การปรับปรุงดินสอพองด้วย PVA/กัมอะราบิค/แป้งดัดแปร สำหรับวัสดุรองพื้นในงานสีฝุ่น

DEVELOPMENT OF MARL AS FOUNDATION MATERIALS IN TEMPERA PAINTING WITH PVA/ARABIC GUM/ MODIFIED STARCH

ธนวรรณ ภัทรสัตยากร
ภิญญลักษณ์ วิเศษรักสกุล
อานนท์ ช่วงโชติ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงดินสอพองด้วย PVA/กัมอะราบิค/แป้งดัดแปร สำหรับวัสดุรองพื้นในงานสีฝุ่น

DEVELOPMENT OF MARL AS FOUNDATION MATERIALS IN TEMPERA PAINTING WITH PVA/ARABIC GUM/ MODIFIED STARCH

T149439

ธนวรรณ ภัทรสัตยากร
ภิญญูลักษณ์ วิเศษรักสกุล
อานนท์ ช่วงโชติ

b 12886385
i

เลขหมู่
เลขทะเบียน 149439
วัน.เดือน.ปี 8 มิ.ย. 2561

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF MARL AS FOUNDATION MATERIALS IN TEMPERA PAINTING WITH PVA/ARABIC GUM/ MODIFIED STARCH

TANAWAN PATTARASATTAYAKORN
PINYALAK WISETRAKSAKUN
ARNON CHUANGCHOTE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงดินสอพองด้วย PVA/กัมอะราบิค/แป้งดัดแปร สำหรับวัสดุรองพื้นในงานสีฝุ่น Development of Marl as Foundation Materials in Tempera Painting with PVA/Arabic Gum/Modified Starch		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนวรรณ ภัทรสัตยากร		รหัสนักศึกษา 55050677
	นางสาวภิญญลักษณ์ วิเศษรักสกุล		รหัสนักศึกษา 55050766
	นายอานนท์ ช่วงโชติ		รหัสนักศึกษา 55050875
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วรา ชัยนิตย์		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ดร.การุณย์ สาดอ่อน กรรมการ	
ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
อาจารย์วรา ชัยนิตย์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงดินสอพองด้วย PVA/กัมอะราบิค/แป้งดัดแปร สำหรับวัสดุ-รองพื้นในงานสีฝุ่น	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนวรรณ ภัทรสัตยากร	รหัสนักศึกษา 55050677
	นางสาวภิญญลักษณ์ วิเศษรักสกุล	รหัสนักศึกษา 55050766
	นายอานนท์ ช่วงโชติ	รหัสนักศึกษา 55050875
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วรา ชัยนิตย์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมวัสดุรองพื้นโดยมีองค์ประกอบหลักเป็นดินสอพองเพื่อใช้ในงานสีฝุ่น เนื่องจากปัญหาการหลุดลอกของตัววัสดุรองพื้นและปัญหาในการม้วนเก็บที่ส่งผลกับงานศิลปะที่ใช้เทคนิคสีฝุ่นทำให้เกิดรอยแตกเมื่อได้รับการดัดหรืองอ ดังนั้นเพื่อพัฒนาให้พื้นผ้าใบไม่เกิดการหลุดลอกได้ง่าย ไม่เกิดการแตก หรือรอยแยกเมื่อทำการม้วนเก็บ รวมถึงความสามารถของวัสดุรองพื้นในการยึดติดกับตัวสีฝุ่น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารยึดติด ได้แก่ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVA) ซึ่งมีสมบัติการยึดติดและให้ความยืดหยุ่นที่ดี กัมอะราบิค (Arabic gum) มีสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี (Binder) และแป้งมันสำปะหลังที่ได้รับการดัดแปรด้วยเอนไซม์ อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) ซึ่งมีราคาถูก โดยแบ่งสูตรวัสดุรองพื้นเป็น 2 ประเภทคือ สูตรวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียวและสูตรที่ใช้สารยึดติดผสม ทำการผสมดินสอพองกับสารยึดติดโดยใช้อัตราส่วนต่าง ๆ จากนั้นบดให้เป็นผงละเอียด โดยควบคุมขนาดอนุภาค 5-11 ไมโครเมตร นำไปขึ้นรูปชิ้นงานแบบบางและแบบหนาให้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.1 มิลลิเมตร และ 0.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ นำสูตรวัสดุรองพื้นไปศึกษาลักษณะทางกายภาพ, ความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติด และความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าสัดส่วนของสารละลายสารยึดติดที่เหมาะสมคือ 6 มิลลิลิตรต่อดินสอพอง 20 กรัม สูตรสารยึดติดผสมระหว่างพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับกัมอะราบิคที่ 2:4 โดยปริมาตร (สูตร P2G4) เป็นสูตรที่เหมาะสมและได้รับความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญมากที่สุด

คำสำคัญ : กัมอะราบิค ดินสอพอง แป้งมันสำปะหลังดัดแปร พอลิไวนิลอัลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Marl as Foundation Materials in Tempera Painting with PVA/Arabic Gum/Modified Starch
Students	Miss Tanawan Pattarasattayakorn Student ID 55050677
	Miss Pinyalak Wisetraksakun Student ID 55050766
	Mr. Arnon Chuangchote Student ID 55050875
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Asst.Prof.Dr. Pathavuth Monvisade
Co-Advisors	Mr. Vara Chaiyanitaya

Abstract

This research studied on the preparation of marl-based foundation materials for using in tempera painting. Adhesives i.e., poly(vinyl alcohol) (PVA) which provides great adhesion and elasticity, arabic gum which offers good binding efficiency, and α-amylase modified cassava starch which is low price were used in order to avoid flaking off and cracking when bending or flexing of the substrate. The formulae were divided into two types: single adhesive and mixed adhesives. The substrates were prepared by blending marl with various amounts of adhesives followed by grinding with controlling size of particles at 5-11 μm and shaping into thick pieces (0.3 mm) and thin pieces (0.1 mm). Thereafter, the physical surfaces, the ability of bending and adhesions, and the compatibility between the substrate and tempera painting layer were studied. The results showed that the proper ratio of adhesives solution was 6 ml. per 20 grams of marl. Furthermore, the most satisfaction formula recommended by professionals was P2G4 which contained PVA and arabic gum at the volume ratio of 2:4.

Keywords : Arabic gum, Marl, Modified starch, Poly(vinyl alcohol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อแนะนำและแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ เป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือและตรวจทานโครงงานพิเศษนี้ ทำให้การจัดทำโครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วรา ชัยนิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ดร.การุณย์ สาดอ่อน อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากกับงานวิจัยและช่วยตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุเมธ พงศ์ชินฤทธิ์ และ อาจารย์ผ่อง เซ่งกิ่ง ที่ให้ความกรุณาในการทดสอบตัวอย่างชิ้นงาน ในโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความกรุณาอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อขอยืมอุปกรณ์ การเบิกสารเคมีในการทดลอง รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อนและพี่นักศึกษาปริญญาโทและเอก ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การศึกษาตลอดระยะเวลา 4 ปี และให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานจนสำเร็จการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธนวรรณ ภัทรสัตยากร
ภิญญลักษณ์ วิเศษรักสกุล
อานนท์ ช่วงโชติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 จิตรกรรมสีฝุ่น (Tempera painting) 4

