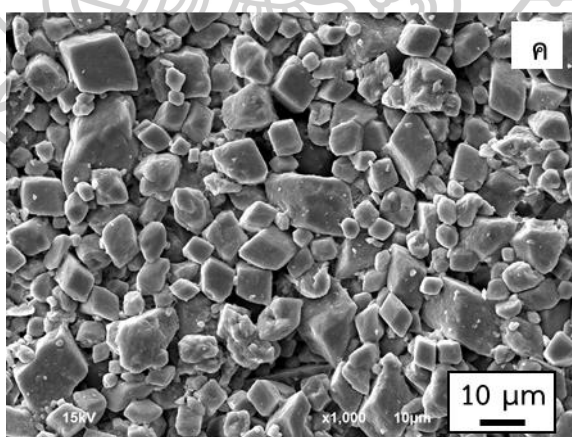
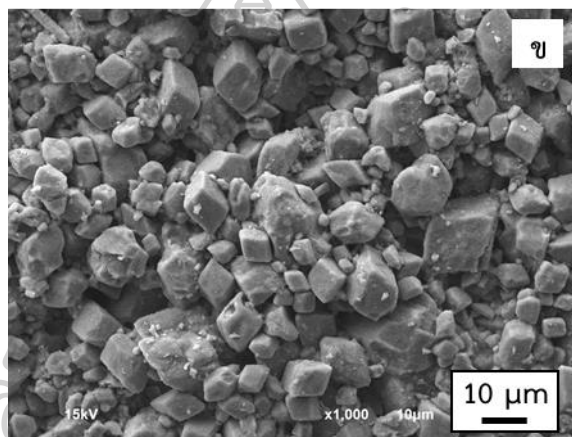
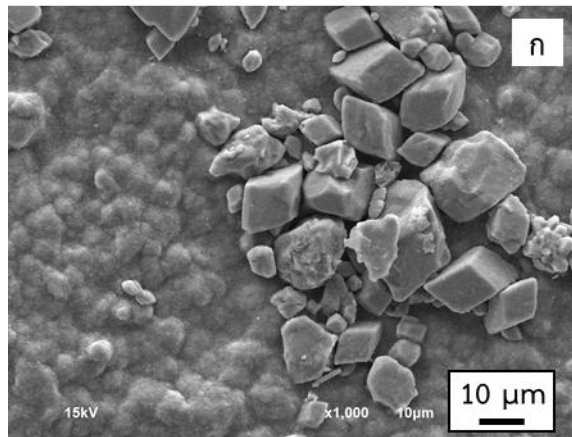
รูปที่ 4.2 SEM images กำลังขยาย 3,000x บริเวณ Surface (ซ้าย), Cross section (ขวา) ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง โดย (ก) กาวยางกระถิน (ข) กาวเมล็ดมะขาม และ (ค) กาวเฮมิเซลลูโลส

ข) ชั้นรองพื้นจากดินสอพองผสมน้ำกาว โดยเตรียมที่ความเข้มข้นของน้ำกาวที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) และความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

ชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v)

ลักษณะทางสีฐานวิทยาของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) พบว่าบริเวณ Surface ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.3 (ก)) เห็นการยึดอนุภาคของดินสอพองติดเป็นแผ่นเดียวกัน ไม่มีลักษณะของรูพรุน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของกาวยางกระถินน้อยเกินไป จึงทำให้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างชั้นรองพื้นนั้นน้ำกาวยางกระถินลอยขึ้นมาบนผิวของดินสอพอง และอาจยึดอนุภาคของดินสอพองให้เชื่อมเป็นแผ่นเดียวกัน ส่วนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.3 (ข)) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.3 (ค)) เห็นอนุภาคของดินสอพองติดกันอย่างสม่ำเสมอ และมองเห็นรูพรุนระหว่างอนุภาคของดินสอพองอย่างไรก็ตามไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสองชนิดได้ ดังนั้นน้ำกาวยางกระถินจึงอาจมีประสิทธิภาพด้อยที่สุดในด้านการดูดซับสีบนชั้นรองพื้น และการระบายความชื้นเนื่องจากไม่มีรูพรุนให้สีซึมผ่านเข้าไป และความชื้นไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ ในขณะที่น้ำกาวเมล็ดมะขามและน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส มีรูพรุนมาก ซึ่งจะช่วยในการดูดซับสี และทำให้การผ่านเข้าออกของความชื้นในชั้นรองพื้นเกิดได้ดี



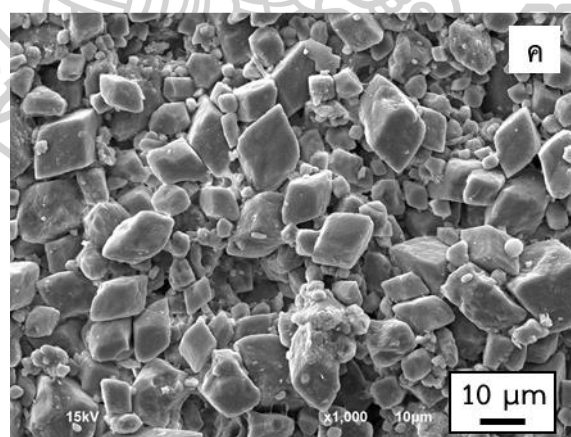
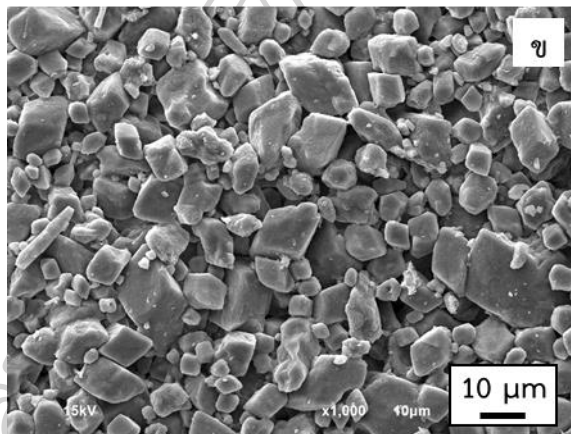
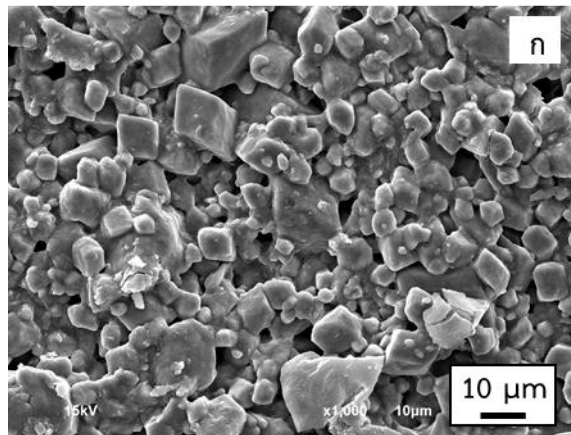


รูปที่ 4.3 SEM images กำลังขยาย 1000x บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวความเข้มข้น 2.00 %(w/v) โดย (ก) กาวยางกระถิน (ข) กาวเมล็ดมะขาม และ (ค) กาวเฮมิเซลลูโลส

ชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้นทีเตรียมจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง พบว่าบริเวณ Surface ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.4 (ก))เห็นการยึดอนุภาคของดินสอพองเรียงติดเป็นกลุ่มก้อน เมื่อเทียบกับชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.4 (ข)) และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.4 (ค)) ซึ่งอนุภาคของดินสอพองไม่ยึดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสได้เช่นเดียวกับผลชั้นรองพื้นทีเตรียมจากน้ำกาวที่ความเข้มข้น 2.00 % (w/v) ดังนั้นชั้นรองพื้นทีเตรียมจากน้ำกาวยางกระถินจึงอาจมีประสิทธิภาพด้อยกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ในด้านการดูดซับสี และการผ่านเข้าออกของความชื้นในชั้นรองพื้น





รูปที่ 4.4 SEM images กำลังขยาย 1,000x บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นเตรียมจากกาวยชนิด
ต่างๆ ที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริง โดย (ก) กาวยางกระถิน
(ข) กาวเมล็ดมะขาม และ (ค) กาวเฮมิเซลลูโลส

4.4 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของยางกระถิน เมล็ดมะขาม และเฮมิเซลลูโลสโดยการหาปริมาณโปรตีน และลิพิด

ศึกษาปริมาณโปรตีน และลิพิดของกาวแต่ละชนิด โดยจะทำการทดสอบหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl และหาปริมาณลิพิดด้วยการ Reflux

4.4.1 ผลทดสอบปริมาณโปรตีน

การศึกษาปริมาณโปรตีนในผงยางกระถิน ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส พบว่าผงยางกระถินมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1.75-1.87 % (w/w) ในผงเมล็ดมะขามมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 15.50-16.60 % (w/w) โดยปริมาณโปรตีนในผงเมล็ดมะขาม จากงานวิจัยนี้ได้ผลใกล้เคียงกับที่มีผู้รายงานไว้ที่ 17.50 % (w/w) (พอใจ ถามากร, 2556) ส่วนในผงเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3.04-3.68 % (w/w) เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดมีการเติมเอทานอลลงไปซึ่งเฮมิเซลลูโลสไม่ละลายในเอทานอลจึงทำให้มีแค่เฮมิเซลลูโลสที่ถูกสกัดออกมา ดังนั้นในขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขามสามารถกำจัดปริมาณโปรตีนได้เท่ากับ 87.94-89.46 % ซึ่งเป็นการยืนยันว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสน่าจะมีอายุการใช้งานนานกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม เนื่องจากเมื่อปริมาณโปรตีนลดลงทำให้การเจริญเติบโตของของแบคทีเรีย และเชื้อราลดลงไปด้วย ผลแสดงดังตารางที่ 4.24



ตารางที่ 4.24 ปริมาณโปรตีนของผงยางกระถิน

การทดสอบ	ปริมาณโปรตีน (% (w/w))	%RSD
ผงยางกระถิน		
แบบต่างวันกัน	1.87 ± 0.08	4.04
แบบวันเดียวกัน	1.75 ± 0.26	14.60
ผงเมล็ดมะขาม		
แบบต่างวันกัน	15.50 ± 1.33	8.57
แบบวันเดียวกัน	16.60 ± 0.95	5.75
ผงเฮมิเซลลูโลส		
แบบต่างวันกัน	3.68 ± 0.45	12.30
แบบวันเดียวกัน	3.04 ± 0.06	1.81

n = 3

4.4.2 ผลทดสอบปริมาณลิกิต

ศึกษาปริมาณลิกิตในผงยางกระถิน ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส พบว่าผงยางกระถิน มีปริมาณลิกิตเท่ากับ 0.22 % (w/w) ในผงเมล็ดมะขามมีปริมาณลิกิตเท่ากับ 7.17 % (w/w) โดยได้ผลใกล้เคียงกับที่มีผู้รายงานไว้ที่ 7.10 % (w/w) (Sinchaiyakit & Suttajit, 2011) ส่วนในผงเฮมิเซลลูโลสมีปริมาณลิกิตเท่ากับ 2.13 % (w/w) ดังนั้นในขั้นตอนการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเมล็ดมะขามสามารถกำจัดปริมาณลิกิตได้เท่ากับ 70.29 % ซึ่งจะช่วยให้เฮมิเซลลูโลสละลายในน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ผลแสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ปริมาณลิพิดของผงยางกระถิน ผงเมล็ดมะขาม และผงเฮมิเซลลูโลส

ตัวอย่าง	ปริมาณลิพิด (% w/w)	%RSD
ผงยางกระถิน	0.22 ± 0.01	5.23
ผงเมล็ดมะขาม	7.17 ± 0.25	3.49
ผงเฮมิเซลลูโลส	2.13 ± 0.05	2.12

n = 3

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสีบนชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้นที่เตรียมจากกาวยางกระถิน กาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลส

ศึกษา และเปรียบเทียบสีของชั้นรองพื้น สีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น การยึดเกาะ และการทนรอยขีดขูดของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด

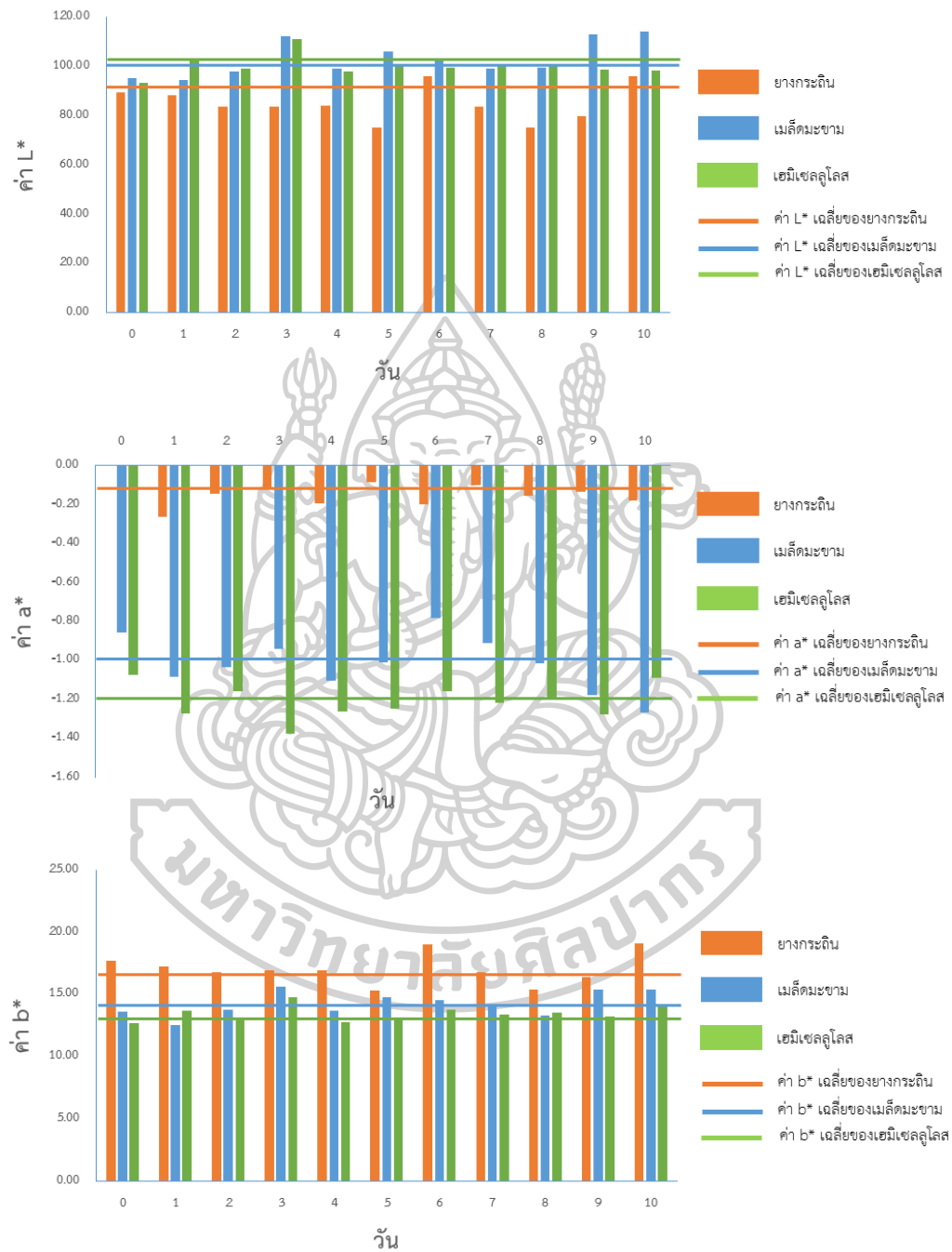
4.5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านสี และความคงทนของสีต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น

โดยบันทึกผลเป็นแผนภูมิแท่งของค่าสี L^* a^* b^* ซึ่งได้จากเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 60

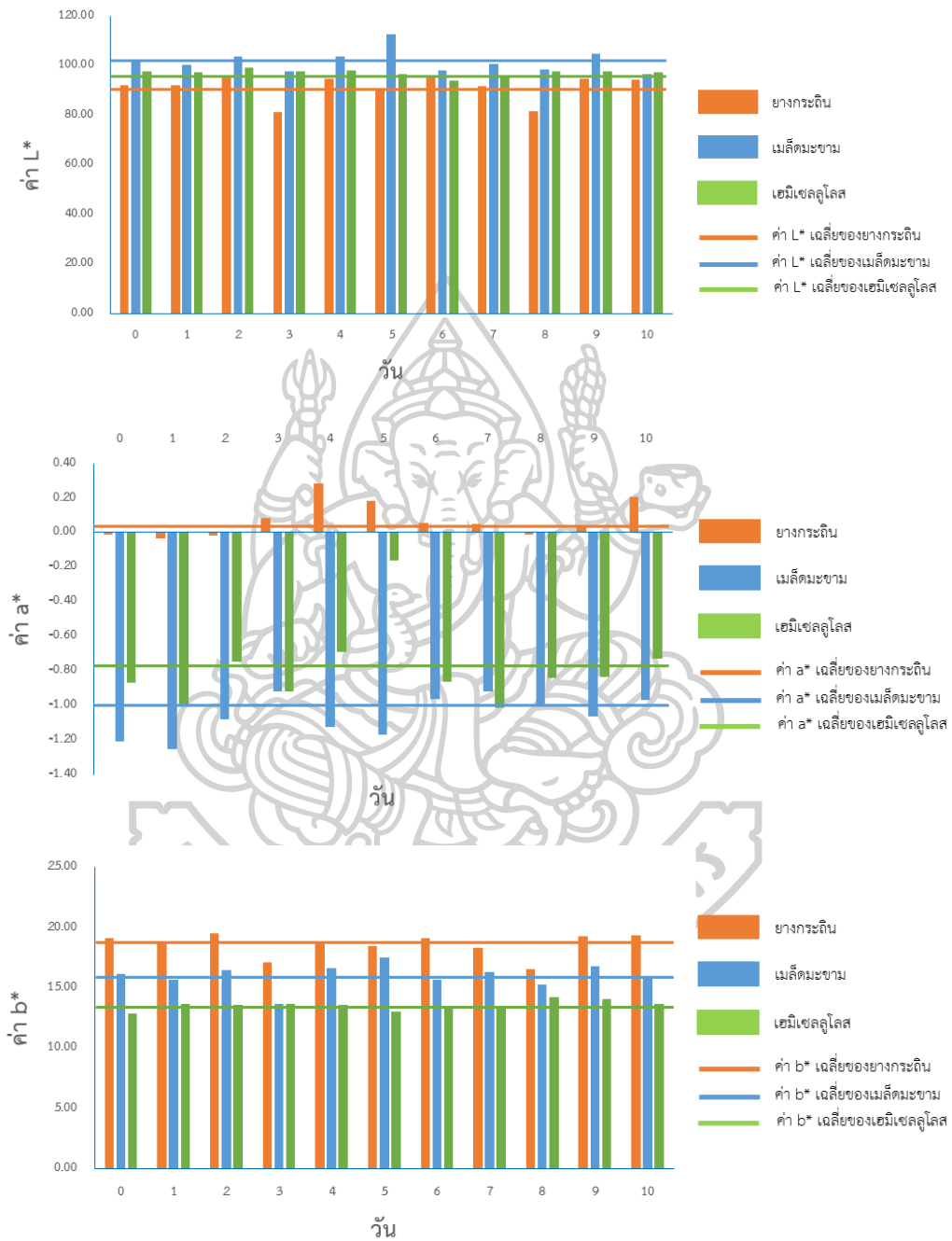
ก) ผลการทนต่อสภาวะปกติ

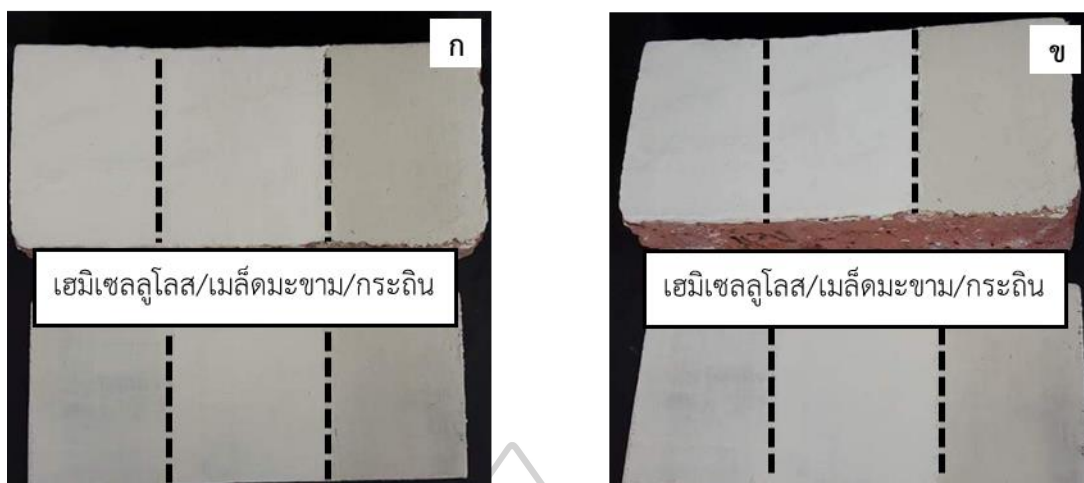
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นรองพื้นทีสภาวะอุณหภูมิห้อง ในระยะเวลา 10 วัน ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระถิน, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) ที่ทาบนก้อนอิฐ (รูปที่ 4.6) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 84.97, 103.04 และ 99.91 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ -0.14, -1.02 และ -1.21 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 17.05, 14.23 และ 13.47 ตามลำดับ และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.6) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 91.37, 101.71 และ 97.14 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 0.76, -1.06 และ -0.79 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 18.60, 16.02 และ 13.58 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าค่า L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดไม่พบการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสีของชั้นรองพื้นทีเตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด มีความทนอุณหภูมิที่สภาวะปกติ แสดงดังกราฟที่ 4.5 และ 4.6