2.1.1 จิตรกรรมสีฝุ่นสากล 4

2.1.2 จิตรกรรมสีฝุ่นไทย 5

2.1.3 ระนาบรองรับสำหรับสีฝุ่น 6

2.1.4 การเตรียมพื้น 6

2.1.5 ผงสี (Pigment) 8

2.2 ดินสอพอง (Marl) 8

2.2.1 องค์ประกอบของดินสอพอง 8

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากดินสอพอง 8

2.3 กัมธรรมชาติ (Natural gums) 9

2.3.1 กัมอะราบิค (Gum Arabic) 9

2.4 แป้ง (Starch) 11

2.4.1 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง 11

2.4.2 สมบัติของแป้ง 14

2.4.3 แป้งมันสำปะหลัง 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 แป้งดัดแปร (Modified Starch) 20
2.5.1 การดัดแปรทางเคมี 21
2.6 เอนไซม์ (Enzymes) 24
2.7 พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) 26
2.7.1 สมบัติของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 27
2.7.2 การเตรียมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 29
2.7.3 การนำไปใช้ประโยชน์ 29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 33
3.1 สารเคมี 33
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 33
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย 34
3.3.1 การเตรียมสารละลายกัมอะราบิค 34
3.3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol),PVA) 34
3.3.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 M และ 1.0 M 34
3.3.4 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอลิก (HCl) 34
3.3.5 การเตรียมแป้งดัดแปร (Modified starch) 34
3.4 ขั้นตอนการเตรียมสูตรวัสดุรองพื้น 35
3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง 36
3.5.1 การเตรียมชิ้นงานแบบบาง 37
3.7.1 การเตรียมชิ้นงานแบบหนา 39
3.6 การทดสอบ 40
3.6.1 การหาค่าความหนืด 40
3.6.2 การตรวจวัดขนาดอนุภาค 41
3.6.3 การทดสอบการหลุดลอก 41
3.6.4 การทดสอบความสามารถในการดัดโค้ง 41
3.6.5 การทดสอบความทนทานต่อน้ำ 42
3.6.6 การทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้น 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 43

4.1 ความหนืดของสารละลายสารยึดติดที่ใช้ผสมกับดินสอพอง 43

4.2 การตรวจวัดขนาดอนุภาค 44

4.3 ความหนาของชิ้นงาน 46

4.4 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุรองพื้น 47

4.5 ผลการทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติด 48

4.6 ความทนทานต่อน้ำ 53

4.7 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียว 56

4.8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุรองพื้นสูตรที่ใช้สารยึดติดผสม 57

4.9 ความหนาของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 57

4.10 การทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของชิ้นงาน ที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 58

4.11 ความทนทานต่อน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 59

4.12 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 60

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 63

5.1 สรุปผลการวิจัย 63

5.2 ข้อเสนอแนะ 64

เอกสารอ้างอิง 65

ภาคผนวก 68

ภาคผนวก ก. ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้น 69

ภาคผนวก ข. ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนา 73

ภาคผนวก ค. ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบบาง 83

ภาคผนวก ง. ภาพแสดงการหลุดลอกของสูตรวัสดุรองพื้น 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเปคตินในแป้งแต่ละชนิด 14

2.2 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 27

2.3 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ เมื่อองศาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (มวลโมเลกุล) มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง 28

2.4 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ เมื่อองศาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง 28

3.1 องค์ประกอบของสูตรวัสดุรองพื้น 35

4.1 ความหนืดของสารละลายที่ใช้ผสมกับดินสอพอง 43

4.2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุรองพื้น 45

4.3 ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงาน 46

4.4 ความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของสูตรที่มีสารยึดติดประเภทเดียว 49

4.5 การขยายตัวของหยดน้ำ 55

4.6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้สารยึดติดผสม 57

4.7 ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 58

4.8 ตารางบันทึกผลการทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของสูตรสารยึดติดผสม 58

4.9 การขยายตัวของหยดน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 จิตรกรรมฝาผนังอุโบสถ วัดใหญ่สุวรรณาราม จังหวัดเพชรบุรี	1
1.2 Madonna and Child by Duccio, จิตรกรรมสีฝุ่นและทองบนพื้นไม้, 1284, Siena	2
2.1 รูปสีฝุ่น	7
2.2 ดินสอพอง	8
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Gum Arabic	10
2.4 โครงสร้างอะไมโลส	12
2.5 โครงสร้างอะไมโลเปคติน	13
2.6 การพองตัวของเม็ดแป้ง	15
2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	16
2.8 DSC thermogram ของแป้ง	17
2.9 ขั้นตอนการผลิตแป้งดัดแปร	21
2.10 ภาพโครงสร้างเอนไซม์อะไมเลส	24
2.11 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์	26
2.12 ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลอะซิเทตนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์และพอลิไวนิลอะซิทาล	30
3.1 ผ้าดิบขนาด 5x20 ตารางเซนติเมตร	37
3.2 ผ้าดิบขนาด 12x12 ตารางเซนติเมตร	37
3.3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	37
3.4 ชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ	38
3.5 บล็อคสกรีนขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร	38
3.6 อุปกรณ์ในการผสมวัสดุรองพื้น	39
3.7 การปาดสูตรวัสดุรองพื้นลงบนผ้าดิบผ่านบล็อคสกรีน	39
3.8 ชิ้นงานตัวอย่างที่แปะขอบด้วยเทปกาวที่มีความหนา 0.3 มิลลิเมตร	40
3.9 การปาดสูตรวัสดุรองพื้นลงบนผ้าดิบ	40
4.1 รูปอนุภาคเฉลี่ยของสูตร P7	44
4.2 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร P6	47
4.3 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร G6	48
4.4 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร S6	48
4.5 ภาพแสดงรอยแตกระดับ 0 จากสูตร S4 แบบบาง (ทดสอบแบบม้วนเข้า)	50

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ภาพแสดงรอยแตกระดับ 1 จากสูตร S4 แบบบาง (ทดสอบแบบม้วนออก)	50
4.7	ภาพแสดงรอยแตกระดับ 2 จากสูตร P5 แบบหนา (ทดสอบแบบม้วนเข้า)	51
4.8	ภาพแสดงรอยแตกระดับ 3 จากสูตร S6 แบบหนา (ก) และ G3 แบบหนา (ข) (ทดสอบแบบม้วนออก)	51
4.9	ภาพแสดงการหลุดลอกจากสูตร P6 (ไม่เกิดการหลุดลอก)	52
4.10	ภาพแสดงการหลุดลอกจากสูตร S4 (เกิดการหลุดลอก)	52
4.11	การขยายตัวของหยดน้ำ (ก) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (ข) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมกัมอะราบิค (ค) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมแป้งดัดแปร	54
4.12	ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียว โดยผู้เชี่ยวชาญ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P8 (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร S7 (ค) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร G5 และ (ง) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร G6	56
4.13	การขยายตัวของหยดน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม	59
4.14	ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P2G4 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4S2	60
4.15	ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่ไม่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3G3 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3S3	61
4.16	ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P2G4 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3S3	61
4.17	ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่ไม่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4G2 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4S2	62
ก-1	ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร P3-P8	69
ก-2	ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร P9-P10 และ G3-G8	70
ก-3	ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร G9-G10 และ S3-S8	71
ก-4	ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร S9-S10 และ P2G4-P4S2	72
ข-1	ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P3-P5	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-2 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P6-P8	74
ข-3 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P9-P10 และ G3	75
ข-4 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G4-G6	76
ข-5 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G7-G9	77
ข-6 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G10 และ S3-S4	78
ข-7 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร S5-S7	79
ข-8 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร S8-S10	80
ข-9 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร P2G4, P3G3 และ P4G2	81
ข-10 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร P2S4, P3S3 และ P4S2	82
ค-1 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P3-P5	83
ค-2 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P6-P7 และ P10	84
ค-3 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G3-G5	85
ค-4 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G6-G8	86
ค-5 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G9-G10 และ S3	87
ค-6 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S4-S6	88
ค-7 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S7-S9	89
ค-8 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S10, P2G4 และ P3G3	90
ค-9 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P4G2, P2S4 และ P3S3	91
ค-10 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P4S2	92
ง-1 ภาพแสดงการหลุดลอกของสูตรวัสดุรองพื้น	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PVA หรือ P	พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol))
G	กัมอะราบิค (Arabic Gum)
S	แป้งดัดแปร (Modified Starch)
HCl	กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid)
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)
cP	เซนติพอยส์ (Centipoise)
% w/v	ปริมาณร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
rpm	รอบต่อนาที (Round per minute)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสร้างสรรค์งานศิลปะในกลุ่มงานด้านจิตรกรรมนั้นเป็นงานศิลปะที่แสดงออกด้วยการวาด, ระบายสี และจัดองค์ประกอบความงามอื่น ๆ เพื่อให้เกิดภาพ 2 มิติ ซึ่งมีเทคนิคที่ใช้ในการวาดหลากหลาย เช่น สีฝุ่น สีน้ำ สีอะคริลิก สีน้ำมัน เป็นต้น โดยแต่ละเทคนิคที่ใช้นั้นจะมีคุณสมบัติเฉพาะและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้แตกต่างกันออกไป สีฝุ่นเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ใช้เขียนภาพมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเขียนบนระนาบรองรับที่เป็นพื้นแข็ง เช่น ผนังอาคาร พระอุโบสถ พระวิหาร พระระเบียง พระที่นั่ง หอไตร หรือหลังบานประตูหน้าต่าง [1] ซึ่งการใช้สีฝุ่นนั้นมีข้อดีคือภาพที่ได้จะมีลักษณะที่เรียบเนียน มีเฉดสีที่หลากหลาย นอกจากนี้สีฝุ่นยังมีสมบัติไม่ติดไฟง่าย ทนต่อแรงกระแทก การขูดขีด ไม่มีไอหรือสารระเหย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญยังมีต้นทุนต่ำกว่าสีน้ำมัน [2] ทำให้ในปัจจุบันมีการนำสีฝุ่นมาเขียนลงบนผ้าใบมากขึ้น การเตรียมพื้นสำหรับงานสีฝุ่นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยมักจะใช้ดินสอพองเพื่อใช้เป็นตัวรองรับสีและใช้ปิดทับรูที่เกิดจากการทอของผ้า เนื่องจากรูบนผ้าเป็นสาเหตุที่ทำให้ภาพที่ได้เกิดลวดลายไม่สมบูรณ์ และสีฝุ่นมีลักษณะที่เป็นผงสีละเอียดโดยในการใช้งานจะมีการผสมกาวที่ได้จากธรรมชาติ คือ กัมจากเมล็ดมะขามและ/หรือกัมอะราบิค วิธีการนี้จะถูกใช้ในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญโดยสัดส่วนการใช้จะเฉพาะตามเทคนิคศิลปินแต่ละท่าน จะต้องอาศัยความชำนาญในการใช้งาน [3] หากการเตรียมวัสดุรองพื้นไม่ถูกต้องเหมาะสมกับสีฝุ่น จะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการหลุดลอก เกิดการล่อนได้ง่าย นอกจากนี้ในงานสีฝุ่นที่เขียนลงบนพื้นผ้าใบอาจเกิดปัญหารอยแตก หากได้รับการพับหรือการดัดงอ เมื่อทำการม้วนเก็บภาพซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานสีฝุ่น

รูปที่ 1.1 จิตรกรรมฝาผนังอุโบสถ วัดใหญ่สุวรรณาราม จังหวัดเพชรบุรี [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.2 Madonna and Child by Duccio, จิตรกรรมสีฝุ่นและทองบนพื้นไม้, 1284, Siena [5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมสูตรในการทำวัสดุรองพื้นเพื่อพัฒนาให้สีบนพื้นผ้าใบไม่เกิดการหลุดลอกได้ง่าย รวมถึงไม่เกิดการแตก หรือรอยแยกเมื่อทำการม้วนเก็บ โดยใช้พอลิไวนิล-อัลกอฮอล์ (PVA) ซึ่งมีสมบัติการยึดติดที่ดีมาผสมกับกัมอะราบิค (Gum arabic) ที่มีสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี (Binder) และแป้งมันสำปะหลังที่ได้รับการดัดแปรด้วยเอนไซม์ อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) โดยศึกษาสมบัติการยึดติด, ความสามารถในการดัดโค้งของวัสดุที่ใช้รองพื้นผ้าใบ, ความทนทานต่อน้ำและความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวัสดุรองพื้นให้มีการยืดหยุ่น, การยึดติดที่ดี และมีความเข้ากันได้กับชั้นสีฝุ่น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมสารละลายของวัตถุดิบ ได้แก่
   - สารละลายกัมอะราบิค (Gum arabic)
   - สารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA)
2. เตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส (α-amylase)
3. เตรียมสูตรของวัสดุรองพื้นผ้าใบโดยใช้วัสดุดังนี้

- พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) เกรด GL-05 บริษัท Chemasia Limited
- กัมอะราบิค (Gum arabic)
- แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca flour)
- ดินสอพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สูตรดินสอพองผสมเจลาติน

นำผงเจลาติน 1 ส่วนผสมกับน้ำ 8 ส่วนพร้อมให้ความร้อนประมาณ 15 นาทีจนผงเจลาตินละลายจนหมดและมีการใส่สารส้มผสมลงไปเพื่อป้องกันการเสียสภาพของเจลาติน โดยวิธีการใช้งานจะนำสารละลายเจลาตินผสมกับดินสอพองด้วยอัตราส่วนเท่า ๆ กัน

5. สูตรดินสอพองผสมกาวลาเท็กซ์

นำดินสอพองแช่ในน้ำด้วยอัตราส่วน 2:1 จากนั้นเติมกาวลาเท็กซ์ 1 ส่วนแล้วคนให้เป็นเนื้อเดียวกันพร้อมนำไปใช้งาน

ทั้งหมดนี้เป็นเพียงตัวอย่างสูตรที่ใช้เตรียมพื้นสำหรับงานสีฝุ่น โดยสัดส่วนที่ใช้อาจไม่แน่นอนซึ่งศิลปินแต่ละท่านจะปรับอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบตามความเหมาะสม

2.1.5 ผงสี (Pigment) [8]

ผงสี คือ วัสดุที่สามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผงสีแต่ละชนิด ผงสีมีความแตกต่างจากสีย้อม (Dye) คือ สีย้อมสามารถละลายในตัวกลางได้ แต่ผงสีทำได้เพียงกระจายตัวอยู่ในตัวกลางเท่านั้น ซึ่งผงสีมีการใช้งานทั้งในงานศิลปะ, การก่อสร้าง, อุตสาหกรรมการพิมพ์, อุตสาหกรรมพลาสติก รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางค์ โดยสามารถแบ่งประเภทของผงสีได้ [9] ดังนี้

1. ผงสีอินทรีย์ (Organic pigment) ผงสีประเภทนี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ อาจได้จากธรรมชาติ หรือ สังเคราะห์ขึ้นมา ได้แก่ สารอินทรีย์ในกลุ่ม Azo dyes ที่ได้จากธรรมชาติกลุ่ม Isocyanates และกลุ่ม Organometallic ฯลฯ ตัวอย่างผงสีอินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ Hansa yellow, Carbon black, Phthalocyanide blue เป็นต้น

2 ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigment) ผงสีประเภทนี้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ส่วนมากได้แก่ สารประกอบออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ เช่น Iron oxide, Chrome yellow, Titanium dioxide เป็นต้น

รูปที่ 2.1 รูปสีฝุ่น [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ดินสอพอง (Marl) [10]

2.2.1 องค์ประกอบของดินสอพอง

ดินสอพอง หรือ มาร์ล เป็นผงแร่ที่ได้จากธรรมชาติ มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีขาวขุ่น ขาวออกเหลืองขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ นิยมนำมาใช้สำหรับร่างกายในด้านความสวยความงาม และมีใช้ในภาคครัวเรือน และอุตสาหกรรมบางส่วน

ดินสอพองมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ผสมอยู่มากกว่า 80% [11] และแร่ดินเหนียว หรือเรียกว่า หินปูนเนื้อดิน รวมถึงส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม ซิลิกา เหล็ก และอาราโกไนต์ เป็นต้น สามารถพบได้ในชั้นดินที่มีกลุ่มของหินปูนเนื้อดินซึ่งจะพบอัตราส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าแร่ดินเหนียว ลักษณะของกลุ่มดินสอพองที่พบในชั้นดินจะมีลักษณะเป็นกลุ่มดินสีขาวขุ่นแทรกตัวอยู่ในชั้นดิน

รูปที่ 2.2 ดินสอพอง [12]

2.2.2 การใช้ประโยชน์จากดินสอพอง [10]

1. ใช้สำหรับเป็นส่วนผสมสำหรับประทินผิว และในด้านความสวยความงามต่าง ๆ

2. ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน เนื่องจากมีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ที่ให้ความเป็นด่างได้ดีสำหรับปรับสภาพดินที่เป็นกรด และสำหรับการฆ่าเชื้อในดิน นอกจากนั้น ยังมีส่วนประกอบของแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียมที่อยู่ในรูปสารประกอบต่าง ๆ สามารถเป็นแร่ธาตุอาหารให้แก่พืชได้