กราฟที่ 4.5 ค่าสี L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะปกติ



กราฟที่ 4.6 ค่าสี L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ

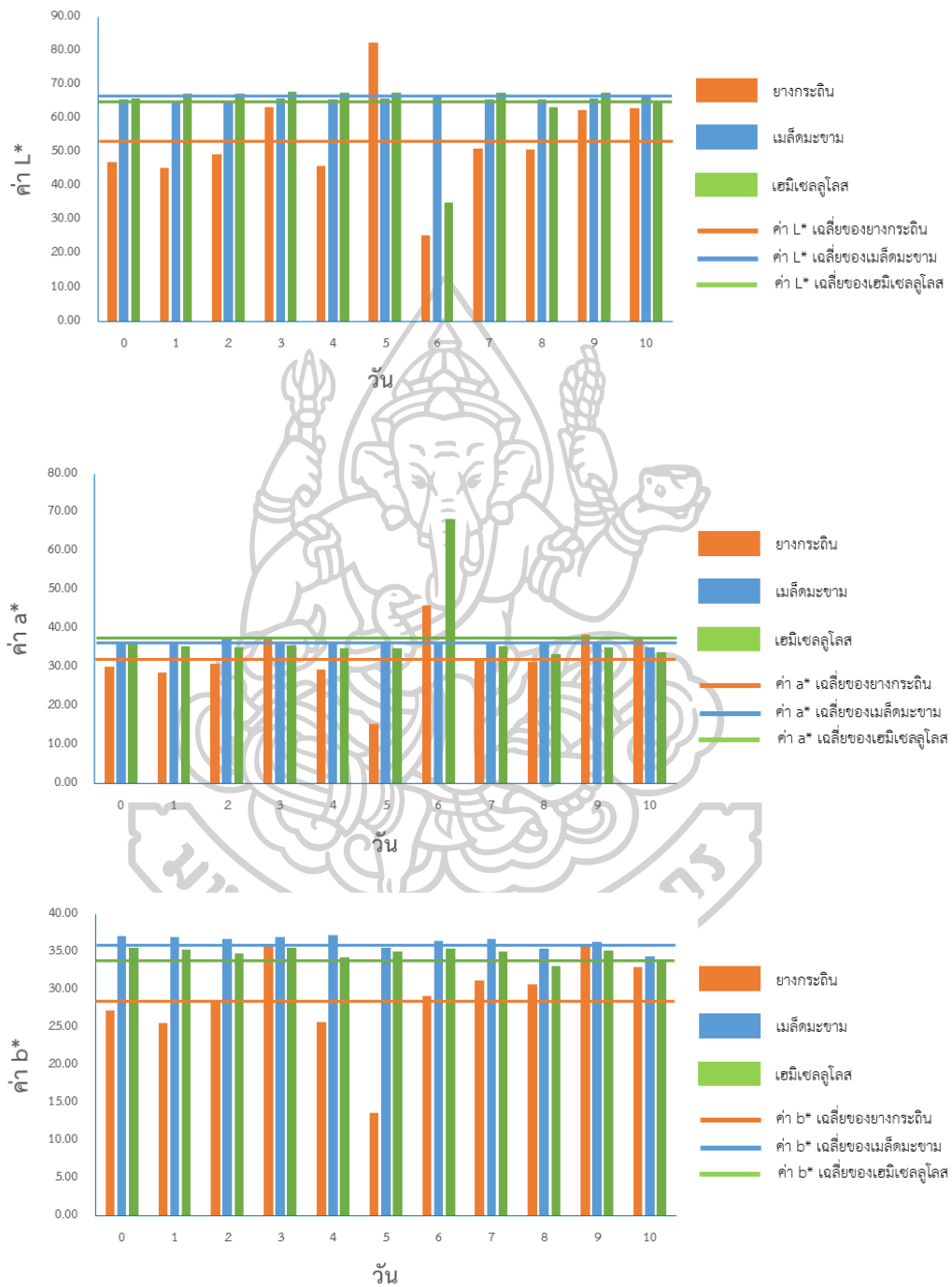




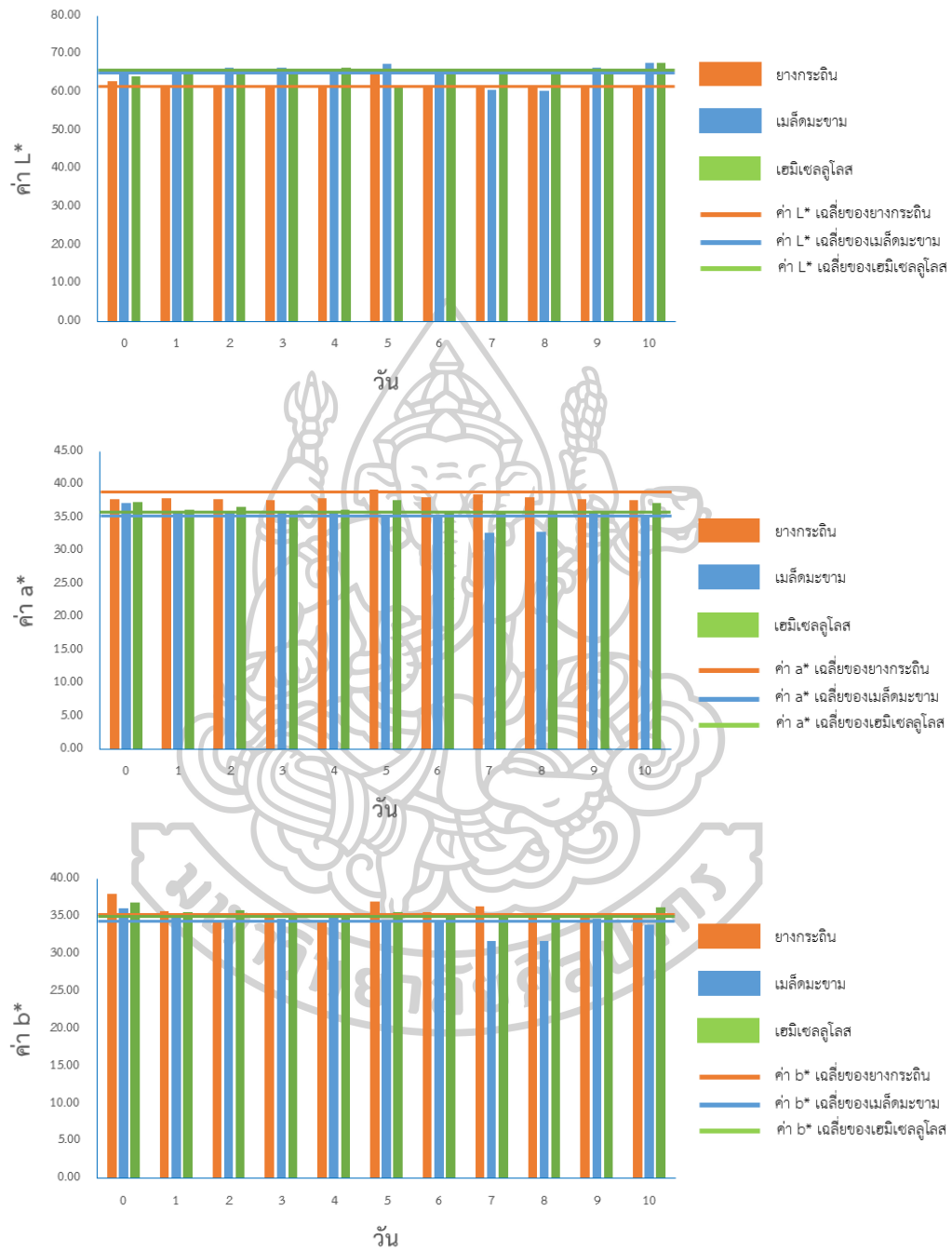
รูปที่ 4.5 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะปกติ โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

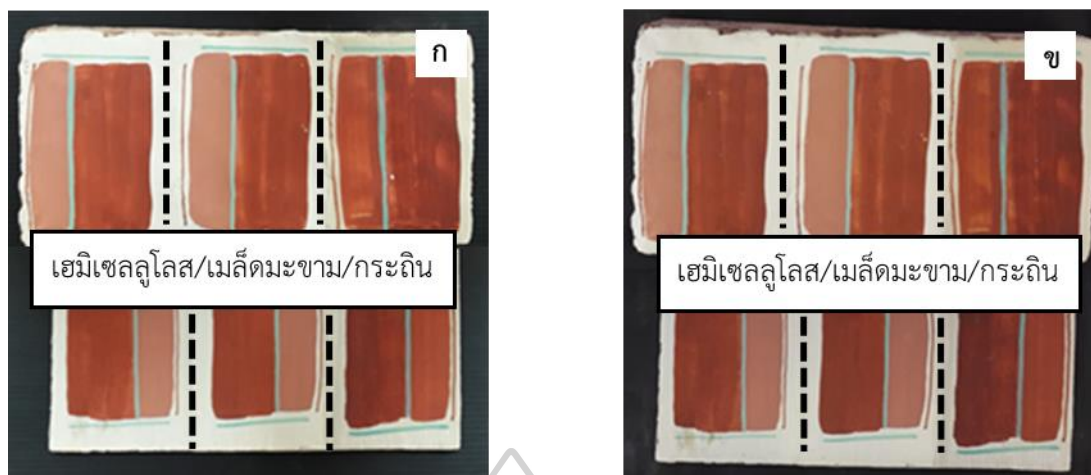
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ในระยะ 10 วัน ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระถิน, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) สีฝุ่นที่ทาบนก้อนอิฐ (รูปที่ 4.6) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 53.39, 65.83 และ 63.89 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 32.48, 36.41 และ 38.13 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 28.80, 36.40 และ 34.85 ตามลำดับ และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.6) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 62.04, 65.42 และ 65.61 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 38.07, 35.22 และ 36.49 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 35.48, 34.14 และ 35.54 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าค่า L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดไม่พบการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด มีความทนอุณหภูมิที่สภาวะปกติ แสดงดังกราฟที่ 4.7 และ 4.8

กราฟที่ 4.7 ค่าสี L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะปกติ



กราฟที่ 4.8 ค่าสี L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ





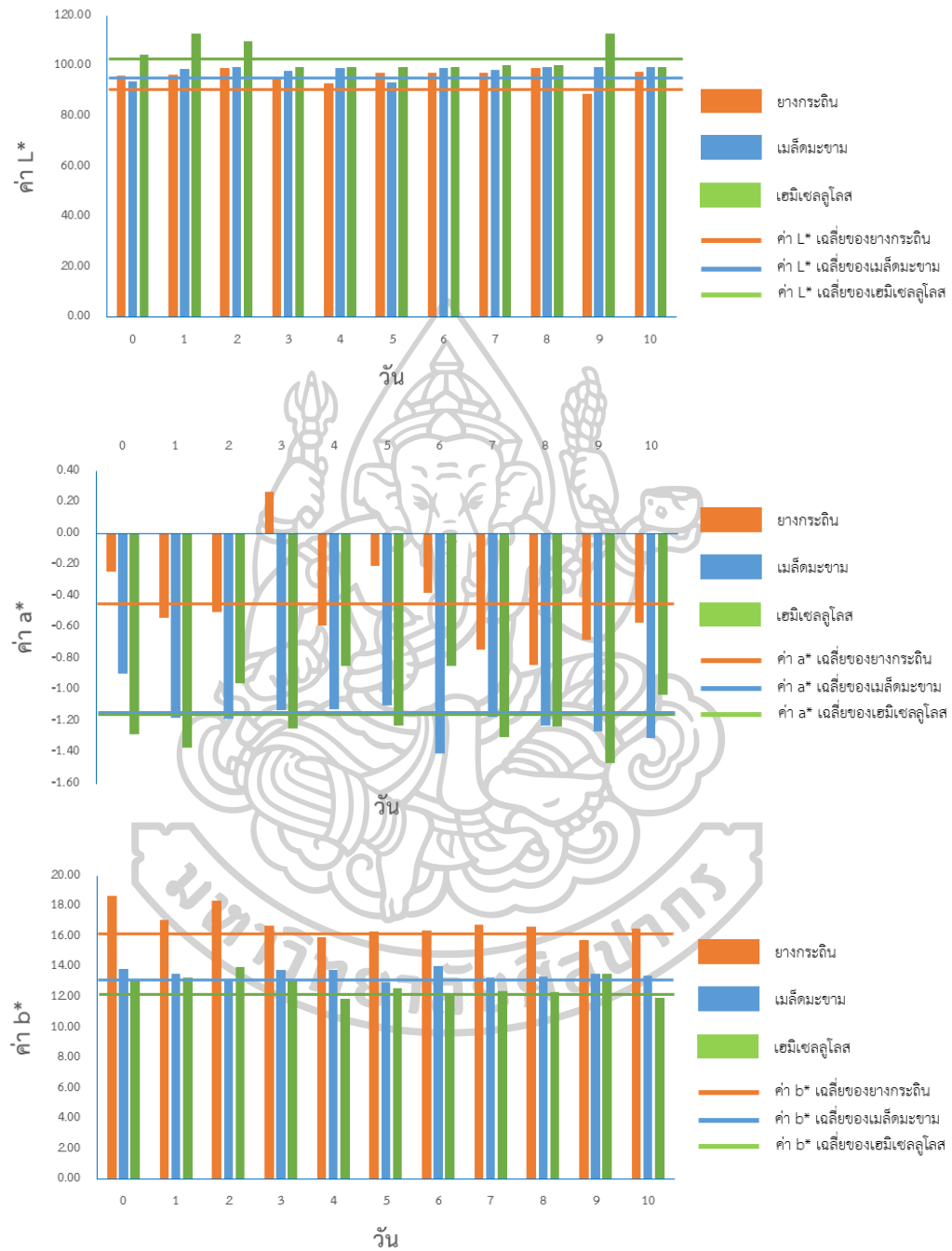
รูปที่ 4.6 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะปกติ โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

ข) ผลการทดสอบ

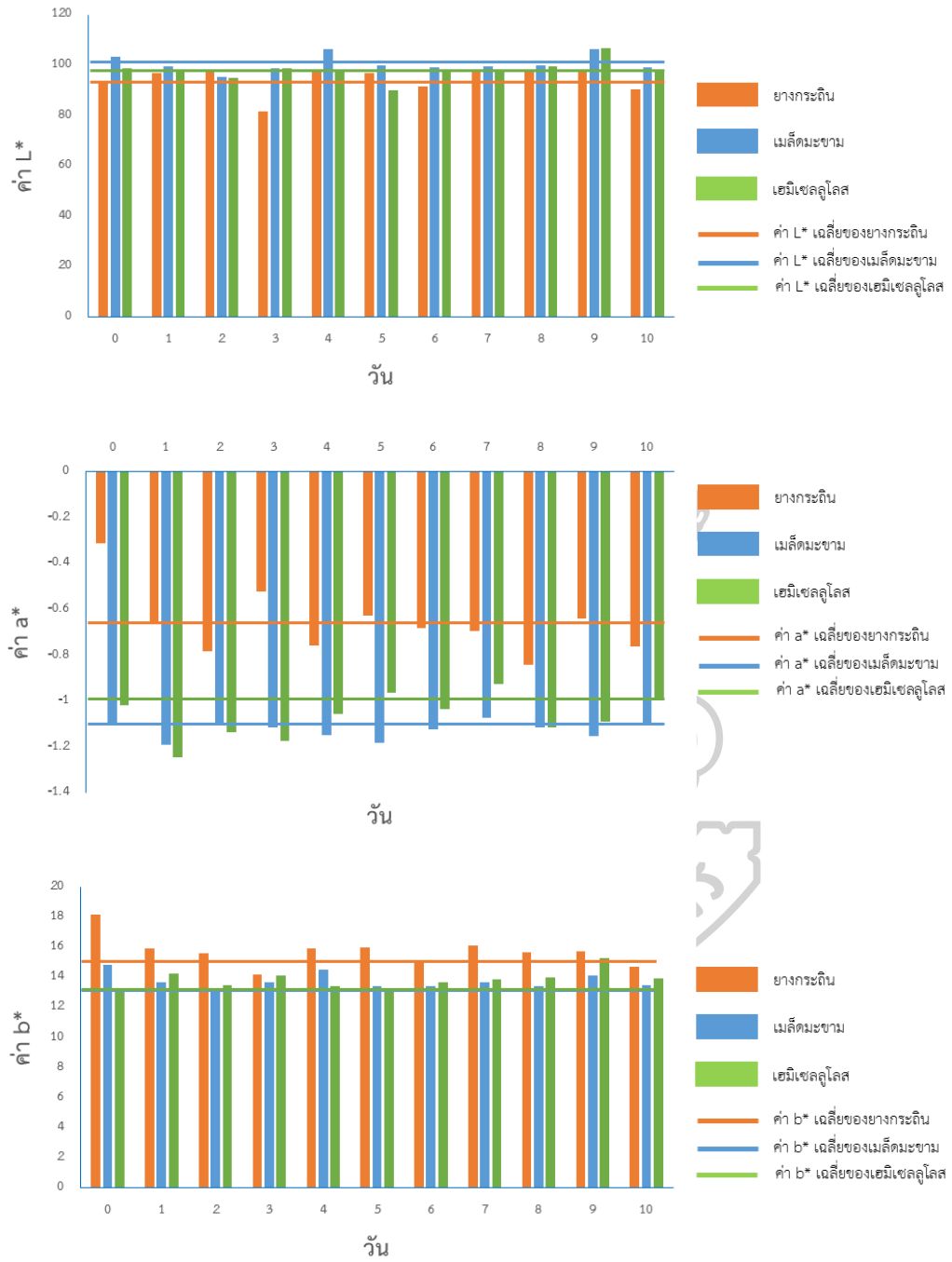
1) แสงแดด

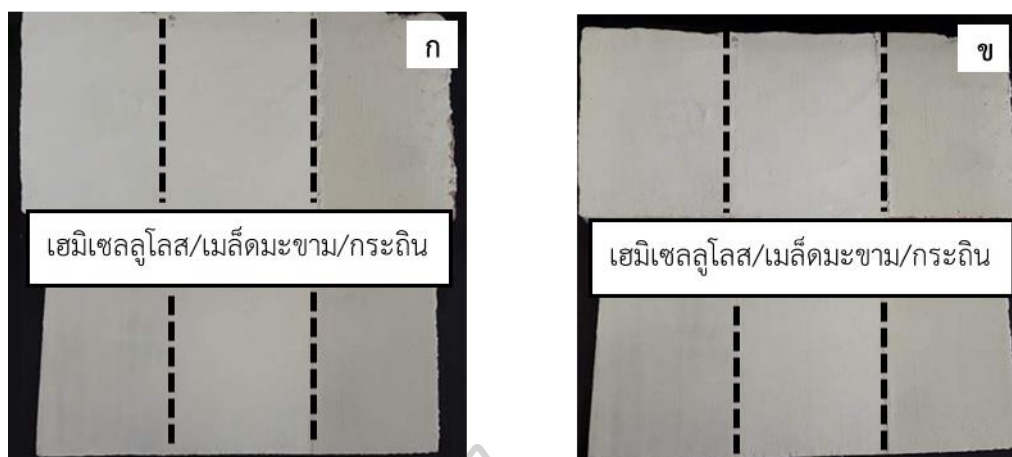
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นรองพื้นที่มีสภาวะเร่ง (แสงแดด) ในระยะเวลา 10 วัน ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระถิน, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) ที่ทำบนก้อนอิฐ (รูปที่ 4.7) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 96.24, 98.25 และ 103.57 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ -0.46, -1.18 และ -1.17 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 16.85, 13.55 และ 12.80 ตามลำดับ และชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.7) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ -0.66, -1.13 และ -1.07 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 15.73, 13.75 และ 13.85 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 94.43, 100.58 และ 97.95 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟค่า a^* ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินเริ่มไปทางลบมากขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 7 แสดงว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินมีสีจางลง ส่วนค่า L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่เตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีคุณสมบัติการทนต่อแสงดีกว่าน้ำกาวยางกระถิน แสดงดังกราฟที่ 4.9 และ 4.10

กราฟที่ 4.9 ค่าสี L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะแสงแดด



กราฟที่ 4.10 ค่าสี L* a* b* ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะแสงแดด

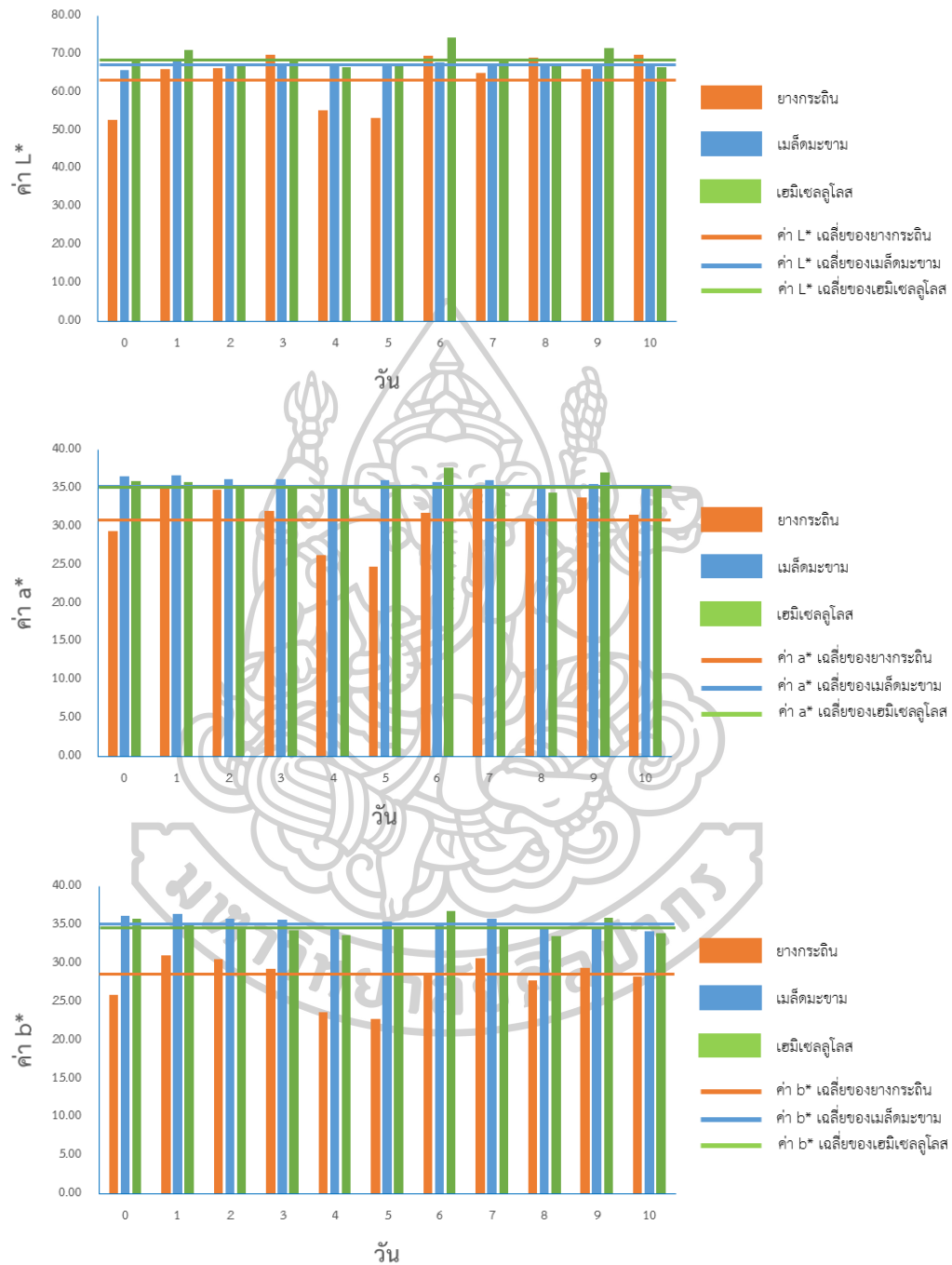




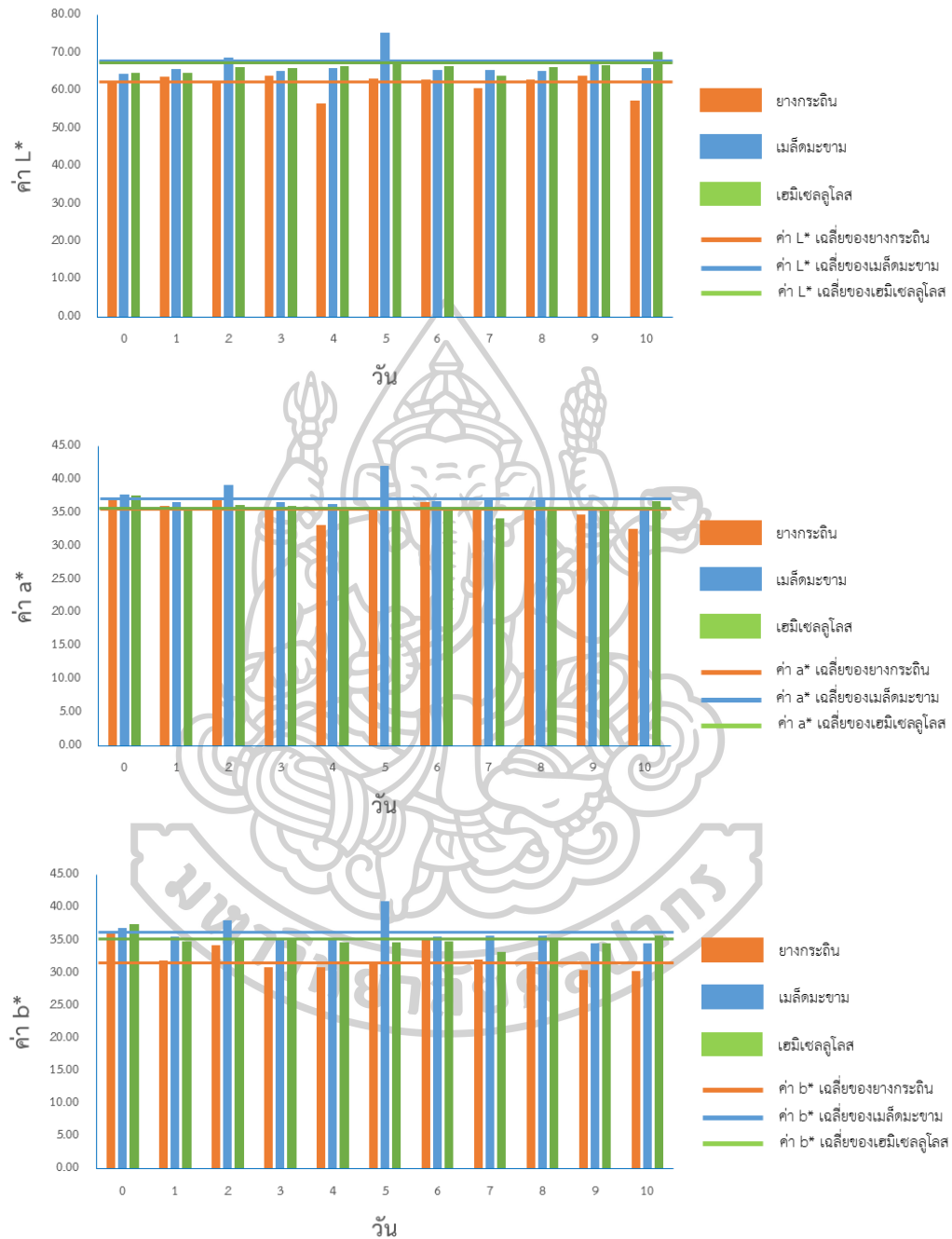
รูปที่ 4.7 ชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะแสงแดด โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

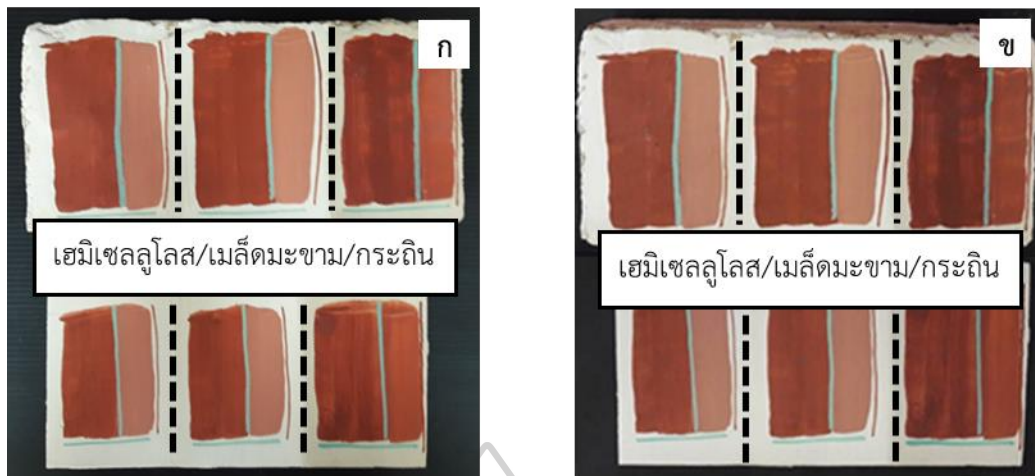
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่สภาวะเร่ง (แสงแดด) ในระยะเวลา 10 วัน สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระถิน, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) ที่ทาบนก้อนอิฐตั้งแต่ (รูปที่ 4.8) แต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 63.98, 67.38 และ 68.79 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 31.39, 35.88 และ 35.61 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 28.02, 35.31 และ 34.82 มีค่า ตามลำดับ และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.8) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 61.92, 66.88 และ 66.29 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 35.38, 37.37 และ 35.93 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 32.34, 36.22 และ 35.09 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดไม่พบการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด มีความทนต่อแสงแดด แสดงดังกราฟที่ 4.11 และ 4.12

กราฟที่ 4.11 ค่าสี L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะแสงแดด



กราฟที่ 4.12 ค่าสี L* a* b* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะแสงแดด

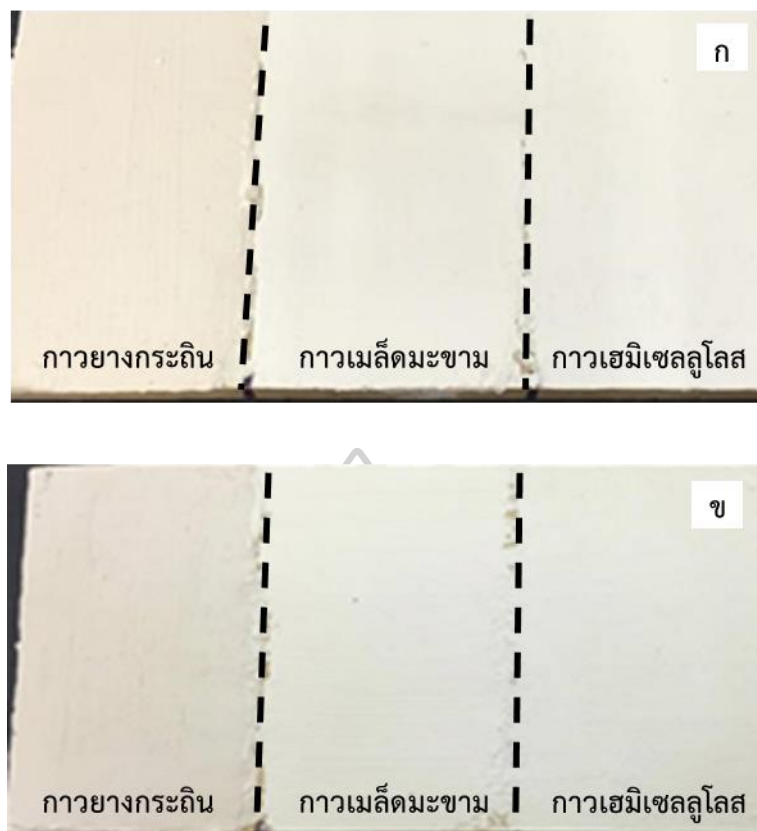




รูปที่ 4.8 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะแสงแดด โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

2) Suntest

ผลการทดสอบความคงทนของสีชั้นรองพื้นจากน้ำกาวชนิดต่างๆ ต่อแสงจากเครื่อง Suntest ที่ความเข้มแสง 400 W/m^2 เป็นเวลา 40 ชั่วโมง พบว่าสีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเชลลูโลสไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อสัมผัสกับแดดด้วยตาเปล่า และไม่พบการหลุดลอกของชั้นรองพื้น ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิด มีความสามารถในการทนต่อแสงจากเครื่อง Suntest เท่ากัน ผลแสดงดังรูปที่ 4.9



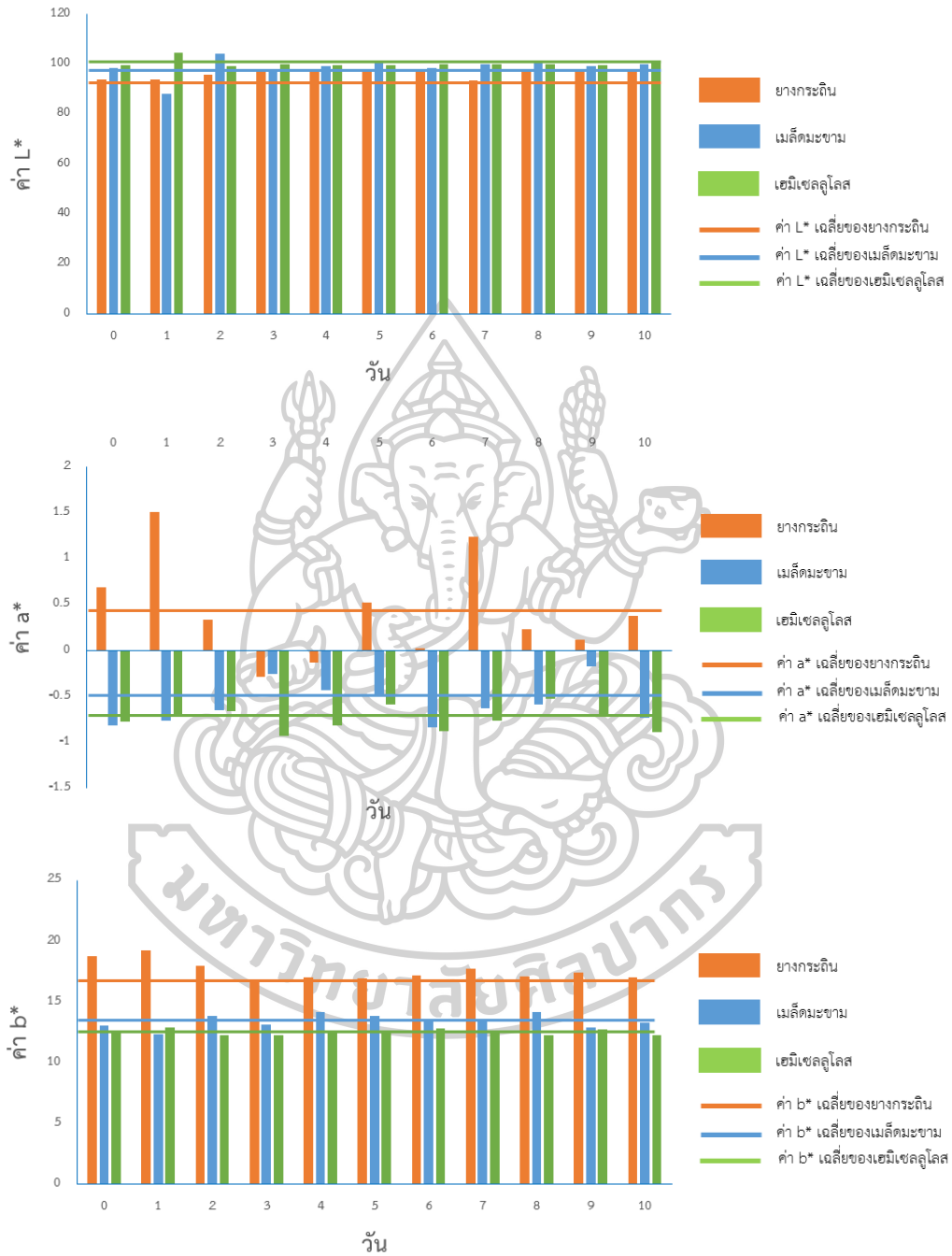
รูปที่ 4.9 ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดบนแผ่นไม้ที่ให้แสงด้วยเครื่อง Suntest โดย (ก) ก่อนการทดสอบ และ (ข) หลังการทดสอบ

ค) ผลการทนต่อความร้อน

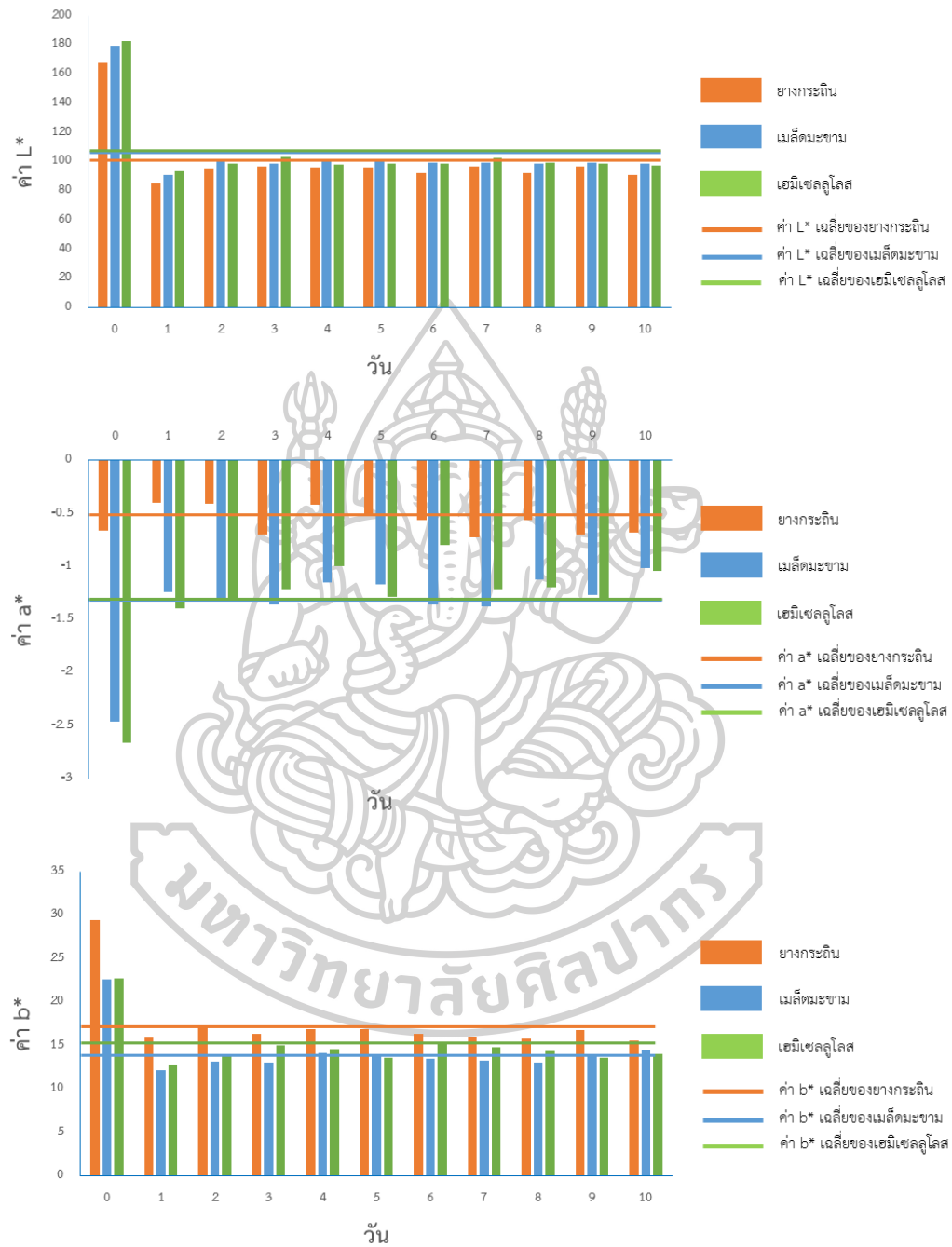
1) ตู้อบ

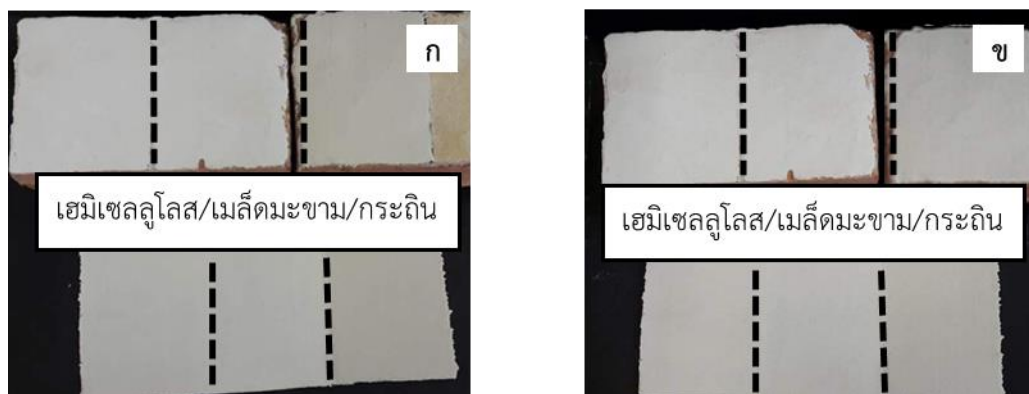
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นรองพื้นที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C) ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระถิน, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) ที่ทาบนก้อนอิฐ (รูปที่ 4.10) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 95.83, 98.59 และ 100.06 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 0.42, -0.58 และ -0.75 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 17.54, 13.41 และ 12.48 ตามลำดับ และที่ทาบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.10) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 100.56, 106.01 และ 100.49 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ -0.57, -1.35 และ -1.31 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 17.58, 14.30 และ 14.97 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟค่า L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสีบนชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด มีความทนต่อความร้อน แสดงดังกราฟที่ 4.13 และ 4.14

กราฟที่ 4.13 ค่าสี L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)



กราฟที่ 4.14 ค่าสี L* a* b* ของชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)