3. ใช้สำหรับการปรับความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ ทำให้น้ำมีสภาพเป็นด่างมากขึ้น เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสีย หรือ เติมเพื่อปรับสภาพน้ำในแหล่งน้ำขังตามบ้าน ฟาร์ม แปลงเกษตร เป็นต้น

4. ใช้สำหรับการฆ่าเชื้อในดิน ฆ่าเชื้อในแหล่งน้ำ เช่น ใช้โรยฆ่าเชื้อบริเวณฟาร์มหรือคอกปศุสัตว์ เป็นต้น

5. ใช้ในงานไม้ งานก่อสร้าง เช่น การรองพื้นก่อนทาสี การปะปิดร่องหรือรูไม้ รูผนังปูน เป็นต้น

6. ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิ

– อุตสาหกรรมผลิตปูน เช่น เป็นส่วนผสมของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ขาว

– อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ เช่น ใช้ขัดผิวไม้ ขัดเฟอร์นิเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– อุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ เช่น ใช้ขัดทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ทอง ทองแดง เงิน นาค อะลูมิเนียมผลิตภัณฑ์โลหะอื่น ๆ

2.3 กัมธรรมชาติ (Natural gums) [13]

กัม (Gum) จากแหล่งธรรมชาติเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซคคาไรด์ และอนุพันธ์ของพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่แหล่งที่พบในธรรมชาติจะมาจากพืชชนิดต่าง ๆ และจุลินทรีย์ กัมที่ได้นั้นสามารถละลายได้ในน้ำเย็น น้ำอุ่น และน้ำร้อน โดยสารละลายที่ได้จะมีความหนืดสูง มีลักษณะข้นเหนียว แม้จะมีความเข้มข้นของกัมน้อยก็ตาม ดังนั้น จึงมีการนำกัมที่ได้จากแหล่งธรรมชาติมาใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารโดยจะทำหน้าที่เป็นสารข้นหรือสารเพิ่มความหนืด, สารช่วยในการเกิดเจลอิมัลซิไฟเออร์หรือสารเพิ่มเสถียรภาพ

กัมจากแหล่งธรรมชาติมีที่มาจากหลายแหล่ง โดยสามารถจำแนกแหล่งที่มาได้เป็น 3 แหล่งใหญ่ ดังนี้

1. กัมจากสาหร่ายทะเล (Algae source) เช่น อะการ์ (Agar), อัลจิน-อัลจิเนต (Algin-alginate), คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

2. กัมจากพืช (Botanical source) จะได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น

2.1 Plant exudates เช่น กัมอะราบิค (Gum arabic), กัมคารายา (Gum karaya)

2.2 Seed gums เช่น เมล็ดมะขาม, กัวร์กัม (Guar gum), Lucust bean gum

2.3 Plant tissue เช่น Larch gum, เปคติน (Pectin)

3. กัมจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Microbial gums) เช่น แซนแทนกัม (Xanthan gum)

การใช้ประโยชน์ของกัมจากธรรมชาติ

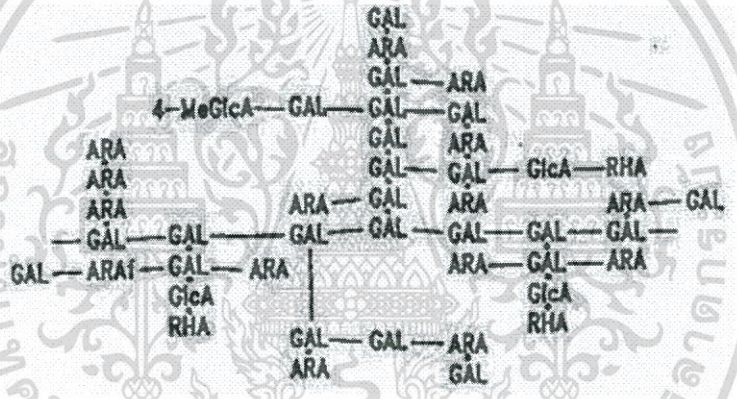
- ใช้ประโยชน์ในรูปของเจล (Gels)
- ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifiers)
- ใช้เป็นกาวและสารยึดติด (Adhesives and binders)
- สารช่วยในการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม (Film formers)
- สารหล่อลื่น (Lubricants)
- สารเพิ่มความหนืดหรือสารข้น (Thickeners)

2.3.1 กัมอะราบิค (Gum Arabic)

กัมอะราบิค หรือ กัมอะคาเซีย (Gum Acacia) เป็นกลุ่มของกัมที่ได้จากยางของต้นไม้มีลักษณะเป็นเรซินที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งยางจะไหลออกมาเมื่อต้นไม้เกิดรอยบาดแผล โดยกัมอะราบิคนั้นเป็นกัมที่ได้จากต้น Acacia senegal และ Acacia seyal น้ำยางจะไหลเกาะกันเป็นก้อน เมื่อสัมผัสกับความร้อนจากแสงแดด จะแห้งแข็งตัว ซึ่งมีลักษณะใสคล้ายแก้วเกาะอยู่ตามกิ่งก้านและลำต้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืช มีสีแตกต่างกันไปตั้งแต่สีขาวใสจนถึงสีเหลืองอำพัน รูปทรงมองดูคล้ายหยดน้ำ ทรงกลมรี กัมอะราบิคเป็นสารในกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อนประเภทเฮทเทอโรแซคคาไรด์ และมีไนโตรเจนจำนวนเล็กน้อยเป็นองค์ประกอบ โดยที่องค์ประกอบจะแตกต่างกันเล็กน้อยตามแหล่งที่มา ภูมิอากาศ ฤดูกาลและอายุของต้น ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานที่อยู่ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาล คือ กาแลคโทส (44%), อะราบิโนส (24%), กรดกลูคูโรนิค (14.5%), แรมโนส (13%) และ 4-O-Methylglucuronic acid (1.5%) กัมที่ได้จากต้น Acacia seyal จะมีปริมาณแรมโนส และ กรดกลูคูโรนิคต่ำกว่าต้น Acacia senegal แต่มีปริมาณ Arabinose และ 4-O-Methylglucuronic acid สูงกว่า นอกจากนี้ในโมเลกุลยังประกอบด้วย Amino acid ได้แก่ Hydroxyproline และ Serine



GAL = Galactose ARA = Arabinose

GlcA = Glucuronic acid RHA = Rhamnose

4-MeGlcA = 4-O-methylglucuronic acid

รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของ Gum Arabic [14]

สมบัติของกัมอาระบิค [15]

1) กัมอะราบิค เป็นสารประกอบที่ได้จากธรรมชาติที่ไม่มีสี ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษต่อร่างกายและมลภาวะ นอกจากนี้กัมอะราบิคยังเป็นสารประกอบที่ไม่ให้พลังงาน จึงนิยมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ หรือ ปราศจากน้ำตาล
2) การละลายกัมอะราบิคนั้นสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อน น้ำเย็น หรือน้ำที่อุณหภูมิปกติ โดยจะให้สารละลายที่มีสีตั้งแต่เหลืองอ่อนจนถึงน้ำตาลส้ม แต่กัมที่ได้จาก Acacia senegal มีโครงสร้างที่เป็นกิ่งแขนงมากและโมเลกุลอัดกันแน่น จึงทำให้ได้สารละลายที่ข้นหนืดที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นสูง สามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นสูงถึง 55% และสารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ จึงทำให้กัมอะราบิคมีสมบัติที่แตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นซึ่งสามารถละลายได้สูงสุดเพียง 5% เนื่องจากสารละลายที่ได้มีความหนืดสูง

3) พฤติกรรมการไหลและความหนืด สารละลายกัมอะราบิคจะให้ความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น จะให้ความหนืดสูงมากจนมีลักษณะข้นหนืดคล้ายเจล และความหนืดของกัมอะราบิคนี้จะคงอยู่ได้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ช่วงกว้างคือ 4–10 ความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือเมื่อเติมเกลือลงไป ส่วนพฤติกรรมการไหลที่ความเข้มข้นต่ำ จะเป็นการไหลแบบ Newtonian ซึ่งไม่พบในสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความเข้มข้นสูง จะเป็นการไหลแบบ Pseudoplastic
4) สารละลายกัมอะราบิคมีความเป็นกรดเล็กน้อย
5) กัมอะราบิคมีสมบัติการดูดความชื้นได้ดี ทำให้ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานภายนอก
6) กัมอะราบิคมีประสิทธิภาพสูงในการทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion) เนื่องจากโครงสร้างที่มีส่วนที่เป็นกรดอะมิโนซึ่งสามารถดูดซับจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้อย่างดีและแข็งแรง ช่วยป้องกันการเกิด Coalescene in emulsion และในส่วนโครงสร้างที่เป็น Arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นสมบัติที่เหมาะสมมากในการผลิตอิมัลชัน

2.4 แป้ง (Starch) [16]

แป้ง คือ คาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นอาหารที่ให้พลังงานสูงได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ เมื่อ n มีจำนวนไม่น้อยกว่า 1,000 โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเปคติน ส่วนที่เป็นอะไมโลสจะละลายน้ำได้เล็กน้อยและให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน ส่วนที่เป็นอะไมโลเปคตินจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สีม่วง โดยทั่วไปแป้งจะมีองค์ประกอบของอะไมโลเปคตินมากกว่าอะไมโลส โดยอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเปคตินเป็นประมาณ 30 ต่อ 70 ถึง 20 ต่อ 80 ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง

2.4.1 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง

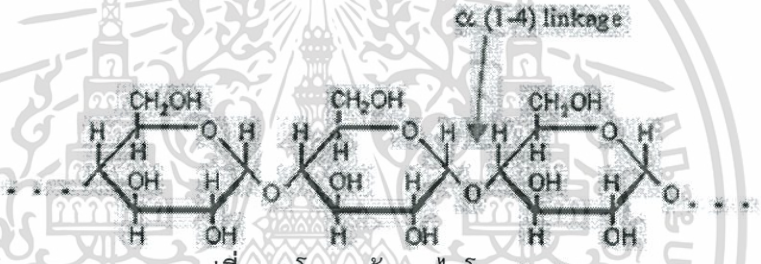
1. อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยซ้ำของแอนไฮโดรกลูโคส เชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์ที่ตำแหน่ง α-D-(1→4) ขนาดของโมเลกุลขึ้นกับแหล่งที่มาของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกระบวนการแปรรูปแยกแป้งจากวัตถุดิบ อาจจะมีหน่วยซ้ำของแอนไฮโดรกลูโคสได้ตั้งแต่ 100 ถึง 6000 หน่วย

อะไมโลสสามารถดูดซับน้ำและเกิดเป็นไมเซลล์ในน้ำได้โดยที่สายโซ่พอลิแซคคาไรด์ของอะไมโลสบิดเป็นเกลียว (Helical conformation) เมื่อพิจารณาสายโซ่พอลิแซคคาไรด์ พบว่าที่ปลายสายโซ่ข้างหนึ่งประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่มีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 2 หมู่และหมู่ Aldehydic reducing ในโครงสร้างแบบ เฮมิอะซิทาล (Hemiacetal) หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสนี้เรียกว่า Reducing end ของโมเลกุล ปลายสายโซ่อีกข้างหนึ่ง หน่วยแอนไฮโดร-กลูโคสมีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 3 หมู่ เรียกว่า Non-reducing end หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่เหลือซึ่งอยู่ระหว่างหน่วยที่อยู่ปลายสายโซ่ทั้งสองประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 2 หมู่ต่อ 1 หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างอะไมโลส [14]

จากโครงสร้างของอะไมโลส พบว่ามีหมู่ไฮดรอกซีอยู่จำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้แป้งมีสมบัติชอบน้ำและสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นไม่มีโซ่กิ่ง และมีหมู่ไฮดรอกซีจำนวนมาก อะไมโลสจึงมีแนวโน้มในการจัดเรียงตัวขนานและชิดกัน และทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ด้วยเหตุนี้ ความชอบน้ำของโมเลกุลอะไม-โลสจึงลดลงและทำให้ของผสมระหว่างอะไมโลสกับน้ำซึ่งอยู่เป็นลักษณะโซล (Sol) ขุ่นขึ้น ในสภาวะสารละลายเจือจาง อะไมโลสมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและตกตะกอน ในสภาวะที่สารละลายเข้มข้น อะไมโลสจะมีความเกะกะซึ่งกันและกันและรบกวนการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้อยู่ชิดติดกัน ดังนั้นอะไมโลสจึงเรียงตัวให้เป็นระเบียบได้เพียงบางส่วน จึงมีปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่จำนวนมากซึ่งน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปและสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะไมโลส เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติในรูปของเจล (Gel)

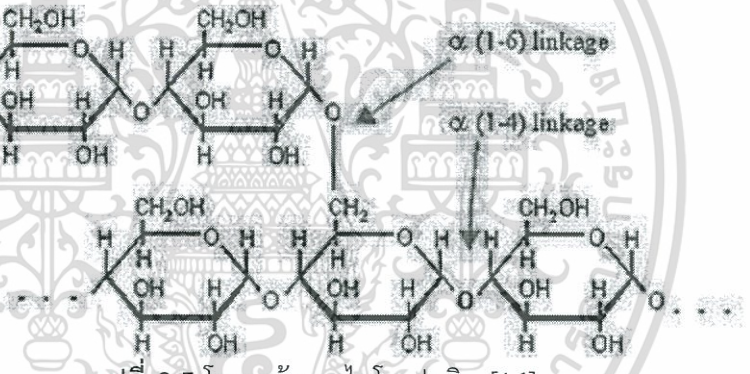
สมบัติอีกประการหนึ่งของอะไมโลสคือมีความชอบไอโอดีน รวมถึงโมเลกุลที่มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอยู่ด้วยกัน เช่น อัลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาว กรดไขมัน เป็นต้น อะไมโลสจะจัดเรียงตัวบิดเป็นเกลียวล้อมรอบโมเลกุลดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น สารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนจะให้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งใช้ในการตรวจพิสูจน์แป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ) และยังสามารถใช้หาปริมาณของอะไมโลสในแป้งได้โดยใช้วิธีการวัดความเข้มของสีหรือวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้า ความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับบิวทานอลและสารอินทรีย์ที่มีส่วนที่ชอบน้ำประเภทอื่น สามารถนำมาใช้เป็นวิธีในการแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเปคตินโดยกระบวนการเลือกตกตะกอน

2. อะไมโลเปคติน (Amylopectin)

อะไมโลเปคตินเป็นพอลิเมอร์สายโซ่กิ่งของหน่วยซ้ำแอนไฮโดรกลูโคส ซึ่งนอกเหนือจากตำแหน่งที่เชื่อมโยงที่ตำแหน่ง α-D-(1$\rightarrow$4) แล้วยังมีการเชื่อมโยงที่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่ 6 ของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสด้วย ทำให้เกิดสายโซ่กิ่งขึ้น โดยทั่วไปทุกๆ 6 ถึง 12 หน่วยจะพบสายโซ่กิ่งหนึ่งสายโดยแต่ละสายโซ่กิ่งจะประกอบด้วยหน่วยซ้ำของแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 12 ถึง 15 หน่วยซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยโครงสร้างแบบ α-D-(1$\rightarrow$4) เช่นกัน โครงสร้างของอะไมโลเปคตินแสดงดังรูป 2.5 โดยทั่วไปอะไมโลเปคตินมีน้ำหนักโมเลกุลที่ใหญ่กว่าอะไมโลสมาก จากการตรวจวัดด้วยการกระเจิงของแสง พบว่าอะไมโลเปคตินมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในหลักล้าน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างอะไมโลเปคติน [14]

เนื่องจากอะไมโลเปคตินมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่และมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลลดลงรวมถึงรบกวนการจัดเรียงตัวของโมเลกุลด้วย ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมีจำนวนน้อย จากผลดังกล่าวทำให้ของผสมระหว่างอะไมโลเปคตินกับน้ำในรูปของโซล มีความใสและมีเสถียรภาพไม่เกิดเจลง่าย นอกจากนี้อะไมโลเปคตินไม่สามารถที่จะเตรียมเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ ในขณะที่อะไมโลสสามารถเตรียมเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง ในส่วนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายไอโอดีนพบว่าสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้มีสีม่วงน้ำตาล