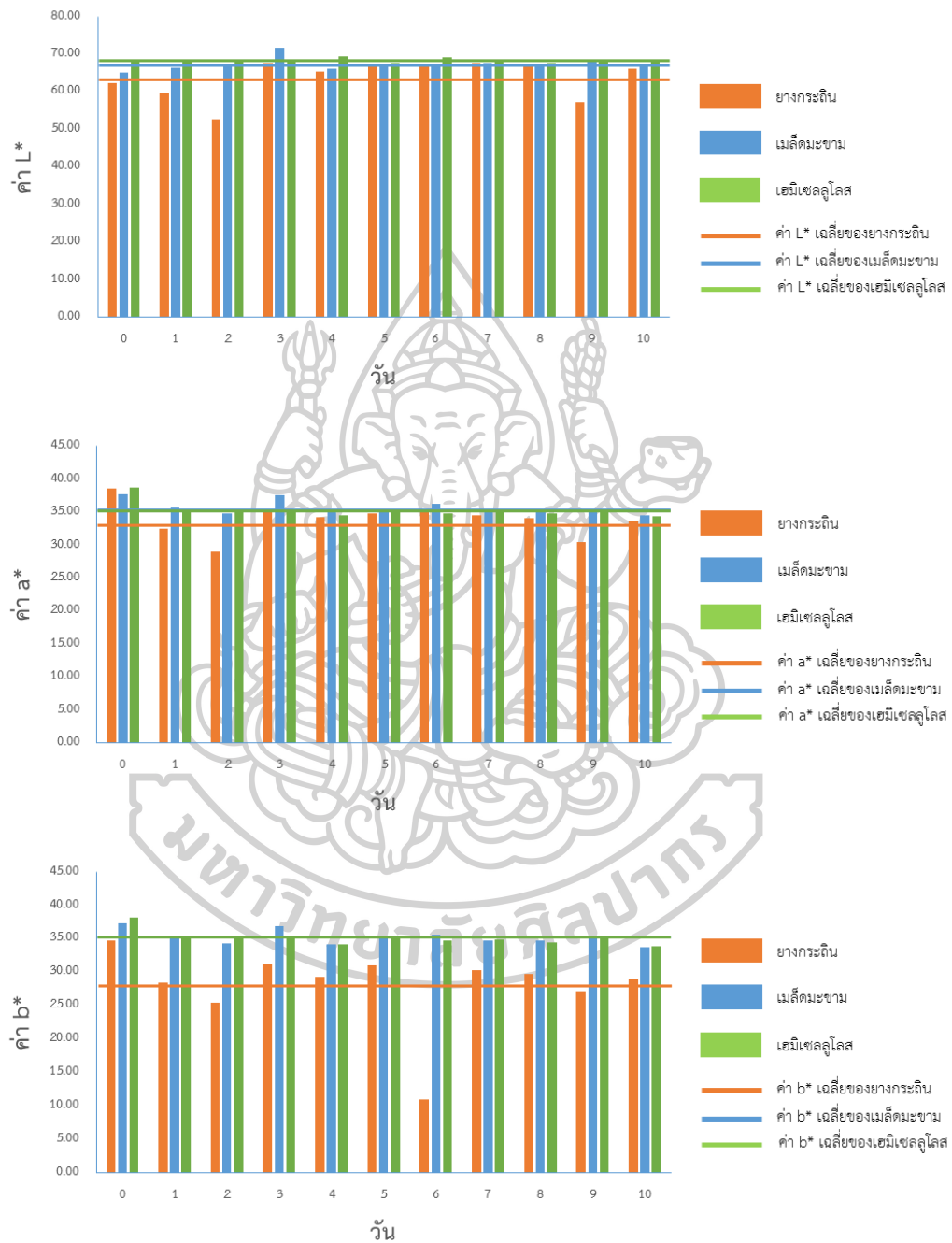




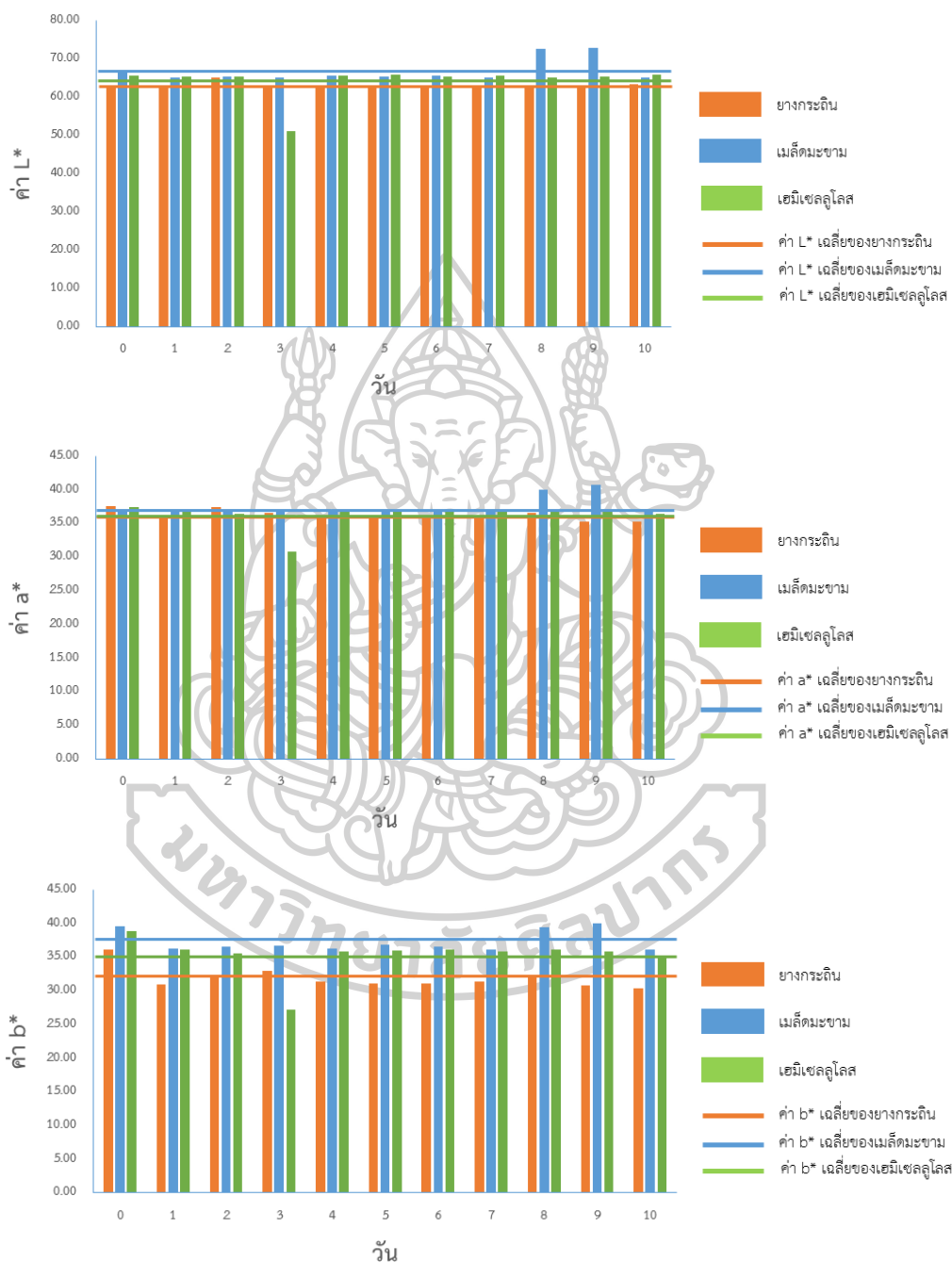
รูปที่ 4.10 ชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (ล่าง)
ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ) โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

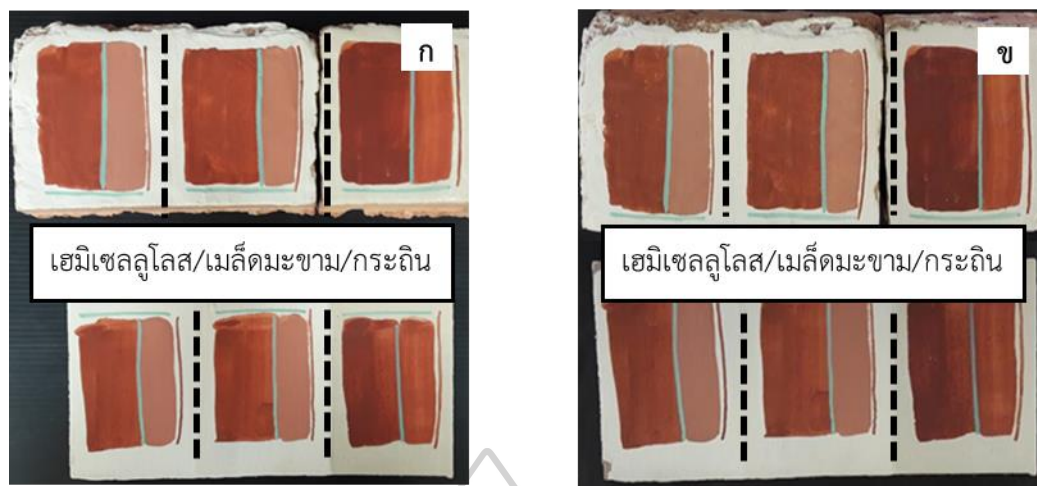
ผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C) ในระยะเวลา 10 วัน ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด (น้ำกาวยางกระดาษ, น้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส) ที่ทำบนก้อนอิฐ (รูปที่ 4.11) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 63.65, 67.22 และ 68.27 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 33.80, 35.76 และ 35.33 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 27.88, 35.16 และ 35.06 ตามลำดับ และชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (รูปที่ 4.11) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 มีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 62.91, 66.78 และ 64.14 มีค่า a^* เฉลี่ยเท่ากับ 36.24, 37.54 และ 36.33 มีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 31.92, 37.33 และ 35.37 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ค่า L^* a^* b^* ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสีของชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด มีความทนต่อความร้อน แสดงดังกราฟที่ 4.15 และ 4.16

กราฟที่ 4.15 ค่าสี L^* a^* b^* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)



กราฟที่ 4.16 ค่าสี L* a* b* ของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)

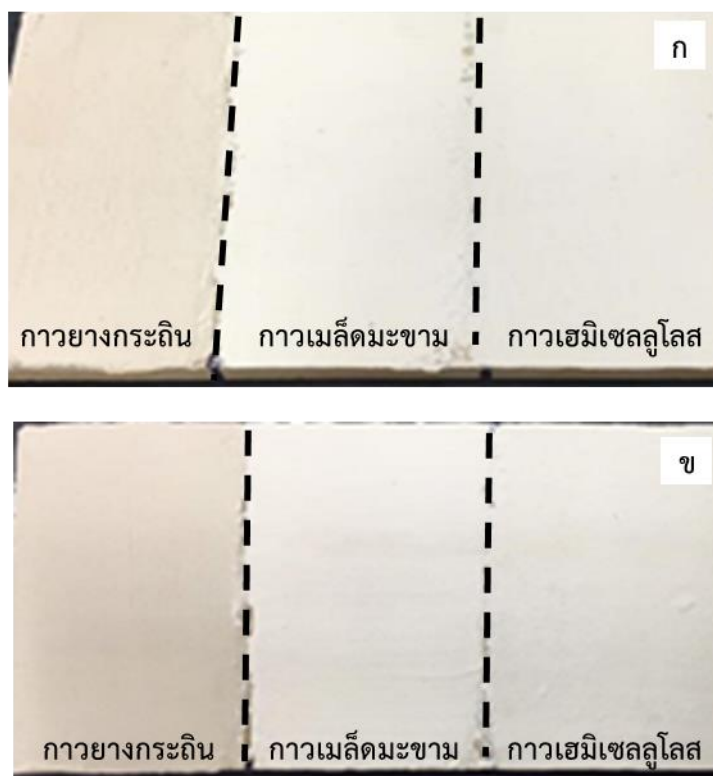




รูปที่ 4.11 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ) โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

2) Hydrostatic Head Tester

ผลการทดสอบความคงทนของสีของชั้นรองพื้นต่ออุณหภูมิ และความชื้น ที่อุณหภูมิ 60 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 95 % เป็นเวลา 150 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Hydrostatic head tester ผลการทดลองพบว่า สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินหลังการทดสอบมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเล็กน้อย ในส่วนสีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสี รวมทั้งไม่พบการแตกหลุดลอก ดังนั้นสีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสแสดงคุณสมบัติในการคงทนต่ออุณหภูมิ และความชื้นดีกว่าสีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน ผลแสดงดังรูปที่ 4.12

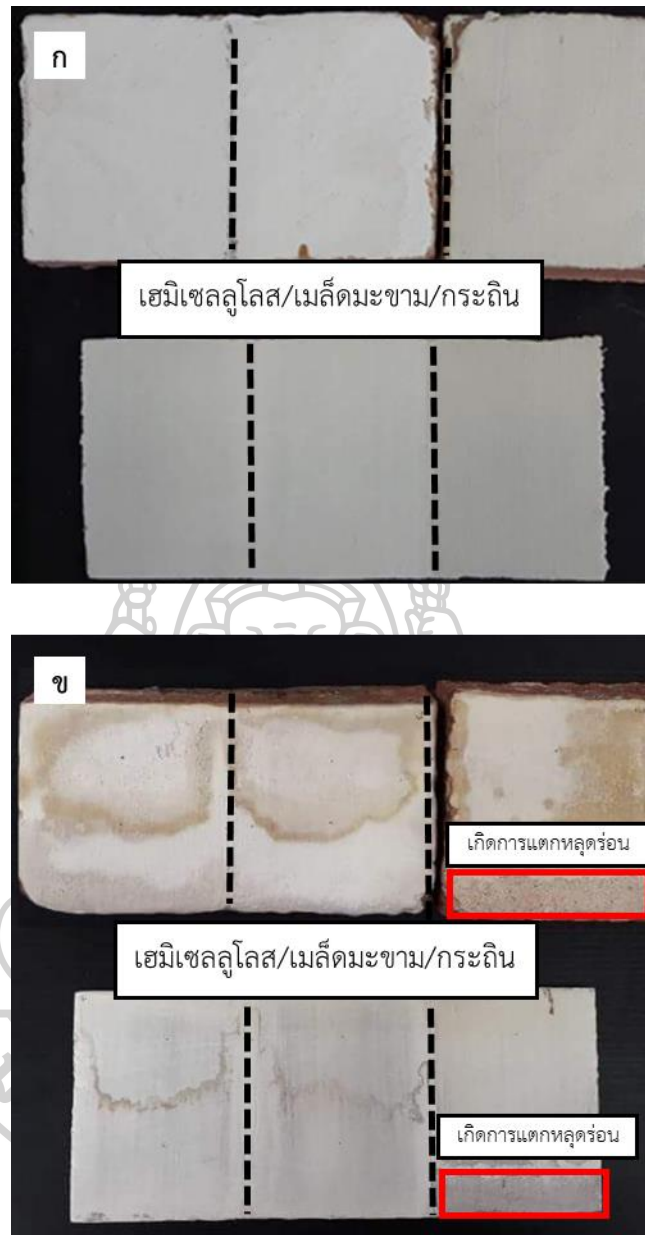


รูปที่ 4.12 ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดบนแผ่นไม้ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Hydrostatic head tester โดย (ก) ก่อนการทดสอบ และ (ข) หลังการทดสอบ

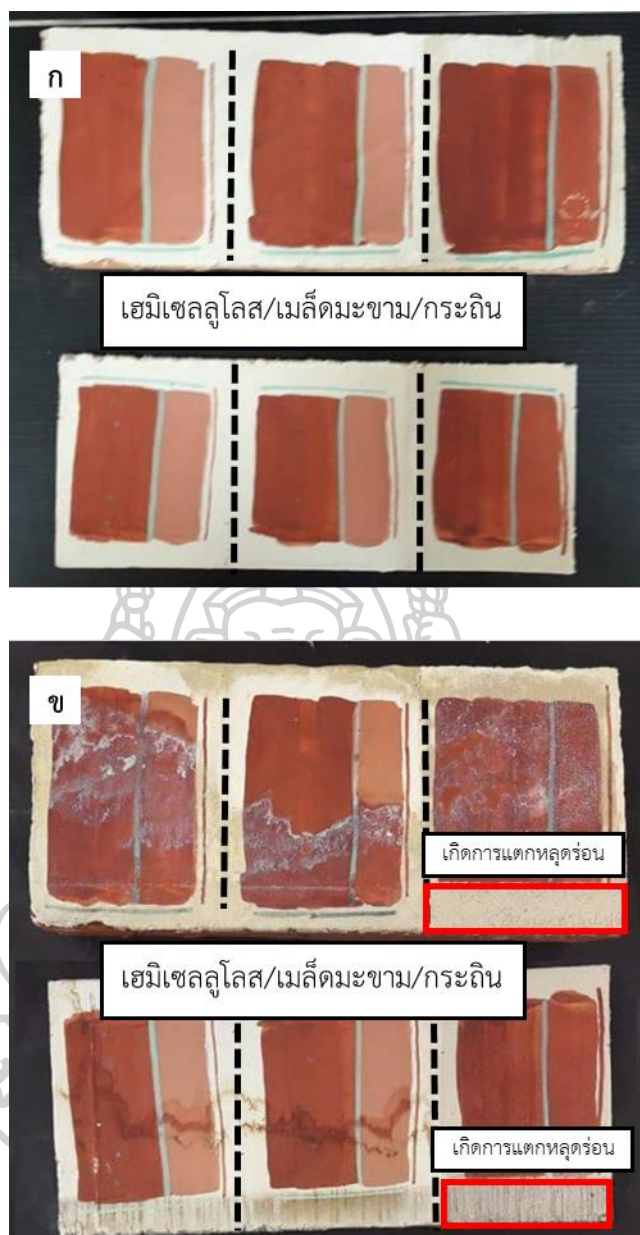
ง) การทนต่อสภาวะที่มีน้ำขัง

1) น้ำประปา

ผลการทดลองการทนต่อสภาวะน้ำขังของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น โดยน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปาซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำตามบ้านเรือนพบว่าชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด ที่ทาบนก้อนอิฐ และแผ่นไม้ ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระดาษเกิดการแตกหลุดร่อน ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ไม่พบการหลุดร่อน ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส แสดงคุณสมบัติในการทนต่อน้ำขังดีกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระดาษ ผลแสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 ชั้นรองพื้นที่ทำจากอันธพาล (บน) และชั้นรองพื้นที่ทำจากแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำตามบ้านเรือน โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

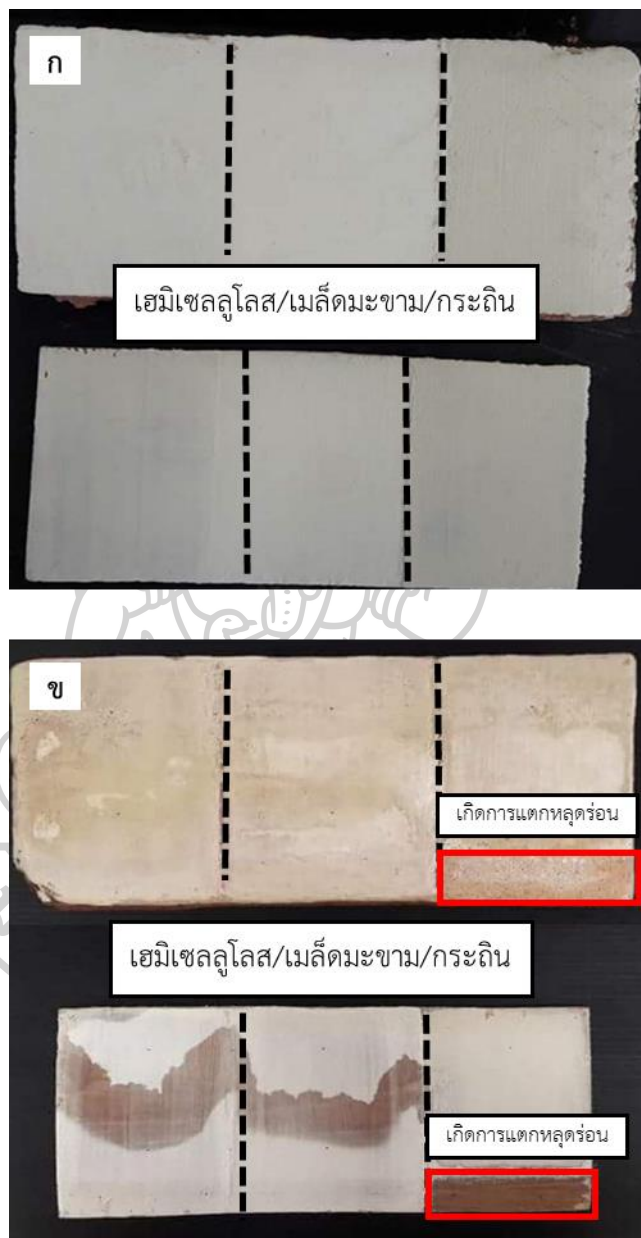


รูปที่ 4.14 สีสึฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำตามบ้านเรือน โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

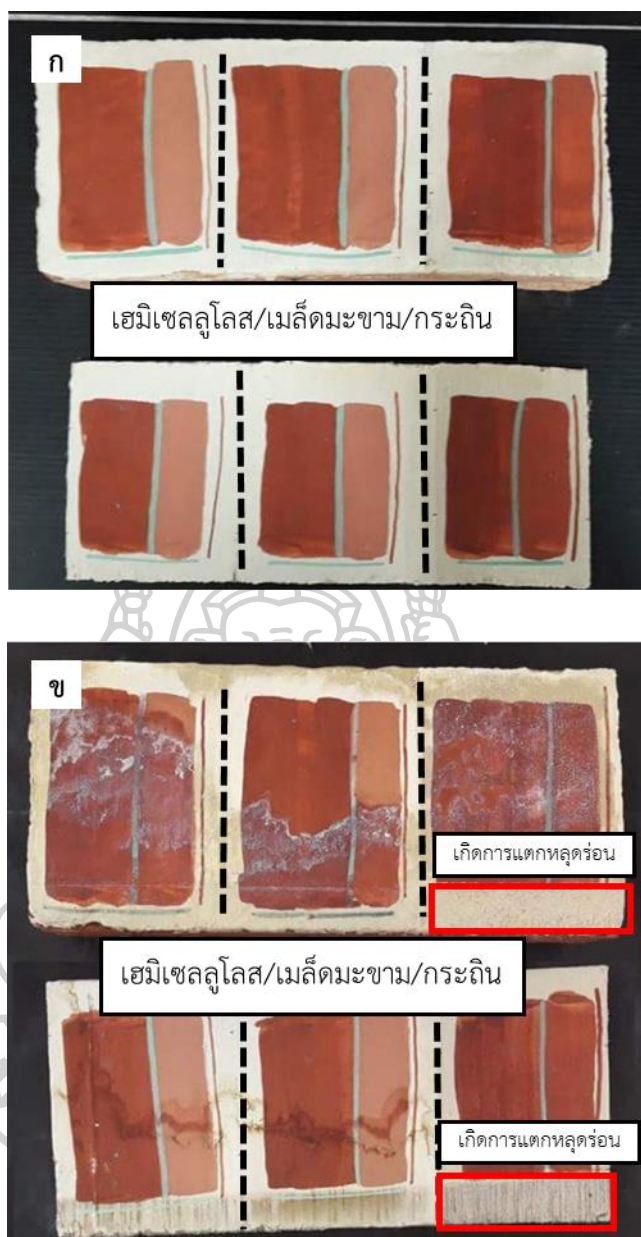
2. น้ำกระด้าง

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้น ต่อน้ำกระด้างซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำบาดาล เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด ที่ทำบนก้อนอิฐ และแผ่นไม้นั้น ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินเกิดการหลุดร่อนและแตก ส่วนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ไม่พบการแตกหลุดร่อน

ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส มีคุณสมบัติในการทนต่อน้ำกระด้างดีกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน ผลแสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ (ล่าง) ที่สภาวะจำลองน้ำบาดาล โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10



รูปที่ 4.16 สีฝู่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ (บน) และสีฝู่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้
ที่สภาวะจำลองน้ำบาดาล โดย (ก) วันที่ 0 (ข) วันที่ 10

จากผลการทดสอบการทนของชั้นรองพื้นต่อสภาวะต่างๆ ทั้ง 5 สภาวะ เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินที่สภาวะแรง (แสงแดด ความร้อนจากตู้อบ และความชื้น) สีของชั้นรองพื้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยสีเริ่มจางลงซึ่งอาจส่งผลทำให้สีฝู่นที่ทำบนชั้นรองพื้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินนั้นไม่มีคุณสมบัติทนต่อน้ำ เนื่องจากเกิดการแตกหลุดร่อน ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิติมะขาม และน้ำกาวฮีโมเซลูโลส พบว่าสีของ

ชั้นรองพื้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และไม่พบการหลุดร่อน นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้พื้นผิวที่มีสีขาวนวล ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินจะให้พื้นผิวที่มีสีเหลืองเข้ม ส่วนผลการทดสอบการทนของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นต่อสภาวะต่างๆ ทั้ง 5 สภาวะ เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน น้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินนั้นไม่มีคุณสมบัติทนต่อน้ำ เนื่องจากเกิดการแตกหลุดร่อน เช่นเดียวกับชั้นรองพื้นที่ทำจากน้ำกาวยางกระถินที่ไม่มีการทาสีฝุ่น นอกจากนี้เมื่อทาสีฝุ่นที่เกิดจากเปลือกหอยบดผสมกับดินลงบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน พบว่าสีเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นชั้นรองพื้นเตรียมจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน คาดว่าเมื่อเตรียมชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส จะช่วยให้สีของภาพจิตรกรรมฝาผนังไม่เปลี่ยนแปลง และไม่หลุดร่อนออกมาซึ่งช่วยยืดอายุของภาพจิตรกรรมฝาผนัง

4.5.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของสีที่ทาบนชั้นรองพื้น การขูดขีดของชั้นรองพื้น และสีบนชั้นรองพื้น

ก) ผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านการยึดเกาะของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้น

การศึกษาคุณสมบัติในด้านการยึดเกาะของชั้นรองพื้น และสีที่ทาบนชั้นรองพื้น จากผลการทดลองพบว่าการยึดเกาะของชั้นรองพื้นบนแผ่นไม้ที่มาจากดินสอพองผสมน้ำกาวยางกระถินมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 12.86 ชั้นรองพื้นที่ทำจากดินสอพองผสมน้ำกาวเมลิตมะขามมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 7.59 และชั้นรองพื้นที่ทำจากดินสอพองผสมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 4.82 ส่วนการยึดเกาะของชั้นรองพื้นบนก้อนอิฐที่ทำจากดินสอพองผสมน้ำกาวยางกระถินมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 7.85 ชั้นรองพื้นที่ทำจากดินสอพองผสมน้ำกาวเมลิตมะขามมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 2.29 และชั้นรองพื้นที่ทำจากดินสอพองผสมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 1.85 ดังนั้นในส่วนของการยึดเกาะของชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้ และก้อนอิฐ ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีที่สุดเนื่องจากมีร้อยละการหลุดร่อนน้อยที่สุด นอกจากนี้ในส่วนของการยึดเกาะของสีฝุ่นกับชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ พบว่าสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 22.79 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขามมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 18.55 และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 16.27 และการยึดเกาะของสีฝุ่นกับชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ พบว่าสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 19.01 สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิตมะขามมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 24.12 และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร้อยละการหลุดร่อนเท่ากับ 23.18 เนื่องจากการหลุดร่อนสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐเมื่อดูด้วยตาเปล่าพบการหลุดร่อนใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากมี

การทำสไลงไปบริเวณที่เป็นรอยแตก เพื่อให้สามารถคำนวณหาร้อยละการหลุดร่อนได้ โดยในการทาแต่ละครั้งไม่เท่ากันซึ่งอาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าในส่วนสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้ สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้ผลดีที่สุดเนื่องจากมีร้อยละการหลุดร่อนน้อยที่สุด และในส่วนสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐจากน้ำกาวทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติด้านการยึดเกาะที่ไม่แตกต่างกัน ผลแสดงดังตาราง 4.26

ตารางที่ 4.26 การหลุดร่อนของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้น

ตัวอย่าง	ร้อยละการหลุดร่อน		
	กาวยางกระถิน	กาวเมล็ดมะขาม	กาวเฮมิเซลลูโลส
ชั้นรองพื้นบนแผ่นไม้	12.86	7.59	4.82
ชั้นรองพื้นบนก้อนอิฐ	7.85	2.29	1.85
สีบนชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้	22.79	18.55	16.27
สีบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ	19.01	24.12	23.18

ข) ผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านการดูดซึบของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้น

การศึกษาคุณสมบัติในด้านการดูดซึบของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้น จากผลการทดลองพบว่าการเกิดรอยดูดซึบของชั้นรองพื้นที่มาจากดินสอพองผสมน้ำกาวยางกระถินบนแผ่นไม้มีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-4H ชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-H และชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-F ส่วนการเกิดรอยดูดซึบของชั้นรองพื้นน้ำกาวยางกระถินบนก้อนอิฐมีร่องรอยเกิดขึ้นที่ 6H เท่านั้น ชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-F และชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-3B นอกจากนี้ในส่วนของการเกิดรอยดูดซึบของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวยางกระถินบนแผ่นไม้พบว่า มีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-3H สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-3B และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-4H และการเกิดรอยดูดซึบของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวยางกระถินบนก้อนอิฐพบว่า มีร่องรอยเกิดขึ้นที่ 6H เท่านั้น สีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเมล็ดมะขามมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-H และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีร่องรอยเกิดขึ้นตั้งแต่ 6H-2B ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน และสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้นที่ทำบนน้ำกาวยางกระถินมีความ

แข็งแรงที่สุด เนื่องจากมีความทนทานต่อรอยขีดจากดินสอมากที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30

ตารางที่ 4.27 การเกิดรอยขีดของชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้

ตัวอย่าง	การเกิดรอยขีด													
	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B
กาวยางกระถิน	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเมล็ดมะขาม	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเฮมิเซลลูโลส	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

(✓ = เกิดรอยขีด; ✗ = ไม่เกิดรอยเกิดขีด)

ตารางที่ 4.28 การเกิดรอยขีดของชั้นรองพื้นที่ทาบนก้อนอิฐ

ตัวอย่าง	การเกิดรอยขีด													
	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B
กาวยางกระถิน	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเมล็ดมะขาม	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเฮมิเซลลูโลส	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗

(✓ = เกิดรอยขีด; ✗ = ไม่เกิดรอยเกิดขีด)

ตารางที่ 4.29 การเกิดรอยขีดของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทาบนแผ่นไม้

ตัวอย่าง	การเกิดรอยขีด													
	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B
กาวยางกระถิน	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเมล็ดมะขาม	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
กาวเฮมิเซลลูโลส	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗

(✓ = เกิดรอยขีด; ✗ = ไม่เกิดรอยเกิดขีด)

ตารางที่ 4.30 การเกิดรอยขีดข่วนของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นที่ทำบนก้อนอิฐ

ตัวอย่าง	การเกิดรอยขีดข่วน													
	6H	5H	4H	3H	2H	H	F	HB	B	2B	3B	4B	5B	6B
กาวยางกระถิน	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเมล็ดมะขาม	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
กาวเฮมิเซลลูโลส	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗

(✓ = เกิดรอยขีดข่วน; ✗ = ไม่เกิดรอยเกิดขีดข่วน)

จากผลการทดสอบยึดเกาะของสีฝุ่นที่ทำบนชั้นรองพื้น และการขีดข่วนของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นพบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินมีความแข็งแรงแต่เปราะ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยึดเกาะต่ำแต่สามารถทนการขีดข่วนได้ดี ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีคุณสมบัติในการยึดเกาะที่ดี แต่สามารถทนรอยขีดข่วนได้ต่ำกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน ดังนั้นคาดว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความยืดหยุ่นมากเมื่อโดนรอยขีดข่วนจะไม่ทำให้จิตรกรรมฝาผนังแตกและหลุดร่อนลงมา

4.5.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ตัดก้อนอิฐให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยให้มีทั้งส่วนที่เป็นก้อนอิฐ และส่วนของชั้นรองพื้น จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FESEM

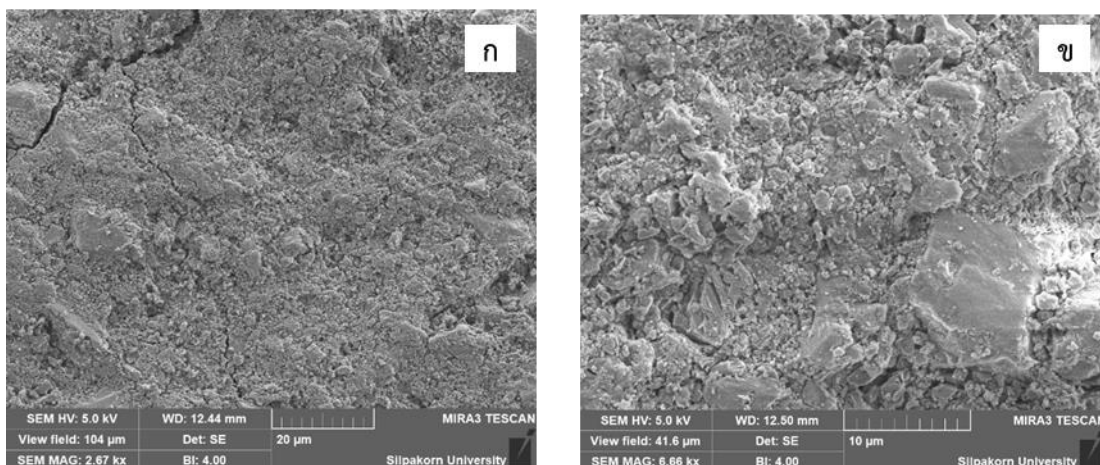
ก) ชั้นรองพื้นจากดินสอพองผสมน้ำกาวที่ทาบบนแผ่นไม้ หรือก้อนอิฐ โดยน้ำกาวที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

• ชั้นรองพื้นที่ทำบนแผ่นไม้

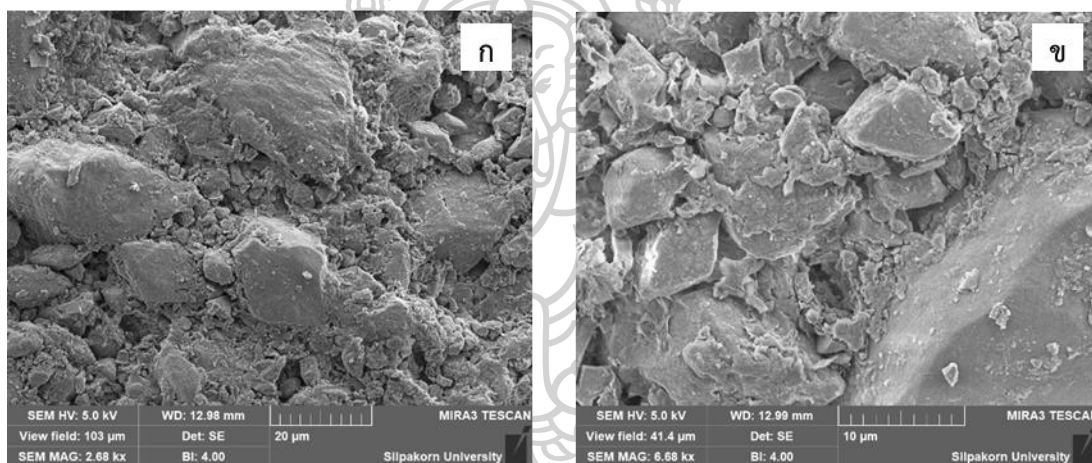
ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ผลการทดลองพบว่า Surface ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.17) เห็นการยึดอนุภาคของดินสอพองติดเป็นแผ่นเดียวกัน จับกันเป็นกลุ่มก้อน ไม่เห็นรูพรุน และเกิดรอยแตก ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.18) และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.19) เห็นอนุภาคของดินสอพองยึดติดกัน และมองเห็นรูพรุนระหว่างอนุภาคของดินสอพอง แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสองชนิดได้ บริเวณ Cross section สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.20) เข้าไปเคลือบอนุภาคของดินสอพองบริเวณผิวหน้าให้ยึดติดกันเป็นแผ่นทำให้บริเวณผิวของดินสอพองไม่มีรูพรุน ในส่วนของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.21) และชั้นรองพื้นจาก

น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.22) บริเวณแผ่นไม้ และชั้นรองพื้นมองเห็นเส้นใยเฮมิเซลลูโลสในการยึดเกาะระหว่างดินสอพอง และแผ่นไม้ได้ ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินจึงอาจมีประสิทธิภาพด้อยที่สุดในด้านของการดูดซับสีของชั้นรองพื้น และการระบายความชื้น เนื่องจากไม่มีรูพรุนซึ่งช่วยให้สีซึมเข้าไป และความชื้นไม่อาจสามารถผ่านเข้าออกได้ ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส สังเกตเห็นรูพรุนมาก ซึ่งจะช่วยในการดูดซับสี การผ่านเข้าออกของน้ำ และการผ่านเข้าออกของความชื้นในชั้นรองพื้นได้ดี อีกทั้งยังช่วยการยึดเกาะระหว่างชั้นรองพื้น และชั้นไม้ได้ดีอีกด้วย ทำให้ชั้นรองพื้นยึดเกาะกับผนังแน่น ไม่แตกหลุดร่อนลงมา ภาพจิตรกรรมจะมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

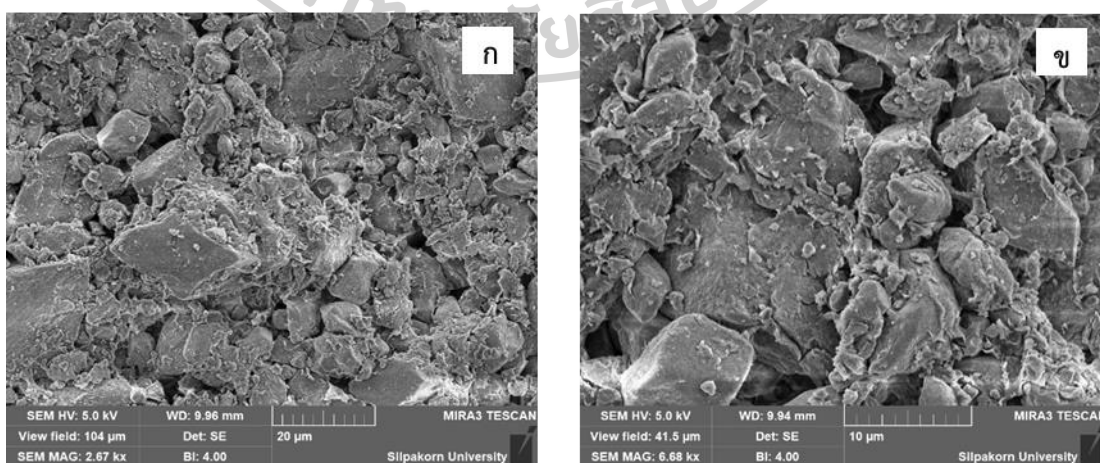




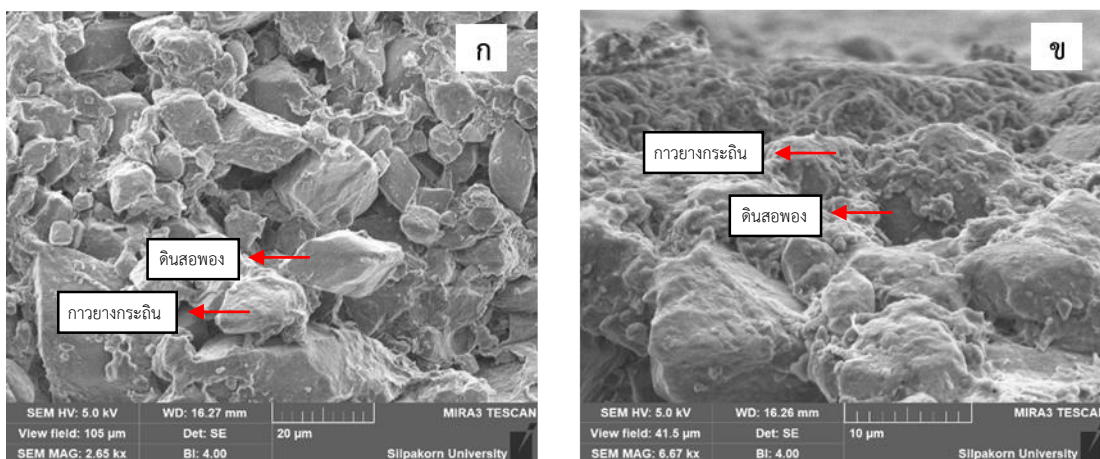
รูปที่ 4.17 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวยางกระถิน ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



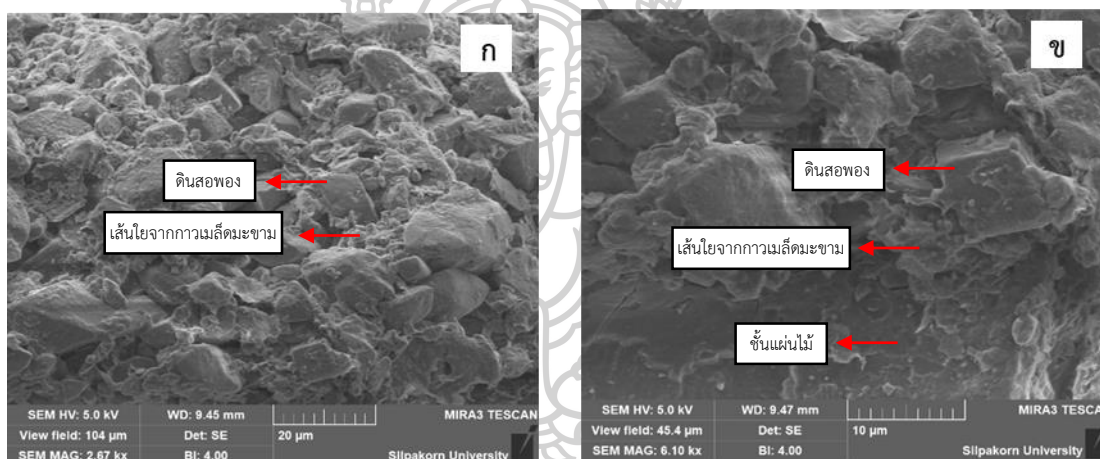
รูปที่ 4.18 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



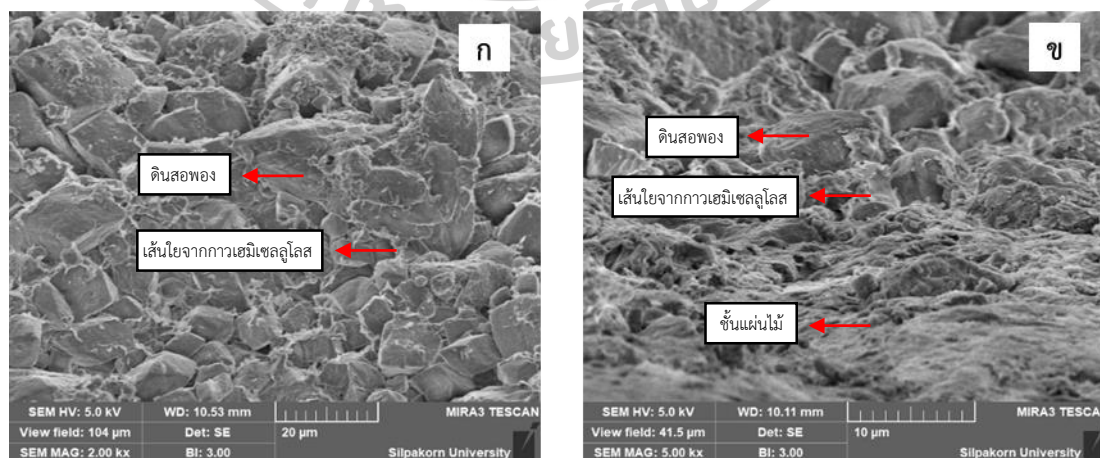
รูปที่ 4.19 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



รูปที่ 4.20 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกายาภะกรณิน ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



รูปที่ 4.21 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเมลิติมะขาม ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x

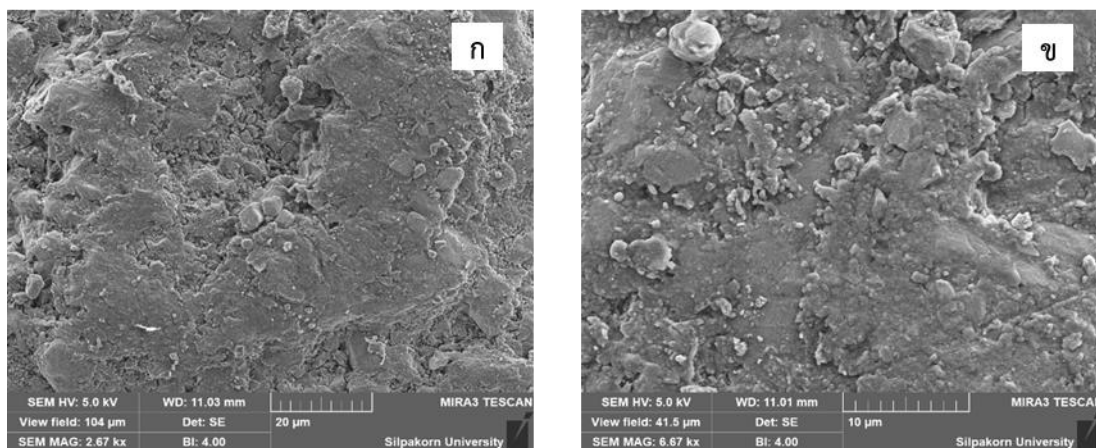


รูปที่ 4.22 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ทาบนแผ่นไม้ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x

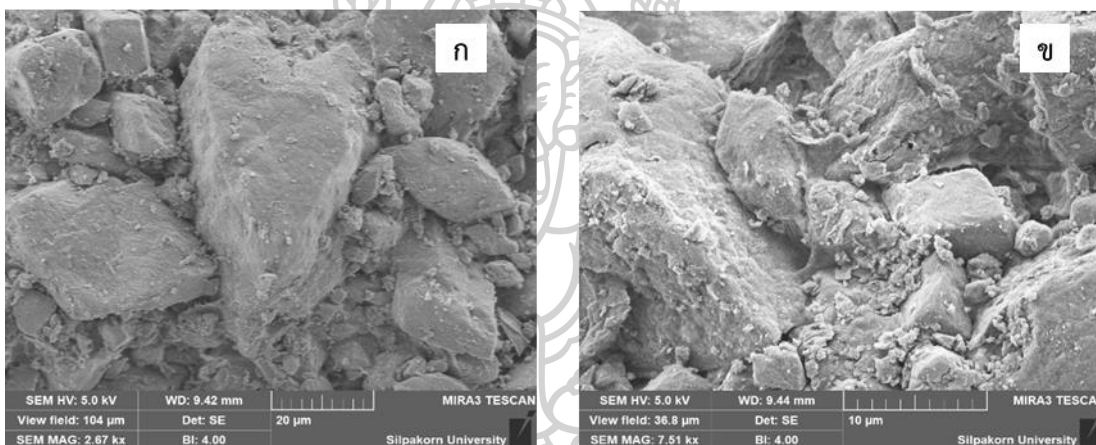
• ชั้นรองพื้นที่ทำบก้อนอิฐ

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ผลการทดลองพบว่า Surface ของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.23) เห็นการยึดอนุภาคของดินสอพองติดเป็นแผ่นเดียวกัน เห็นรูพรุน และเกิดรอยแตก ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.24) และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.25) เห็นอนุภาคของดินสอพองยึดติดกัน และมองเห็นรูพรุนระหว่างอนุภาคของดินสอพอง และบริเวณ Cross section ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.26) ไม่พบการเส้นใยยึดเกาะระหว่างดินสอพอง และก้อนอิฐ ในส่วนของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.27) และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.28) บริเวณที่เป็นชั้นก้อนอิฐ และชั้นรองพื้นมองเห็นเส้นใยเฮมิเซลลูโลสในการยึดเกาะระหว่างดินสอพอง และก้อนอิฐได้ ดังนั้นน้ำกาวยางกระถินจึงอาจมีประสิทธิภาพด้อยที่สุด โดยน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านของการดูดซับสีของชั้นรองพื้น และการระบายความชื้น การดูดซับสี และการยึดเกาะ

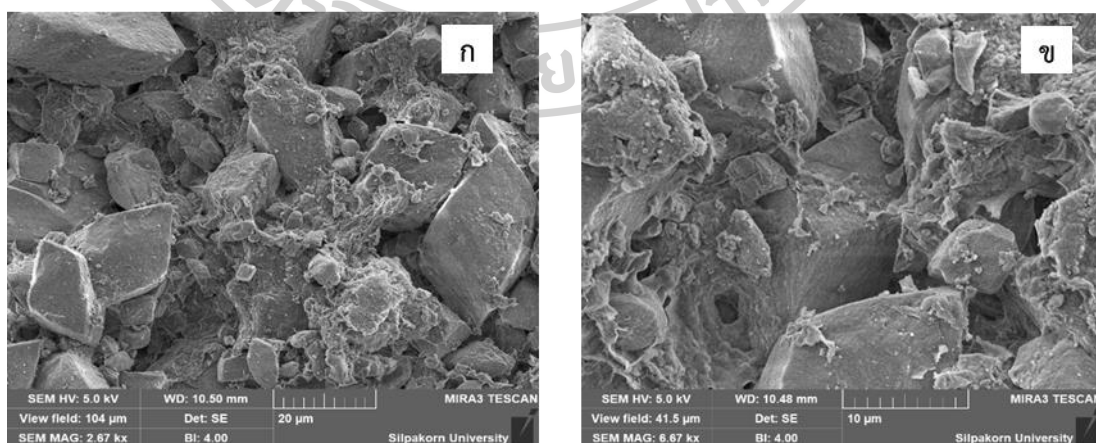




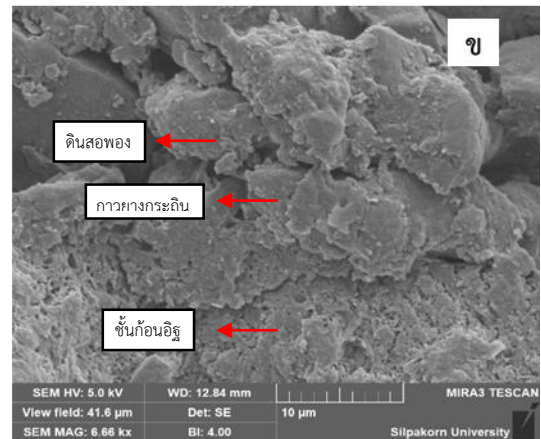
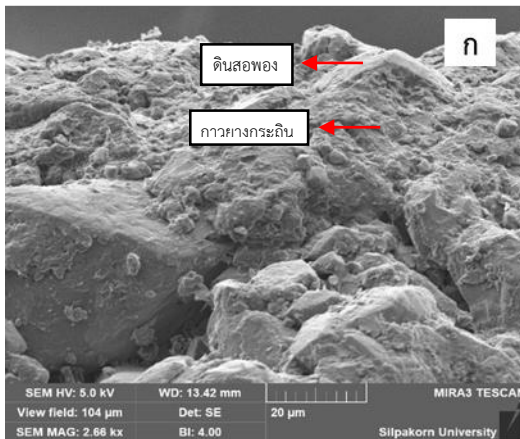
รูปที่ 4.23 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวยางกระถิน ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



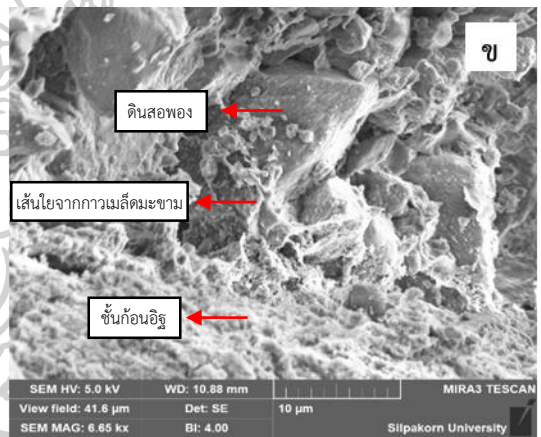
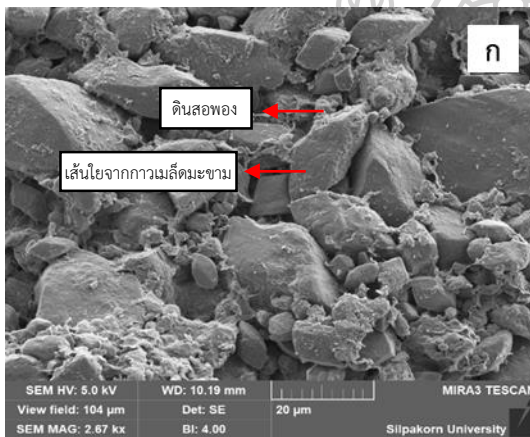
รูปที่ 4.24 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



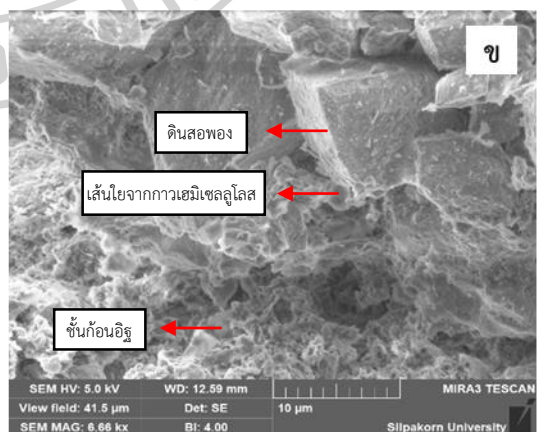
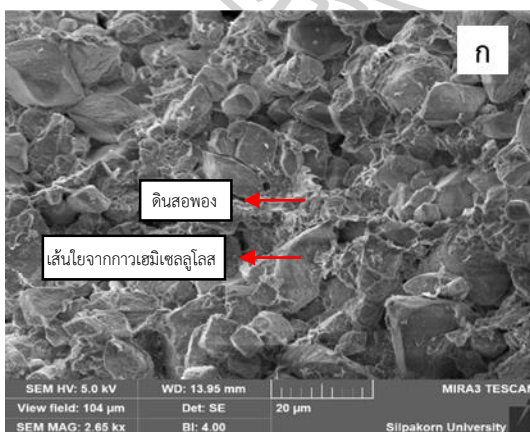
รูปที่ 4.25 FESEM images บริเวณ Surface ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



รูปที่ 4.26 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวยางกระถิน ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x



รูปที่ 4.27 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x

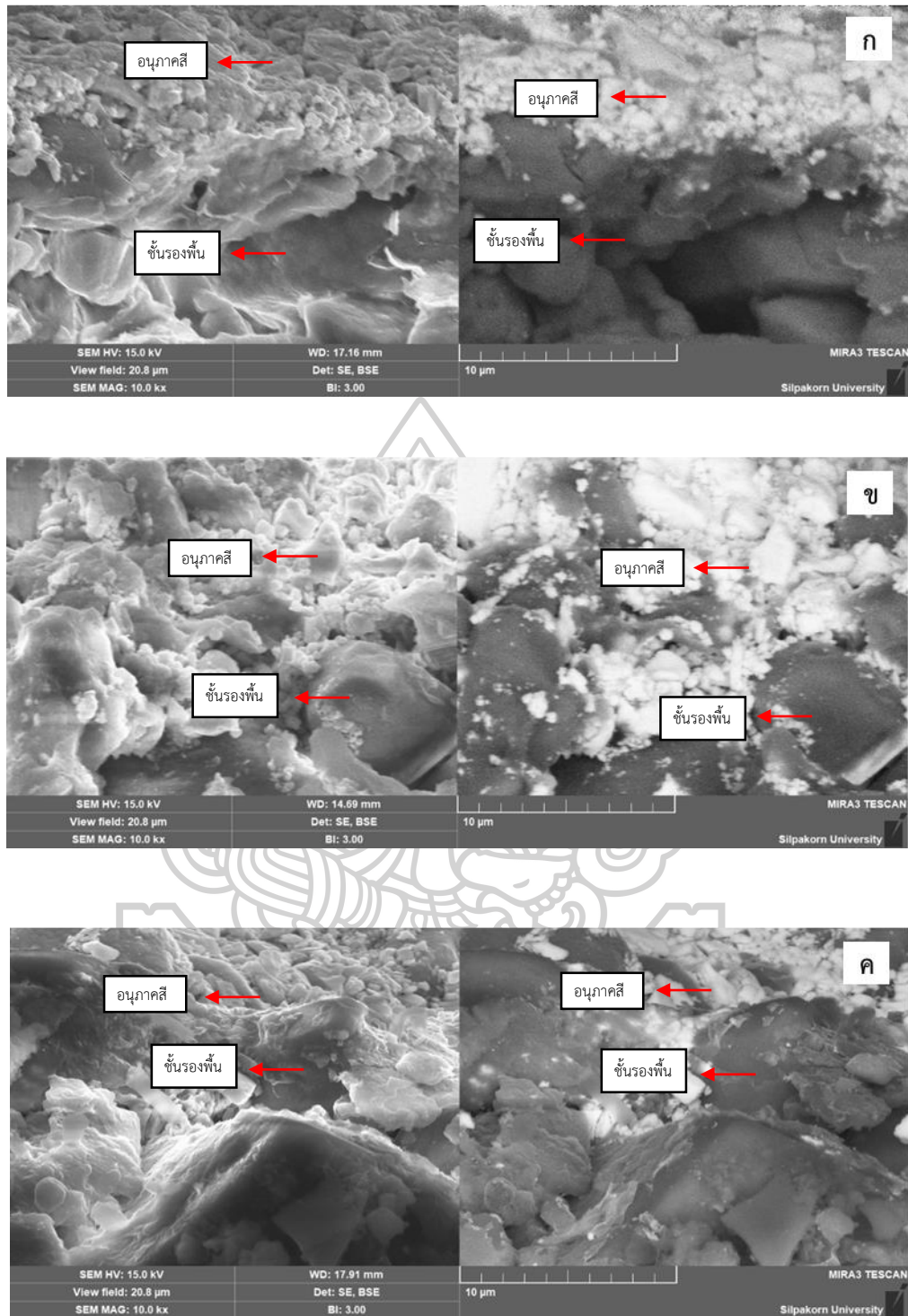


รูปที่ 4.28 FESEM images บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ที่ทาบนก้อนอิฐ โดย (ก) กำลังขยาย 2,000x และ (ข) กำลังขยาย 5,000x

• ชั้นสีฝุ่นที่ทาลงบนชั้นรองพื้น

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นสีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง ผลการทดลองพบว่า บริเวณ Cross section ของชั้นรองพื้นที่มาจากน้ำกาวยางกระถิน (รูปที่ 4.29 (ก)) ไม่พบเม็ดสีซึมผ่านเข้ามาข้างในชั้นรองพื้น อาจเนื่องมาจากน้ำกาวยางกระถินทำให้ดินสอพองจับกันเป็นแผ่น ไม่มีรูพรุน จึงไม่สามารถทำให้ดูดซับเม็ดสีเข้ามาในชั้นรองพื้นได้ ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม (รูปที่ 4.29 (ข)) และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส (รูปที่ 4.29 (ค)) พบว่าเม็ดสีถูกดูดซับเข้ามาในชั้นรองพื้น และเคลือบอยู่บนอนุภาคของดินสอพอง ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้สีของภาพจิตรกรรมฝาผนังมีอายุยาวนานขึ้น





รูปที่ 4.29 FESEM images กำลังขยาย 10,000x บริเวณ cross section ของชั้นรองพื้นเตรียมจาก น้ำกาวชนิดต่างๆ ที่ทาบนแผ่นไม้ไผ่ในโหมด Secondary electrons (ซ้าย) และ Back-scattered electrons (ขวา) โดย (ก) น้ำกาวยางกระถิน (ข) น้ำกาวเมล็ดมะขาม และ (ค) น้ำกาวเฮมิเซลลูโลส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อในเมล็ดมะขาม เพื่อใช้เตรียมชั้นรองพื้นสำหรับงานอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังไทย โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเฮมิเซลลูโลส ซึ่งให้ร้อยละผลผลิตและค่าความหนืดดีที่สุด คืออุณหภูมิ 65-70 °C ในขั้นตอนการต้มกาวเมล็ดมะขาม และอัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำกาวเมล็ดมะขาม เป็น 1 : 1.5 โดยให้ร้อยละผลผลิตเฮมิเซลลูโลส 51.02 และให้ค่าความหนืดเท่ากับ 353.00 cP ซึ่งช่วยให้ประหยัดปริมาณเอทานอลที่ใช้ในการเตรียมถึง 33.33 % จากการทดสอบคุณสมบัติด้านลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของเฮมิเซลลูโลส พบว่าแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่เตรียมที่ความเข้มข้น 4 % (w/v) ที่เวลา 1-13 นาที แผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำได้ ดังนั้นชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสอาจช่วยในการระบายความชื้นจากภาพจิตรกรรมฝาผนัง ในการศึกษาคุณสมบัติในด้านความหนืดของน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด กาวเฮมิเซลลูโลสใช้ความเข้มข้นต่ำกว่ากาวยางกระถิน และกาวเมล็ดมะขาม เพื่อให้ได้ความหนืดที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง โดยที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริงพบว่ากาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสแสดงคุณสมบัติด้านความหนืดที่ดีกว่ากาวยางกระถิน 5.28 และ 4.15 เท่าตามลำดับ อีกทั้งกาวยางกระถินเตรียมที่ความเข้มข้นมากกว่ากาวเมล็ดมะขามถึง 13.5 เท่า และมากกว่ากาวเฮมิเซลลูโลสถึง 21.60 เท่า การทดสอบคุณสมบัติในด้านความหนืดของน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 2 % (w/v) พบว่ากาวเฮมิเซลลูโลสให้ค่าความหนืดสูงที่สุด โดยมีค่าความหนืดต่างกับน้ำกาวยางกระถิน 116 เท่า และต่างกับน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส 7 เท่า นอกจากนี้ในส่วนของ การทดสอบคุณสมบัติของน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด ที่ให้ค่าความหนืดของน้ำกาวใกล้เคียงกัน (~100 cP) พบว่ากาวเฮมิเซลลูโลสใช้ปริมาณน้อยที่สุด ในการทดสอบปริมาณกาวแต่ละชนิดต่อค่าความหนืด พบว่ากาวเมล็ดมะขาม และกาวเฮมิเซลลูโลสมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นสูงมากในการเพิ่มปริมาณเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีขั้นตอนในการเตรียมง่ายกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม และใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมน้ำกาว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาค่าความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิพิดออก พบว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสหลังสกัดลิพิดออกให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงใช้ปริมาณน้อยกว่าเฮมิเซลลูโลสก่อนสกัดลิพิด ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่าย

การศึกษาการเสียดสีของน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส มีการเสียดสีภาพซ้ำ ที่สุดสามารถเก็บไว้ใช้งานได้ 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (29-31 °C) เนื่องจากเกิดการตกตะกอน เกิดกลิ่น เน่าเสีย และค่า pH เปลี่ยนแปลงซ้ำที่ สุด ดังนั้นสามารถเตรียมเฮมิเซลลูโลสในปริมาณมากได้ ช่วย ประหยัดเวลาในการเตรียมเมื่อเทียบกับน้ำกาวเมลิติมะขามที่ต้องเตรียมน้ำกาวใหม่ทุกวัน นอกจากนี้ จากผลการทดสอบคุณสมบัติของกาวในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าแผ่นฟิล์มจากน้ำกาว เมลิติมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส คาดว่าจะช่วยให้สามารถดูดซับสีได้ดี และยังช่วยให้ความชื้น จากฝาผนังผ่านออกได้ดี เนื่องจากสังเกตเห็นรูพรุน ซึ่งทำให้ภาพจิตรกรรมฝาผนังไม่แตกหลุดร่อน นอกจากนี้การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้นทีเตรียมจากดินสอพองผสมกับน้ำกาว พบว่าน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสจึงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในด้านการดูดซับสี การระบายความชื้น เนื่องจาก ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีช่องว่างของรูพรุนมาก ในขณะที่น้ำกาวยางกระถินทำให้อุณหภูมิ ของดินสอพองบริเวณผิวรวมตัวกันเป็นแผ่น ไม่มีช่องว่างของรูพรุน จึงสรุปได้ว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาว เฮมิเซลลูโลสอาจช่วยยืดอายุของภาพจิตรกรรมฝาผนัง

การทดสอบคุณสมบัติในด้านสีของชั้นรองพื้น พบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิติมะขาม และ น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสให้สีของชั้นรองพื้นขาวกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน โดยให้พื้นผิวเป็นสี ขาวนวลซึ่งเป็นสีที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังต้องการ เนื่องจากมีค่า b^* ไปทางบวกน้อยกว่า ซึ่งค่า b^* ไปทางบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิติมะขาม และน้ำกาวเฮมิ เซลลูโลสจึงมีคุณสมบัติเป็นชั้นรองพื้นที่ดีกว่าน้ำกาวยางกระถิน ดังนั้นจึงคาดว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาว เมลิติมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส จะช่วยให้สีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้นไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับการ ทดสอบคุณสมบัติในด้านสีของสีฝุ่นที่ทาบนชั้นรองพื้นพบว่าสีจากกาวทั้งสามชนิดมีค่า a^* ไปทางบวก ไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งค่า a^* ไปทางบวกแสดงความเป็นสีแดง นอกจากนี้พบว่า ที่สภาวะชั้นรองพื้นใน น้ำกระด้าง และน้ำประปา ซึ่งเป็นการจำลองน้ำบาดาล และน้ำจากบ้านเรือน พบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำ กาวเมลิติมะขาม และชั้นรองพื้นน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสไม่เกิดการหลุดร่อน ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีรูพรุน ซึ่ง ช่วยให้น้ำไหลผ่านเข้าออกระหว่างชั้นรองพื้นได้ ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินเกิดการ หลุดร่อน ดังนั้นเมื่อผนังดูดซับความชื้นจากใต้ดินขึ้นมาบนผนังชั้นรองพื้นจ่าน้ำกาวเมลิติมะขาม และ ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส จะช่วยให้ผนังไม่แตกหลุดร่อน