ปริมาณของอะไมโลสที่พบในองค์ประกอบของแป้งขึ้นกับชนิดของแป้ง โดยแป้งส่วนใหญ่ เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลังจะพบอะไมโลสในปริมาณ 18 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวสาลีจะพบในปริมาณที่มากกว่าในขณะที่แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังจะมีอะไมโลสในปริมาณที่น้อยกว่า แป้งบางชนิด เช่น แป้งดัดแปรจากแป้งข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Waxy corn) และแป้งที่มีอะไมโลสสูง จะมีปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างออกไปจากค่าปกติ Waxy corn มีปริมาณอะไมโลสเพียงเล็กน้อยหรืออาจจะไม่มีเลย ในขณะที่แป้งที่มีอะไมโลสสูงมีองค์ประกอบของอะไมโลสสูงถึงประมาณ 55 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเปคตินในแป้งแต่ละชนิด [16]

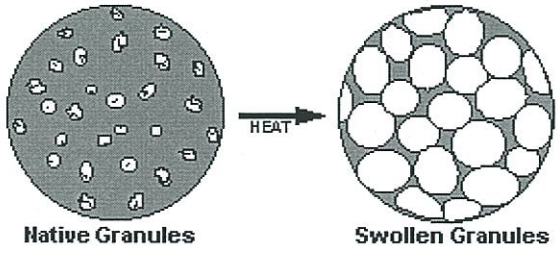
	แป้งมันฝรั่ง	**แป้งข้าวโพด**	**แป้งสาลี**	**แป้งมันสำปะหลัง**	**แป้งข้าวโพดเหนียว**
อะไมโลส (% น้ำหนักแห้ง)	21	28	28	17	0
อะไมโลเปคติน (% น้ำหนักแห้ง)	79	72	72	83	100
สัดส่วนจำนวนโมเลกุลของอะไมโลสต่ออะไมโลเปคติน	200	1,000	1,000	160	0

2.4.2 สมบัติของแป้ง [14]

การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนสังเกตเห็นได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเปคติน (Intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วนที่มีความเป็นผลึก โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของอสัณฐานซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60^{o}C ขึ้นไป ส่วนอสัณฐานจับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกเริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.6) โมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเปคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วนผลึกที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



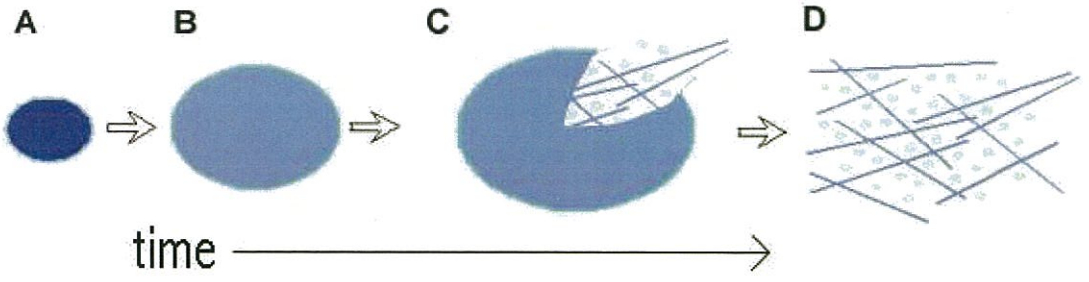
รูปที่ 2.6 การพองตัวของเม็ดแป้ง [14]

การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) [14]

กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก Collison [1968] สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้อง พบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและสมบัติดังเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็นผลึกจับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75^{o}C หรือใช้สารเคมี เช่นให้ความร้อน 60^{o}C แก่แป้งสาลีจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วนผลึกลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10^{o}C โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน แป้งอาจเกิดเจลาติไนซ์ ได้ที่อุณหภูมิ 25^{o}C โดยการละลายในตัวทำละลาย เช่น Alkali, Liquid ammonia, DMSO, สารละลาย $CaCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [14]

ลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้

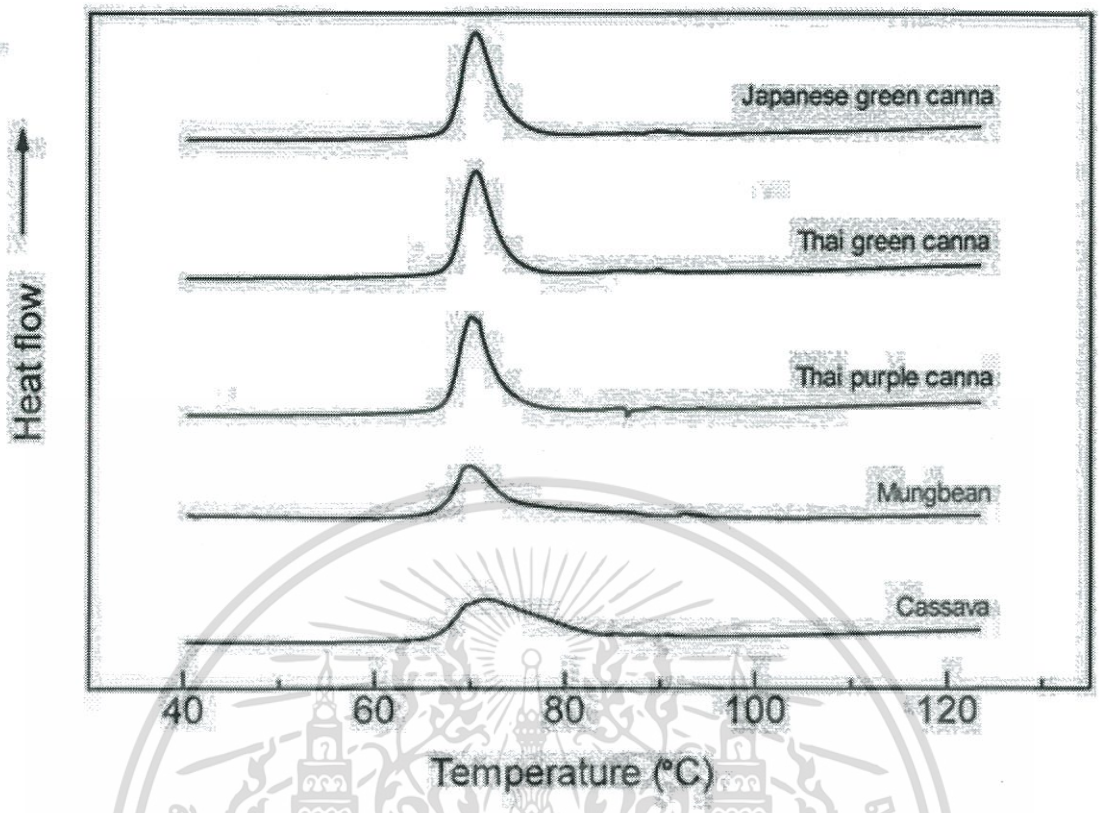
1. เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วนอสัณฐาน
2. การพองตัวจะทำให้เกิด Tension ต่อ ผลึกที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย
3. การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ Double helical region เกิด Break up ของโครงสร้างผลึก Side chain ของอะไมโลเปคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก Hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบ ๆ ดังนั้นจะเกิด Stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
4. การเกิด Hydration ต่อไปจะเพิ่ม Mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล
5. โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก Swollen granule
6. การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ Granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย

การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา 2°C ต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์ พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณ 2% เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป 50% จะเรียกเป็นจุดกลางของเจลาติไนเซชัน (Midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ 98% จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของเจลาติไนเซชัน (Final of gelatinization หรือ Completion point) ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าระบุเป็นอุณหภูมิเดียวมักเป็นจุดสุดท้ายของเจลาติไนเซชันหรือที่เรียกกันว่า Birefringence end point temperature (BEPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.8 DSC thermogram ของแป้ง [14]

นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์โดยใช้เครื่องมือที่วัด และบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่าง ๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200°C แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของการหลอมละลายจะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70% แป้งจะเกิดเจลาติไนเซชัน โดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีสูงสุด (Peak temperature) คืออุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิด เจลาติไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ Thermogram ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิด เจลาติไนเซชัน (DH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149439

2.4.3 แป้งมันสำปะหลัง [16]

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญของโลก มีชื่อเรียกมากมาย เช่น ภาษาอังกฤษเรียกว่า Cassava ภาษาสเปนเรียกว่า Yuca ภาษาโปรตุเกสเรียกว่า Mandioca ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า Manioc สำหรับชื่อทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า Manihot esculenta Crantz

แป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงละเอียดมีสีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งเจือปนต่ำโดยจะมีแป้งอยู่มากกว่า 95% มีปริมาณโปรตีนและไขมันอยู่ค่อนข้างต่ำ (<1%) มีฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.04% ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมหรือรูปไข่ เม็ดแป้งส่วนใหญ่จะมีขนาดปานกลางคืออยู่ในช่วง 3-40 ไมครอน แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติบางประการไม่คงตัวเช่น เมื่อได้รับความร้อนจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง แต่ความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับแรงเฉือนและความร้อนอย่างต่อเนื่อง ทำให้การนำแป้งมันสำปะหลังจากธรรมชาติมาใช้ในอุตสาหกรรมมีข้อจำกัด

แป้งมันสำปะหลังเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit, AGU) มาเชื่อมต่อเป็นสายโมเลกุลเส้นตรงด้วยพันธะกลูโคซายด์ (Glucoside bond) แบบ D-(1,4) เรียกว่า อะไมโลสและถ้ามีการเชื่อมแบบโซ่กิ่งที่ D-(1,6) ด้วยจะเรียกว่าอะไมโลเปคติน แป้งมันสำปะหลังประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเปคตินในอัตราส่วนประมาณ 22:78 แป้งดิบจะประกอบด้วยเม็ดแป้ง (Starch granule) ซึ่งไม่ละลายน้ำและทนต่อปฏิกิริยาและเอนไซม์เนื่องจากมีการรวมตัวกันของสายโซ่อะไมโลสและอะไมโลเปคตินด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ต้องทำการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) ให้เม็ดแป้งแตกตัวและละลายน้ำ น้ำแป้งก็จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีและถูกย่อยด้วยเอนไซม์ การเจลาติไนซ์ทำโดยการนำแป้งมาเติมน้ำแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งก็จะพองตัวและฟอร์มเป็นสารละลายใสที่มีความข้นหนืดสามารถทำปฏิกิริยาเคมีและถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ดังนั้นการใช้เอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งดิบได้โดยตรงจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำแป้งดิบไปใช้ประโยชน์ พบว่าแหล่งของเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งดิบได้ที่สำคัญคือ เอนไซม์จากจุลินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ รา แบคทีเรียและยีสต์ เช่น จากรา Aspergillus sp., แบคทีเรีย Bascillus sp. Clostridium sp. หรือจากยีสต์ Lipomyces sp. เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์ที่สำคัญคือ อัลฟา-อะไมโลสและเอนไซม์กลูโคซิเดส แยกได้ยีสต์ Lipomyces starkeyi HN-606 จากลูกแป้ง ยีสต์นี้สามารถผลิตเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสที่ย่อยแป้งดิบได้

ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลัง [17]

- อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นจะต้องใช้แป้งมันสำปะหลังด้วย โดยด้ายที่จะใช้ทอผ้านั้น จะต้องผ่านการชุบแป้งเสียก่อนด้ายจึงจะลื่นและเรียบไม่มีขนและเป็นตัวหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกันระหว่างการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของหูกทอผ้า นอกจากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้า แป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ การใช้แป้งมันสำปะหลังในการทอผ้านั้น บางโรงงานยังใช้แป้งดัดแปร (Modified starch) ที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะสมบัติเหมาะสมกว่า แต่อย่างไรก็ตามมีโรงงานในประเทศที่เริ่มผลิตแป้งดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง

-อุตสาหกรรมไม้อัด

แป้งมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด เนื่องจากลักษณะการผลิตไม้อัด คือ การนำไม้มาประกบติดกันโดยใช้กาว ซึ่งแป้งมันก็ถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกาว เพราะ แป้งมันมีสมบัติเป็นกาวอยู่แล้ว เพื่อให้ไม้อัดติดกันเป็นแผ่นหนาแข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาว เพราะกาวที่ผลิตได้นั้น ใช้แป้งเป็นส่วนผสมถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่น ๆ คือเนื้อแป้งมีความละเอียด ทำให้ไม่มีการตกตะกอน เมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้ราคายังถูกกว่าด้วย

-อุตสาหกรรมกระดาษ

การทำกระดาษนั้นต้องใช้เยื่อกระดาษที่ทำจากไม้ต่าง ๆ เช่น ไม้สน, ไม้ไผ่, ไม้ยูคาลิปตันเป็นต้น ทำให้เป็นเยื่อเล็ก ๆ แล้วนำเยื่อกระดาษเหล่านั้นมาเรียงเป็นแผ่น อย่างไรก็ตามแผ่นกระดาษจะไม่เรียบ จะต้องมีการฉาบผิวด้วยกาวจากแป้งทำให้กระดาษเรียบ และยังเข้าไปอยู่ตามรูของใยกระดาษ ช่วยทำให้กระดาษไม่ซึมหมึก เวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี นอกจากนั้น กาวจากแป้งยังช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น

-อุตสาหกรรมกาว

แป้งมันมีสมบัติพิเศษ คือ เมื่อถูกความร้อน หรือถูกสารเคมีจะมีความเหนียว และมีสมบัติสามารถรักษา สภาพความเหนียวได้เหมือนเดิมไม่มีการคืนตัว แป้งมันที่ใช้ทำกาวจะต้องเป็นแป้งที่บริสุทธิ์ มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งก็คือ แป้งประเภทเด็กซ์ทริน กาวเหล่านี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตซองจดหมาย, สติ๊กเกอร์, Gummed paper และ Gummed tape

-อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

สมบัติของแป้ง คือเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แต่ยังมีสมบัติอื่นที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารนั้น คือ เป็นตัวช่วยทำให้เกิดความข้น (Thickener) ในอาหาร, ช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว (Stabilizer), ช่วยให้อาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (Binder) และช่วยในการเสริมแต่ง (Filler) นอกจากนั้น แป้งยังเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายและราคาค่อนข้างถูก เช่น อาหารเด็ก, ผลิตภัณฑ์ขนมปัง, ขนมหวาน, อาหารกระป๋อง, บะหมี่, เครื่องดื่ม, ไอศกรีม, แยม, ผลไม้กระป๋อง, นมเปรี้ยว, ไส้กรอก, กุนเชียง, ซอส และโซดาทำขนม เป็นต้น

-วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

นำแป้งมันสำปะหลังมาแปรสภาพคล้ายพลาสติก ซึ่งเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติก็จะทำให้เกิดเป็นสารผสม ที่สามารถนำไปทำเป็นวัสดุภัณฑ์เพื่อใช้ทดแทนพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-อุตสาหกรรมสารความหวาน

ทำน้ำตาลกลูโคส, ฟรุคโตส และใช้แทนน้ำตาลซูโครสในผลไม้ กระป๋อง แยมและอื่น ๆ

- อุตสาหกรรมกรดมะนาว

ใช้ผลิตกรดมะนาวซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำอัดลม, น้ำผลไม้กระป๋อง เครื่องดื่มชูกำลังและใช้ในอุตสาหกรรมยา

-อุตสาหกรรมผงชูรส

เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตผงชูรส ซึ่งนิยมบริโภคกันทั่วไป

-ยารักษาโรค

ใช้เป็นตัวเจือจางในยาประเภทแคปซูลและยาเม็ด

2.5 แป้งดัดแปร (Modified Starch) [13]

แป้งดัดแปร หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งมาผ่านกระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพโดยการใช้สารเคมี ความร้อน หรือเอนไซม์ เป็นผลให้เกิดการย่อยสลายแป้งบางส่วนทำให้โมเลกุลแป้งลดลง วัตถุประสงค์ในการดัดแปรแป้งเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของแป้งให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น