การทดสอบคุณสมบัติในด้านการยึดเกาะ และในด้านการดูดซับของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นที่ทา บนชั้นรองพื้น พบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมลิติมะขาม และชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ทน รอยดูดซับได้น้อยกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน แต่มีความสามารถในด้านการยึดเกาะสูงกว่า

ดังนั้นชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความยืดหยุ่นมากกว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถินมีความแข็งแรง แต่เปราะ เนื่องจากทนรอยขีดขูดได้สูง ดังนั้นจึงคาดว่าภาพจิตรกรรมฝาผนังที่วาดบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส แม้จะโดนขีดขูด แต่ภาพจิตรกรรมฝาผนังอาจไม่เกิดรอยแตกหลุดลงมาทั้งหมด

การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชั้นรองพื้น และสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นพบว่าชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส และน้ำกาวเมล็ดมะขามสังเกตเห็นการยึดเกาะของชั้นรองพื้นกับแผ่นไม้หรือชั้นอิฐ ด้วยเส้นใยเฮมิเซลลูโลส ในขณะที่ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวยางกระถิน สังเกตเห็นอนุภาคของดินสอดฟองเกาะกันเป็นก้อน และไม่พบการยึดเกาะกันระหว่างชั้นรองพื้น และแผ่นไม้ หรือก้อนอิฐ นอกจากนี้ชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส ยังพบว่ามีสารดูดซับของเม็ดสีลงในชั้นรองพื้น ซึ่งจะช่วยให้สียึดเกาะกับชั้นรองพื้นได้ดี

ดังนั้นกาวเฮมิเซลลูโลสสามารถใช้แทนกาวยางกระถิน และกาวเมล็ดมะขามได้ เนื่องจากชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลส มีประสิทธิภาพในการยึดเกาะ การดูดซับสี การระบายความชื้นจากผนังดีกว่าชั้นรองพื้นที่เตรียมจากน้ำกาวยางกระถิน และมีอายุการเก็บรักษานานกว่าน้ำกาวเมล็ดมะขาม นอกจากนี้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีความสะดวก และรวดเร็ว โดยชั้นรองพื้นจากน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสมีการนำไปใช้จริงเพื่ออนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังบนบานประตูวัดดุสิตารามวรวิหาร แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร (รูปที่ 5.1) บนฝาผนังวัดบ้านกอก ตำบลบ้านแก่ง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 5.2) และบนภาพจิตรกรรมสัตว์หิมพานต์ วัดสุทัศน์เทพวราราม แขวงวัดราชบพิธ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร (รูปที่ 5.3)



รูปที่ 5.1 ภาพจิตรกรรมบนบานประตูวัดคูสิดารามวรวิหาร แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 5.2 ภาพจิตรกรรมบนฝาผนังวัดบ้านกอก ตำบลบ้านแก่ง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 5.3 ภาพจิตรกรรมสัตว์หิมพานต์ วัดสุทัศน์เทพวราราม แขวงวัดราชบพิธ เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาวิธีการทดลองโดยการพัฒนาหมู่ฟังก์ชันของเอมิเซลลูโลส ให้สามารถละลายน้ำได้รวดเร็วขึ้น และมีความหนืดสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อความรวดเร็วในการเตรียมน้ำกาว สะดวกต่อผู้ใช้งาน และลดปริมาณเอมิเซลลูโลสที่ใช้
2. ศึกษาหาวิธีการสกัดโปรตีน และลิพิดออกจากเมล็ดมะขาม เพื่อศึกษาการเสียดสภาพของน้ำกาวเอมิเซลลูโลสหลังจากสกัดโปรตีน และลิพิดออก นอกจากนี้ศึกษาความหนืดของน้ำกาวเอมิเซลลูโลสหลังจากสกัดโปรตีน และลิพิดออก เพื่อดูผลของปริมาณโปรตีน และลิพิดต่อค่าความหนืด
3. ทำการทดสอบคุณสมบัติการเปลี่ยนสีของสีต่างๆ หลังจากทาบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิด เพิ่มระยะเวลาในการทดสอบ และช่วงอุณหภูมิต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี แต่ละชนิดบนชั้นรองพื้น
4. พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของน้ำกาว และชั้นรองพื้นสำเร็จรูป เพื่อสะดวกต่อผู้ใช้งาน และมีอายุการใช้งานที่นาน

รายการอ้างอิง

- Ali, B. H., Ziada, A., & Blunden, G. (2009). Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47(1), 1-8.
- ASTM D3359-02. (2004). Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test. In (pp. 1-7): ASTM international.
- behr Labor-Technik. Kjeldahl Method of Nitrogen Determination, 1-8. Retrieved from
- Bhalekar, M., Sonawane, S., & Shimpi, S. (2013). Synthesis and characterization of a cysteine xyloglucan conjugate as mucoadhesive polymer. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(2), 285-292.
- Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R., & Bhattacharya, S. (1994). Functional and nutritional properties of tamarind (*Tamarindus indica*) kernel protein. *Food chemistry*, 49(1), 1-9.
- Chandramouli, Y., Firoz, S., Vikram, A., Mahitha, B., Yasmeen, B. R., & Hemanthpavankumar, K. (2012). Tamarind seed polysaccharide (TSP)—an adaptable excipient for novel drug delivery systems. *International Journal of Pharmacy Practice & Drug Research*, 2(2), 57-63.
- Chawanoraset, K., Saengtongdee, P., & Kaemchantuek, P. (2016). Extraction and characterization of Tamarind (*Tamarind indica* L.) seed polysaccharides (TSP) from three difference sources. *Molecules*, 21(6), 775.
- Chen, D., Guo, P., Chen, S., Cao, Y., Ji, W., Lei, X., Qi, C. (2012). Properties of xyloglucan hydrogel as the biomedical sustained-release carriers. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 23(4), 955-962.
- Fessenden, R., Fessenden, J. S., & Feist, P. (2001). *Organic Laboratory Techniques*: Brooks Cole.
- Ganesan, K., Rajaram, S. K., Chinnathambi, A., Murugesan, V., Muruganatham, K., Amanullah, T. R., Chinnasamy, S. (2013). A sustained release of tablet granules associated with ZnS nanocrystals using Tamarind seed polysaccharide. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(4), S44.
- Girão, A. V., Caputo, G., & Ferro, M. C. (2017). Application of Scanning Electron

- Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). In *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 75, pp. 153-168): Elsevier.
- Hartemink, R. v., Van Laere, K., Mertens, A., & Rombouts, F. (1996). Fermentation of xyloglucan by intestinal bacteria. *Anaerobe*, 2(4), 223-230.
- ISO 15184. (2012). Paints and varnishes-Determination of film hardness by pencil test. In (pp. 1-6): International Organization for Standardization.
- Kazmiruk, V. (2012). *Scanning Electron Microscopy*: Croatia: InTech.
- Kumar, C. S., & Bhattacharya, S. (2008). Tamarind seed: properties, processing and utilization. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(1), 1-20.
- Mishra, V. A., & Langote, H. P. (2014). Tamarind Seed Polysaccharide and Its Recent Applications: A Review. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*.
- Nisbet, D., Crompton, K., Hamilton, S., Shirakawa, S., Prankerd, R., Finkelstein, D., Forsythe, J. (2006). Morphology and gelation of thermosensitive xyloglucan hydrogels. *Biophysical chemistry*, 121(1), 14-20.
- Panchal, B., Deshmukh, S., & Sharma, M. (2014). Optimization of oil extraction and characterization from *Tamarindus indica* Linn seed oil. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 2(1), 1-6.
- PanReac AppliChem. Nitrogen Determination by Kjeldahl Method, 1-12.
- Ren, Y., Picout, D. R., Ellis, P. R., Ross-Murphy, S. B., & Reid, J. G. (2005). A novel xyloglucan from seeds of *Azadirachta indica* Linn.—extraction, characterization, and conformational properties. *Carbohydrate research*, 340(5), 997-1005.
- Sahoo, S., Sahoo, R., & Nayak, P. L. (2011). Tamarind seed polysaccharide: a versatile biopolymer for mucoadhesive applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 8, 1-12.
- Sappi etc. (2013). Defining and Communicating Color: The CIELAB System, 1-8.
- Sibaja-Hernández, R., Román-Guerrero, A., Sepúlveda-Jiménez, G., & Rodríguez-Monroy, M. (2015). Physicochemical, shear flow behaviour and emulsifying properties of *Acacia cochliacantha* and *Acacia farnesiana* gums. *Industrial crops and Products*, 67, 161-168.
- Sinchaiyakit, P., & Suttajit, M. (2011). Biochemical properties and applications of

- tamarind (*Tamarindus indica*. Linn) seed. *Naresuan Phayao*, 4(2).
- Street, C., & Anderson, D. (1983). Refinement of structures previously proposed for gum arabic and other Acacia gum exudates. *Talanta*, 30(11), 887-893.
- Stuart, B. H. (2013). *Forensic analytical techniques*
- Thiex, N. J., Manson, H., Anderson, S., & Persson, J.-Å. (2002). Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85(2), 309-317.
- Wungkobkiat, A., & Kuntiya, A. (2012). *Effect of glucose and lactic acid bacteria on inhibition of hydrogen sulfide production*. Paper presented at the 50. Kasetsart University Annual Conference, Bangkok (Thailand), 31 Jan-2 Feb 2012.
- กฤษณ์ ทองเลิศ. (2554). แนวทางการศึกษาการสื่อความหมายของงานภาพจิตรกรรมฝาผนังไทย. นิตยสารสยามปริทัศน์, 10(10), 5-26.
- คณะศิษย์เก่าแผนกวิชาจิตรกรรมไทย. (2550). จิตรกรรมไทย ครูสมปอง อัครวงษ์ โรงเรียนเพาะช่าง: คณะศิษย์เก่าแผนกวิชาจิตรกรรมไทย.
- จตุรัส อนุกุล. (2017). การศึกษาผลงานจิตรกรรม ฝาผนังในพระอุโบสถวัดถ้ำตะโกพุทธโสภณ อำเภอท่าม่วง จังหวัดดลพบุรี (STUDY OF MURAL PAINTINGS IN THE BUDDHIST TEMPLE WAT THAM TAKO BUDDHASOPA TAWUNG DISTRICT LOPBURI PROVINCE). *Srinakharinwirot Research and Development (Journal of Humanities and Social Sciences)*, 9(17), 23-28.
- ณัฐวิศิษฐ์ ยะสารวรรณ. (2557). พอลิเมอร์ที่ตอบสนองต่อพีเอชเพื่อการประยุกต์ทางชีวการแพทย์. *Thai Science and Technology Journal*, 22(2), 272-285.
- दनัย กิจชัยอนุกุล. (2547). เรื่องน่ารู้ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. In (pp. 1-5).
- ทง ภัทร์พันธ์. (2534). เมล็ดมะขาม & กัม. *อุตสาหกรรมเกษตร*, 2(1), 29-34.
- ธนพร วิชัย และ วรรัตน์ ปัตร์ประกร. (2554). การผลิตกรดแอล(+) -แลคติกจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดย *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* ในการเพาะเลี้ยงแบบอาหารเหลว. Paper presented at the การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- ธัญญภรณ์ ศรีสุบิน. (2557). ไฮโดรเจล วัสดุดูดซับน้ำอัจฉริยะ. In (pp. 1-3).
- พจนีย์ แก้วคำแสน และ บัวสี หงสาวดี. (2557). การใช้ประโยชน์จากผงเมล็ดมะขามทดแทนเพกตินทางการค้า. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(1), 641-645.

- พรพิมล ม่วงไทย. (2554). การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไลโปออกซิเดชันในเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไก่.
- พอใจ ถาமாகร. (2556). สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล. *KMITL Science and Technology Journal*, 3(4).
- ภาควิชาคหกรรมศาสตร์. (2556). สี (Color).
- ภูสิทธิ์ ใจกาวิณ. (2552). การออกแบบและสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลแบบเบลนด์สำหรับใช้ในทางชีวเวช เพื่อเป็นวัสดุปิดแผล. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- มอก. 1123. (2555). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีรองพื้นสำหรับงานปูน. In (pp. 1-8): กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ยอดชาย พรหมอินทร์. (2554). ศึกษาจิตรกรรมฝาผนังพระอุโบสถ วัดมณีมาวาส อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- วรรณณา เอี่ยมอาจ. (2557). การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างพลาสติกโดยการทำอนุพันธ์กับ 4-คลอโร-7-ไนโตรเบนโซฟูราเซน ก่อนทำการแยกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง. (มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- วรรณิภา ณ สงขลา. (2528). การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนัง (Vol. 1): กรมศิลปากร.
- วรางคณา สมพงษ์ ภาสกร ชีระศิลป์วิสุกุล และ คณิน ศรีสาติกุลรัตน์. (2559). การสกัดกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica L.*) ด้วยไมโครเวฟ และการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตอว์เบอร์รี่. *Thai Science and Technology Journal*, 24(2), 288-298.
- ภาควิชาศิลปะไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี. การเตรียมพื้นเขียนภาพจิตรกรรมไทยบนพื้นไม้. In (pp. 1-54).
- วิลาลินี เกิดเกลื่อน. (2553). การเตรียมและการนำแป้งครอสลิงค์ชนิดพอสเฟตไปใช้ประโยชน์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศิริวรรณ ตั้งจิตวิบูลย์กุล และ พิระศักดิ์ ฉายประสาท. (2557). ผลของกัมอาร์บิกที่มีผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวทุเรียนหลงลับแลเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(3), 51-56.
- ศุภชัย สุขีโชติ. (2551). การศึกษาเทคนิควิธีการเขียนจิตรกรรมฝาผนังปูนเปียก.
- สิริการ หนูสิงห์ และ วรางคณา สมพงษ์. (2558). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด และการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica L.*). *Thai Science and Technology Journal*, 23(1), 43-58.
- สุธินี เกิดเทพ. (2551). ไม้และสีงานไม้.

อาภรณ์ ณ สงขลา. (2554). การอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังในประเทศไทย: กรมศิลปากร.



ภาคผนวก

ผลการทดสอบเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 3.00 และ 4.00 %(w/v)

ตารางเปรียบเทียบร้อยละการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 3.00 และ 4.00 %(w/v) ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ร้อยละการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มความเข้มข้น 3.00 %(w/v)		ร้อยละการบวมน้ำของแผ่นฟิล์มความเข้มข้น 4.00 %(w/v)	
	Mean	%RSD	Mean	%RSD
1	177.89 ± 14.34	8.06	133.01 ± 11.07	8.32
5	392.44 ± 16.19	4.13	224.66 ± 18.71	8.33
7	429.17 ± 37.48	8.73	297.22 ± 15.75	5.30
10	540.78 ± 71.58	13.24	367.28 ± 39.26	10.69

ผลการทดสอบความหนืดของน้ำกาวแต่ละชนิด

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตกรรมฝาผนังใช้จริงแบบวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

	Tamarind kernel gum	Acacia gum
Mean	455.3333	84.2
Variance	296.9089	17.46
Observations	4	4
Pearson Correlation	0.585137	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	48.93203	
P(T<=t) one-tail	9.4E-06	
t Critical one-tail	2.353363	
P(T<=t) two-tail	1.88E-05	
t Critical two-tail	3.182446	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จัดกรรมฝาผนังใช้จริงแบบวิเคราะห์ในวันเดียวกัน

	Hemicellulose gum	Acacia gum
Mean	343.6	84.2
Variance	401.77	26.19
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.66549	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	26.31864	
P(T<=t) one-tail	0.00072	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.001441	
t Critical two-tail	4.302653	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จัดกรรมฝาผนังใช้จริงแบบวิเคราะห์ต่างวันกัน

	Tamarind kernel gum	Acacia gum
Mean	435.0333	82.43667
Variance	1563.823	8.977233
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.01748	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	15.41966	
P(T<=t) one-tail	0.00209	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.004179	
t Critical two-tail	4.302653	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถิน และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จัดกรรมฝาผนังใช้จริงแบบวิเคราะห์ต่างวันกัน

	Hemicellulose gum	Acacia gum
Mean	342.13	82.43
Variance	1040.72	8.97
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	-0.58	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	13.19	
P(T<=t) one-tail	0.00	
t Critical one-tail	2.91	
P(T<=t) two-tail	0.00	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จัดกรรมฝาผนังใช้จริงแบบวิเคราะห์ต่างวันกัน

	Hemicellulose gum	Tamarind kernel gum
Mean	342.1333	435.0333
Variance	1040.723	1563.823
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.804157	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	-6.84397	
P(T<=t) one-tail	0.010345	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.020689	
t Critical two-tail	4.302653	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 2 และ 2.5 %(w/v)

	2.50 %(w/v)	2.00 %(w/v)
Mean	1829.00	690.58
Variance	3980.33	1546.86
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	0.50	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	35.90	
P(T<=t) one-tail	0.00	
t Critical one-tail	2.92	
P(T<=t) two-tail	0.00	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1.25 และ 1.50 %(w/v)

	1.50 %(w/v)	1.25 %(w/v)
Mean	711.83	343.60
Variance	2075.09	401.77
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	-1.00	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	9.73	
P(T<=t) one-tail	0.01	
t Critical one-tail	2.92	
P(T<=t) two-tail	0.01	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถินที่ความเข้มข้น 35.00 %(w/v) และ น้ำกาวเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3.00 %(w/v)

	Tamarind kernel gum	Acacia gum
Mean	3293.78	112.50
Variance	55081.61	6.93
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	0.39	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	23.58	
P(T<=t) one-tail	0.00	
t Critical one-tail	2.92	
P(T<=t) two-tail	0.00	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวยางกระถินที่ความเข้มข้น 35.00 %(w/v) และ น้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1.50 %(w/v)

	Hemicellulose gum	Acacia gum
Mean	711.83	112.50
Variance	2075.09	6.93
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	0.98	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	24.16	
P(T<=t) one-tail	0.00	
t Critical one-tail	2.92	
P(T<=t) two-tail	0.00	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำเมล็ดมะขาม และน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสที่ความหนืดใกล้เคียง 100 cP

	Hemicellulose gum	Tamarind kernel gum
Mean	105.2667	89.5
Variance	23.41333	13.39
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.78956	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	3.393407	
P(T<=t) one-tail	0.038476	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.076951	
t Critical two-tail	4.302653	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวเมล็ดมะขามก่อน และหลังสกัดลิวินิตที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จัดกรรมฝาผนังใช้จริง

	Before	After
Mean	455.33	377.27
Variance	445.36	258.57
Observations	3.00	3.00
Pearson Correlation	0.39	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	2.00	
t Stat	6.46	
P(T<=t) one-tail	0.01	
t Critical one-tail	2.92	
P(T<=t) two-tail	0.02	
t Critical two-tail	4.30	

ตารางข้อมูล t-test เปรียบเทียบความหนืดของน้ำกาวเฮมิเซลลูโลสก่อน และหลังสกัดลิกนินที่ความเข้มข้นที่นักอนุรักษ์จิตรกรรมฝาผนังใช้จริง

	Before	After
Mean	343.6	383.5333
Variance	401.77	474.4962
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.09671	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	-2.2315	
P(T<=t) one-tail	0.07767	
t Critical one-tail	2.919986	
P(T<=t) two-tail	0.15534	
t Critical two-tail	4.302653	

ภาพของชั้นรองพื้นบนแผ่นไม้ และก้อนอิฐที่สภาวะต่างๆ



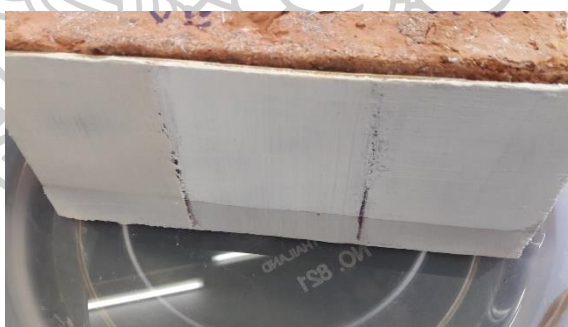
รูปที่ 1 ชั้นรองพื้นที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิต้อง)



รูปที่ 2 ชั้นรองพื้นที่มีสภาวะแสงแดด



รูปที่ 3 ชั้นรองพื้นที่มีสภาวะแรง (ความร้อนจากตู้อบ)



รูปที่ 4 ชั้นรองพื้นที่มีสภาวะแช่น้ำ (น้ำบาดาล)



รูปที่ 5 ชั้นรองพื้นที่มีสถานะแข็งในน้ำ (น้ำตามบ้านเรือน)

ผลการทดสอบค่า L* a* b*

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่มีสถานะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	89.45	0.01	17.67	95.37	-0.86	13.62	93.27	-1.08	12.68
1	88.24	-0.26	17.26	94.48	-1.08	12.55	102.42	-1.27	13.71
2	83.48	-0.14	16.78	97.84	-1.03	13.74	99.11	-1.16	13.06
3	83.46	-0.11	16.94	112.05	-0.94	15.63	111.05	-1.38	14.76
4	84.13	-0.19	16.94	99.16	-1.10	13.66	97.77	-1.26	12.76
5	74.98	-0.09	15.32	105.92	-1.01	14.78	99.72	-1.25	13.17
6	96.06	-0.20	19.01	102.62	-0.78	14.52	99.29	-1.16	13.79
7	83.77	-0.10	16.81	98.98	-0.91	13.98	99.64	-1.22	13.41
8	75.33	-0.15	15.40	99.57	-1.02	13.31	99.64	-1.19	13.54
9	79.93	-0.14	16.41	113.12	-1.18	15.41	98.65	-1.27	13.25
10	95.87	-0.18	19.06	114.28	-1.27	15.38	98.47	-1.09	14.00
Average	84.97	-0.14	17.05	103.04	-1.02	14.23	99.91	-1.21	13.47
SD	7.05	0.07	1.21	7.21	0.14	0.99	4.29	0.09	0.60
%RSD	8.30	-50.49	7.09	7.00	-13.79	6.92	4.29	-7.32	4.43

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	92.23	-0.01	19.15	102.15	-1.21	16.19	97.58	-0.87	12.92
1	91.97	-0.04	18.80	100.47	-1.25	15.66	97.42	-0.99	13.70
2	96.14	-0.02	19.50	103.76	-1.08	16.50	99.26	-0.75	13.58
3	81.33	0.08	17.11	97.67	-0.92	13.70	97.67	-0.92	13.70
4	94.61	0.28	18.90	103.78	-1.13	16.67	98.14	-0.69	13.59
5	91.07	0.18	18.46	112.66	-1.17	17.55	96.77	-0.16	13.04
6	94.98	0.06	19.15	97.93	-0.96	15.71	93.81	-0.86	13.38
7	91.75	0.05	18.31	100.63	-0.92	16.30	94.94	-1.01	13.50
8	81.67	-0.01	16.55	98.35	-1.01	15.31	97.84	-0.84	14.23
9	94.86	0.04	19.27	104.86	-1.06	16.82	97.66	-0.83	14.07
10	94.41	0.21	19.36	96.55	-0.97	15.75	97.43	-0.73	13.70
Average	91.37	0.08	18.60	101.71	-1.06	16.02	97.14	-0.79	13.58
SD	5.14	0.10	0.95	4.58	0.12	1.00	1.52	0.23	0.38
%RSD	5.62	138.29	5.13	4.50	-10.97	6.22	1.56	-29.26	2.83

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (แสงแดด)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	96.09	-0.24	18.70	93.95	-0.90	13.89	104.54	-1.28	13.27
1	96.44	-0.54	17.11	99.00	-1.18	13.56	112.93	-1.37	13.28
2	99.38	-0.50	18.38	99.74	-1.19	13.14	109.92	-0.96	13.99
3	95.31	0.26	16.70	98.19	-1.13	13.83	99.46	-1.25	13.10
4	93.24	-0.59	15.98	99.41	-1.13	13.81	99.58	-0.85	11.90
5	97.20	-0.21	16.32	93.38	-1.10	13.00	99.57	-1.23	12.60
6	97.26	-0.38	16.44	99.45	-1.41	14.06	99.66	-0.85	12.22
7	97.54	-0.75	16.82	98.62	-1.17	13.34	100.35	-1.30	12.44
8	99.29	-0.84	16.64	99.74	-1.23	13.38	100.47	-1.23	12.38
9	88.99	-0.68	15.76	99.70	-1.27	13.56	112.99	-1.47	13.58
10	97.85	-0.57	16.52	99.52	-1.31	13.43	99.74	-1.04	11.98
Average	96.24	-0.46	16.85	98.25	-1.18	13.55	103.57	-1.17	12.79
SD	2.97	0.31	0.92	2.32	0.13	0.33	5.62	0.21	0.69
%RSD	3.08	-67.31	5.44	2.36	-11.09	2.42	5.43	-18.02	5.38

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง
(แสงแดด)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	93.45	-0.31	18.16	103.21	-1.10	14.84	98.60	-1.02	13.23
1	96.85	-0.66	15.94	99.33	-1.19	13.65	97.91	-1.24	14.25
2	97.44	-0.78	15.60	95.33	-1.09	13.08	95.10	-1.13	13.49
3	81.52	-0.52	14.20	98.70	-1.12	13.69	98.70	-1.17	14.12
4	97.50	-0.76	15.94	106.20	-1.15	14.51	97.32	-1.06	13.42
5	96.85	-0.63	16.01	99.73	-1.18	13.41	90.00	-0.96	13.02
6	91.55	-0.68	15.02	99.27	-1.12	13.42	97.86	-1.04	13.67
7	97.68	-0.69	16.10	99.39	-1.07	13.66	98.05	-0.93	13.86
8	98.23	-0.84	15.66	99.76	-1.12	13.40	99.50	-1.12	14.03
9	97.30	-0.64	15.73	106.40	-1.15	14.11	106.55	-1.09	15.29
10	90.37	-0.76	14.71	99.10	-1.10	13.49	97.86	-0.99	13.96
Average	94.43	-0.66	15.73	100.58	-1.13	13.75	97.95	-1.07	13.85
SD	5.06	0.15	1.01	3.34	0.04	0.53	3.86	0.10	0.61
%RSD	5.36	-22.00	6.39	3.32	-3.41	3.84	3.94	-8.92	4.44

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง
(ความร้อนจากตู้อบ)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	93.52	0.69	18.74	98.12	-0.82	13.05	99.43	-0.77	12.49
1	93.80	1.51	19.22	87.87	-0.77	12.29	104.33	-0.70	12.85
2	95.66	0.34	17.95	104.06	-0.65	13.86	99.11	-0.66	12.28
3	97.24	-0.29	16.71	97.25	-0.26	13.14	99.67	-0.93	12.26
4	96.63	-0.13	17.02	98.88	-0.44	14.16	99.49	-0.82	12.52
5	96.61	0.52	16.89	100.92	-0.50	13.84	99.43	-0.59	12.50
6	96.66	0.02	17.14	98.31	-0.83	13.50	99.92	-0.88	12.76
7	93.47	1.23	17.74	99.65	-0.63	13.35	99.91	-0.76	12.41
8	97.44	0.23	17.11	100.60	-0.58	14.13	99.65	-0.52	12.26
9	96.60	0.12	17.38	99.15	-0.17	12.92	99.44	-0.72	12.75
10	96.60	0.38	17.01	99.73	-0.74	13.24	100.26	-0.89	12.21
Average	95.84	0.42	17.54	98.59	-0.58	13.41	100.06	-0.75	12.48
SD	1.51	0.55	0.81	3.99	0.22	0.57	1.45	0.13	0.22
%RSD	1.57	131.46	4.60	4.05	-37.87	4.23	1.45	-16.95	1.80

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง
(ความร้อนจากตู้อบ)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	167.47	-0.66	29.46	179.46	-2.46	22.68	182.45	-2.66	22.73
1	84.91	-0.40	15.96	91.17	-1.24	12.12	93.22	-1.39	12.71
2	95.59	-0.41	17.24	99.98	-1.31	13.20	98.61	-1.33	14.04
3	96.79	-0.69	16.36	98.47	-1.36	13.01	103.49	-1.21	15.03
4	96.34	-0.42	16.87	101.04	-1.15	14.17	98.15	-1.00	14.59
5	96.38	-0.50	16.89	100.52	-1.16	13.85	98.53	-1.29	13.61
6	92.33	-0.56	16.36	99.33	-1.35	13.45	98.65	-0.80	15.20
7	96.88	-0.73	16.07	99.30	-1.37	13.27	102.78	-1.21	14.77
8	91.89	-0.56	15.79	98.87	-1.12	13.03	99.23	-1.19	14.36
9	96.84	-0.69	16.74	99.25	-1.27	13.98	98.69	-1.31	13.62
10	90.73	-0.68	15.59	98.76	-1.01	14.52	97.60	-1.04	14.07
Average	100.56	-0.57	17.58	106.01	-1.35	14.30	106.49	-1.31	14.97
SD	22.50	0.12	3.98	24.50	0.39	2.86	25.33	0.48	2.67
%RSD	22.37	-21.78	22.62	23.11	-28.72	19.98	23.79	-36.49	17.82

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะปกติ
(อุณหภูมิห้อง)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	47.12	30.22	27.27	65.58	36.75	37.20	65.92	36.37	35.64
1	45.53	28.60	25.59	65.40	36.69	37.00	67.47	35.60	35.33
2	49.47	30.90	28.56	65.18	37.16	36.73	67.35	35.13	34.81
3	63.24	37.35	36.06	65.93	36.56	37.02	67.91	35.78	35.59
4	46.10	29.55	25.71	65.74	36.52	37.22	67.54	34.99	34.34
5	82.51	15.58	13.62	66.01	36.00	35.63	67.73	35.09	35.09
6	25.52	45.89	29.18	66.19	36.57	36.51	35.21	68.34	35.43
7	51.19	31.74	31.25	65.79	36.45	36.81	67.77	35.48	35.07
8	50.92	31.57	30.75	65.68	36.45	35.46	63.27	33.52	33.22
9	62.56	38.46	35.72	65.99	36.14	36.33	67.66	35.23	35.24
10	63.10	37.45	33.05	66.62	35.19	34.48	64.94	33.87	33.63
Average	53.39	32.48	28.80	65.83	36.41	36.40	63.89	38.13	34.85
SD	14.42	7.63	6.17	0.39	0.50	0.87	9.63	10.05	0.80
%RSD	27.02	23.49	21.44	0.59	1.39	2.39	15.07	26.36	2.30

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	62.90	37.85	38.02	65.07	37.20	36.11	64.34	37.30	36.82
1	61.57	37.99	35.74	66.28	35.93	34.92	65.66	36.26	35.53
2	61.44	37.76	34.59	66.58	35.61	34.35	65.92	36.70	35.79
3	61.42	37.70	34.90	66.42	35.59	34.72	65.94	35.96	35.32
4	61.47	38.01	34.39	66.31	36.04	34.82	66.58	36.22	35.32
5	64.85	39.28	36.99	67.57	35.16	34.28	61.86	37.72	35.63
6	61.95	38.06	35.56	66.09	35.48	34.31	65.26	36.09	35.06
7	62.02	38.48	36.38	60.61	32.78	31.69	66.30	35.86	35.04
8	61.73	38.06	35.41	60.37	32.81	31.77	66.33	36.01	35.10
9	61.48	37.86	35.38	66.59	35.73	34.72	65.69	36.08	35.11
10	61.67	37.68	35.10	67.74	35.09	33.85	67.83	37.18	36.28
Average	62.04	38.07	35.68	65.42	35.22	34.14	65.61	36.49	35.54
SD	1.02	0.46	1.08	2.54	1.32	1.32	1.51	0.64	0.57
%RSD	1.65	1.21	3.02	3.88	3.76	3.87	2.30	1.74	1.59

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง (แสงแดด)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	52.88	29.43	25.94	65.86	36.59	36.22	68.42	35.98	35.74
1	66.13	34.93	31.02	68.04	36.69	36.43	71.21	35.82	35.20
2	66.27	34.81	30.60	67.21	36.23	35.75	66.82	35.38	34.68
3	69.86	31.99	29.25	67.36	36.16	35.67	68.25	34.92	34.32
4	55.41	26.32	23.66	67.52	35.30	34.43	66.54	34.99	33.71
5	53.21	24.76	22.84	67.75	36.03	35.40	67.00	35.38	34.38
6	69.56	31.84	28.81	67.80	35.78	35.36	74.46	37.63	36.84
7	65.21	35.21	30.68	67.71	36.00	35.84	68.79	35.11	34.70
8	69.23	30.68	27.77	67.30	35.22	34.51	66.95	34.38	33.58
9	66.10	33.75	29.35	67.13	35.58	34.66	71.65	37.11	35.94
10	69.96	31.52	28.27	67.55	35.10	34.20	66.60	34.99	33.93
Average	63.98	31.39	28.02	67.38	35.88	35.31	68.79	35.61	34.82
SD	6.77	3.45	2.77	0.58	0.54	0.76	2.59	0.98	1.02
%RSD	10.57	10.99	9.90	0.85	1.50	2.15	3.76	2.76	2.92

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง
(แสงแดด)

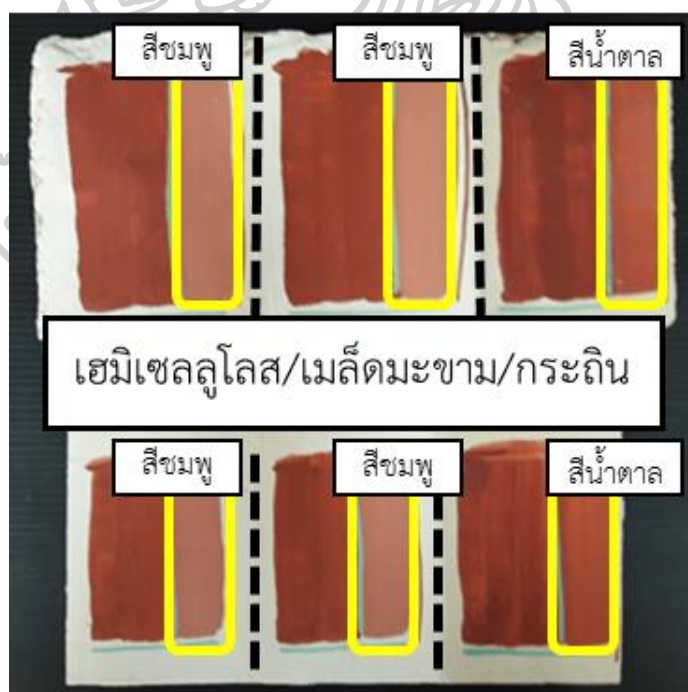
Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	62.70	36.90	36.39	64.46	37.79	36.95	64.67	37.68	37.50
1	63.77	36.00	31.87	65.81	36.66	35.55	64.66	35.61	34.85
2	62.43	37.01	34.29	68.79	39.23	38.16	66.21	36.25	35.28
3	64.04	35.27	30.98	65.38	36.55	35.51	66.11	36.11	35.32
4	56.69	33.19	30.88	65.96	36.36	34.95	66.53	35.74	34.67
5	63.36	35.84	31.82	75.55	42.11	40.98	67.04	35.47	34.78
6	62.89	36.60	34.96	65.48	36.70	35.58	66.64	35.92	34.90
7	60.80	35.60	32.14	65.45	37.04	35.80	64.03	34.24	33.32
8	62.99	35.51	31.53	65.32	37.00	35.77	66.29	35.96	35.06
9	63.98	34.70	30.54	67.48	35.74	34.58	66.71	35.46	34.61
10	57.46	32.59	30.34	65.97	35.84	34.59	70.29	36.80	35.70
Average	61.92	35.38	32.34	66.88	37.37	36.22	66.29	35.93	35.09
SD	2.56	1.42	1.99	3.11	1.84	1.89	1.65	0.86	1.00
%RSD	4.14	4.01	6.14	4.65	4.93	5.21	2.49	2.39	2.85

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนก้อนอิฐที่สภาวะเร่ง
(ความร้อนจากตู้อบ)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	62.31	38.64	34.69	65.18	37.74	37.35	68.31	38.67	38.18
1	59.74	32.41	28.39	66.40	35.66	35.04	68.25	35.45	35.30
2	52.54	28.98	25.41	67.05	34.83	34.34	68.48	35.01	34.99
3	67.71	34.93	31.08	71.61	37.52	36.92	68.30	35.11	35.18
4	65.22	34.28	29.25	66.07	35.26	34.20	69.27	34.46	34.18
5	67.40	34.83	31.04	66.79	35.57	35.18	67.51	35.20	34.96
6	67.38	35.01	10.91	67.26	36.19	35.57	69.04	34.78	34.69
7	67.53	34.48	30.24	67.54	35.18	34.72	68.04	35.54	34.92
8	66.91	34.12	29.64	66.98	35.47	34.77	67.70	34.86	34.46
9	57.33	30.51	27.08	67.85	35.34	35.07	68.18	35.15	34.95
10	66.07	33.64	28.92	66.71	34.54	33.65	67.87	34.40	33.87
Average	63.65	33.80	27.88	67.22	35.76	35.16	68.27	35.33	35.06
SD	5.09	2.53	6.11	1.63	1.02	1.11	0.53	1.17	1.12
%RSD	7.99	7.49	21.91	2.42	2.86	3.15	0.77	3.30	3.20

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ที่สภาวะเร่ง (ความร้อนจากตู้อบ)

Day	Acacia gum			Tamarind kernel gum			Hemicellulose gum		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	62.57	37.64	36.16	66.61	36.79	39.58	65.59	37.44	38.87
1	62.20	35.79	30.97	65.18	36.85	36.32	65.26	37.13	36.23
2	65.07	37.50	32.38	65.28	36.85	36.56	65.28	36.39	35.63
3	62.36	36.60	32.93	65.12	37.13	36.71	51.21	30.88	27.18
4	62.36	36.00	31.44	65.48	36.85	36.25	65.63	36.88	35.84
5	62.60	35.66	31.14	65.36	37.06	36.81	65.72	36.85	36.04
6	62.81	36.14	31.10	65.68	37.16	36.54	65.22	36.97	36.21
7	62.84	36.15	31.38	65.17	36.68	36.12	65.52	36.80	35.88
8	62.77	36.52	32.30	72.58	40.02	39.51	65.09	37.02	36.11
9	63.18	35.36	30.81	72.93	40.69	40.08	65.27	36.93	35.92
10	63.27	35.30	30.46	65.16	36.90	36.16	65.78	36.38	35.18
Average	62.91	36.24	31.92	66.78	37.54	37.33	64.14	36.33	35.37
SD	0.79	0.78	1.60	2.99	1.41	1.56	4.30	1.83	2.87
%RSD	1.25	2.14	5.00	4.47	3.75	4.17	6.70	5.05	8.12



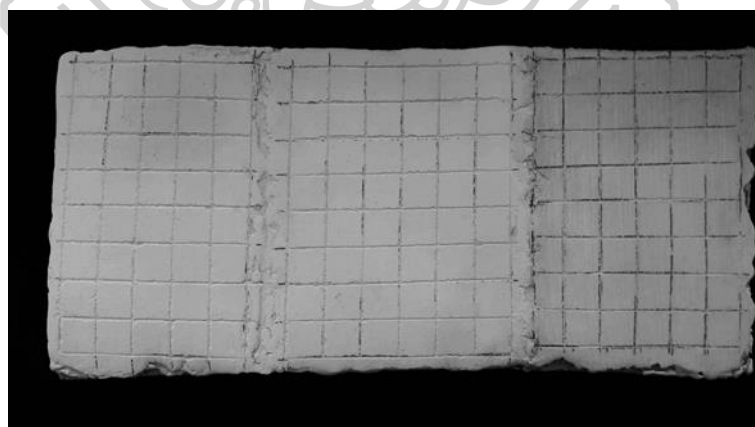
รูปที่ 6 สีฝุ่นจากดินผสมเปลือกหอยบดละเอียดที่ทาบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิด ที่ทาบนก้อนอิฐ และแผ่นไม้ ในวันที่ 0 ที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* สีจากดินผสมเปลือกหอยบดละเอียดที่ทาบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ ในวันที่ 0 ที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

Sample	L*	a*	b*
Acacia gum	37.8262	38.4310	65.1522
Tamarind kernel gum	28.4908	33.0436	87.8097
Hemicellulose gum	25.6356	29.5332	78.2111

ตารางข้อมูลค่า L* a* b* จากดินผสมเปลือกหอยบดละเอียดที่ทาบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้งสามชนิดที่ทาบนแผ่นไม้ ในวันที่ 0 ที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

Sample	L*	a*	b*
Acacia gum	37.0226	34.6666	63.8346
Tamarind kernel gum	26.9542	30.1066	76.4950
Hemicellulose gum	26.6130	30.2352	77.3908



รูปที่ 8 การทดสอบการยึดเกาะของชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 9 การทดสอบการยึดเกาะของสีฝุ่นบนชั้นรองพื้นจากน้ำกาวทั้ง 3 ชนิด

โดยงานวิจัยนี้ได้มีโอกาสนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ ณ งานประชุมต่างๆ โดยในงานประชุม Asian Conference on Analytical Sciences ครั้งที่ 13 ตั้งแต่วันที่ 8 -11 ธันวาคม 2559 ที่จังหวัดเชียงใหม่ ได้พูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับ Prof. Gary D. Christian ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในด้าน Analytical chemistry และได้ตีพิมพ์ผลงานลงในวารสาร Veridian E-Journal



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนทัต ไทรงาม
วัน เดือน ปี เกิด	9 พฤศจิกายน 2535
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ.นครปฐม
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2550 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมต้น จากโรงเรียน พรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมปลาย จากโรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชา เคมีวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ประสบการณ์ : ผู้ช่วยคุมปฏิบัติการรายวิชา เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (ว. 32207) โรงเรียนสิรินธรราชวิทยาลัย โครงการสนับสนุนการจัดตั้งห้องเรียนวิทยาศาสตร์โดยการกำกับดูแลของ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี พ.ศ. 2560-2561 Analytical chemistry laboratory I (513 233), II (513 234) ปี พ.ศ. 2560 General chemistry laboratory (513 105) ปี พ.ศ.2559
ที่อยู่ปัจจุบัน	587/8 ต.ท่ายาง อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี 76130 E-mail : tanatat.sai@gmail.com
ผลงานตีพิมพ์	Saingam, T., Lertsiri, K. and Thepsuparungsikul, N., (2016) Comparison of binders in ground layer for restoration of Thai mural painting. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University, 3(5): 173-181 การนำเสนอผลงานวิจัย: Saingam T., Butdee P., Suwannatee H., Lertsiri K and Thepsuparungsikul N., Preparation of hemicellulose binder from

tamarind seeds for restoration of Thai mural painting. Poster presentation at 13th Asian Conference on Analytical Science, Chiang Mai, Thailand, 8th-11th December 2016.

Saingam T., Supphratthanya P., Saensook K., Wilawan S., Innoy P., Rodthanom W., Jabthien J., Chumpuphol N., Sangsuk O., Jeenbubpha T. Thepsuparungsikul N., Study of binder in ground layers for restoration of Thai mural painting. Poster presentation at Pure and Applied Chemistry International Conference 2015, Bangkok, Thailand, 9th-11th February 2016.

Thepsuparungsikul N., Lertsiri K., Pusomjit P., Saingam T., Study of binder in ground layers of Thai mural painting. Oral presentation at 4th Asia Pacific Tropical Climate Conservation Art Research Network, Kaohsiung, Taiwan, 25th-27th November 2015.