- ความหนืด
- ความคงทนต่อแรงเฉือนเมื่อผ่านกระบวนการผลิต
- ความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ เช่นความร้อน หรือสภาวะกรด-เบส
- ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้ง
- เพิ่มหรือลดเวลาในการเกิดเจล
- ความคงตัวในการคืนรูปจากสภาวะเยือกแข็งจากกระบวนการ Freeze-thaw
- ลดการสูญเสียน้ำของเจลแป้ง
- สมบัติการยึดติด
- สมบัติความชอบหรือไม่ชอบน้ำ
- ความสามารถในการละลายน้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆ

แป้งที่ผ่านกระบวนการดัดแปรแล้วมักนำไปใช้ประโยชน์ในรูปสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหารและยา ได้แก่ เป็นสารข้น, สารเพิ่มเสถียรภาพ, อิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น

แป้งดิบ (Native starch) $\xrightarrow[\text{หรือทางกายภาพ}]{\text{เปลี่ยนแปลงทางเคมี}}$ ปรับปรุงสมบัติเพื่อให้ตรงตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

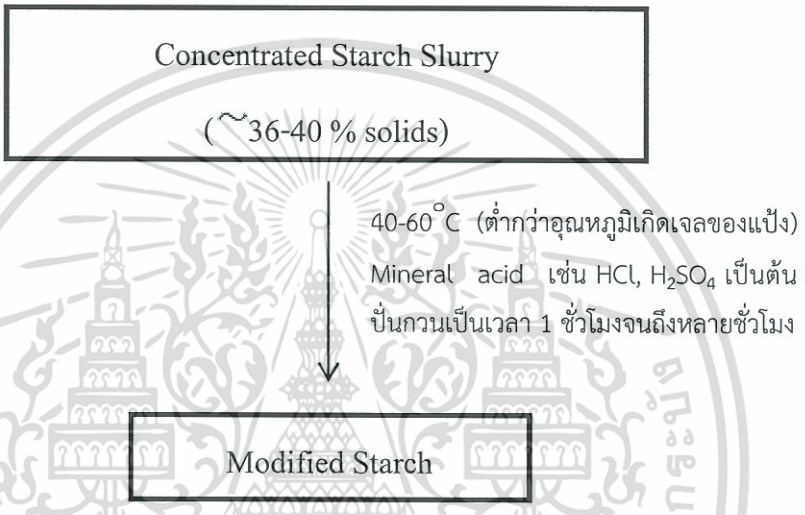
การดัดแปรแป้งแบ่งได้หลายวิธีโดยมีกระบวนการดัดแปรหลักคือการดัดแปรทางเคมี การดัดแปรทางกายภาพและการดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ ดังนี้

2.5.1 การดัดแปรทางเคมี

การดัดแปรแป้งด้วยกรด (Acid Conversion or Acid-Modified Starch)

การดัดแปรแป้งด้วยกรดเตรียมโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งหรือเม็ดแป้งกับกรดอนินทรีย์ เช่น กรดเกลือ หรือกรดกำมะถัน เพื่อทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อละลายในน้ำร้อนจะมีความหนืดน้อยกว่าแป้งปกติ ทำให้สามารถใช้แป้งในปริมาณที่มากขึ้น

กระบวนการผลิต



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการผลิตแป้งดัดแปร [13]

เมื่อผลิตภัณฑ์มีความหนืดหรือ Degree of conversion ตามที่ต้องการ กรดที่อยู่ในปฏิกิริยาจะถูกสะเทิน (ทำให้เป็นกลาง) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการกรองหรือหมุนเหวี่ยง (Centrifuging) เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ออก แล้วนำไปล้างเพื่อขจัดสารที่ไม่ต้องการแล้วจึงนำไปอบแห้ง

ความเข้มข้นของกรด/อุณหภูมิ/ความเข้มข้นของแป้ง/ระยะเวลาของปฏิกิริยาสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของกระบวนการผลิตและสมบัติของแป้งดัดแปรที่ต้องการ

ระหว่างกระบวนการผลิตโดยการใช้กรดทำปฏิกิริยา กรดจะเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ตำแหน่ง Glucosidic linkages เกิดการสลายพันธะทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง ในขั้นต้นของกระบวนการดัดแปรด้วยกรด อะไมโลเปคตินจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นตำแหน่งอสัณฐาน นั่นคือกรดจะเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่ส่วนที่เป็นอสัณฐานจากนั้นจึงเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งที่เป็นผลึกด้วยอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ช้ากว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแป้ง (Oxidized or Hypochlorite-Modified Starches)

การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันทำโดยการทำปฏิกิริยาเคมีของแป้งด้วยสารออกซิไดซ์ ได้แก่ สารในกลุ่ม คลอรีน, โบรมีน, ไฮโปคลอไรท์, ไฮโปโบรไมท์, เปอร์ซัลเฟต และเปอร์แมงกาเนต โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์แป้งเป็นแบบสุ่มใน 4 รูปแบบ ดังนี้

1. ออกซิไดซ์ที่ตำแหน่ง Aldehydic reducing end groups ของโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเปคตินเปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก

- หมู่อัลดีไฮด์จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าหมู่ไฮดรอกซิล

- Aldehydic groups ในโมเลกุลของแป้งจะถูกออกซิไดซ์ได้หมู่คาร์บอกซิลิก

- Aldehydic end group ในแป้งดิบมีในปริมาณที่น้อยเนื่องจากแป้งดิบมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ ดังนั้นปริมาณของหมู่ปลายสายโซ่โมเลกุลเทียบกับทั้งโมเลกุลของแป้งจึงมีปริมาณน้อยมาก อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการผลิตจะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันเกิดขึ้นทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง เป็นผลให้หมู่ Aldehydic end เพิ่มขึ้น

2. ออกซิไดซ์ที่หมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) ที่ตำแหน่ง C-6 เกิดปฏิกิริยาได้หมู่อัลดีไฮด์และถูกออกซิไดซ์ต่อได้เป็นหมู่คาร์บอกซิล หน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่ถูกทำปฏิกิริยาจะได้ Uronic acid

3. ออกซิไดซ์ที่หมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) ที่ตำแหน่ง C-2, C-3 และ C-4 ได้หมู่คีโตน

4. ออกซิไดซ์ที่ตำแหน่งหมู่ไกลคอล (Glycol groups) ได้หมู่อัลดีไฮด์และถูกออกซิไดซ์ต่อได้เป็นหมู่คาร์บอกซิล

หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-2 และ C-3 เป็นรูปแบบของหมู่ไกลคอล (Glycol groups) และสามารถถูกออกซิไดซ์และเกิดการแตกพันธะโควาเลนซ์ของคาร์บอน-คาร์บอนที่ตำแหน่ง C-2 และ C-3 ได้หมู่อัลดีไฮด์และถูกออกซิไดซ์ต่อได้เป็นหมู่คาร์บอกซิล

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-1 (Aldehydic) และที่ตำแหน่ง C-4 เกิดขึ้นค่อนข้างน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ตำแหน่ง Reducing end ในกรณีของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-1 และตำแหน่ง Non-reducing end ในกรณีของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-1 และ C-4 กับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-2, C-3 และ C-6 ถือว่ามีน้อยมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-2, C-3 และ C-6 จะแสดงบทบาทที่สำคัญและเป็นตัวกำหนดสมบัติที่ได้

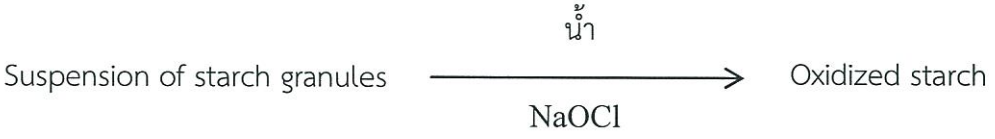
กระบวนการผลิต

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ซึ่งเป็น Oxidizing agent เตรียมได้โดยค่อย ๆ เติมก๊าซคลอรีนอย่างช้า ๆ ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ

$$Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) โดยมีค่าพลังงาน +24,6500 Cal ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาค่อนข้างสูงจึงต้องควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้ต่ำกว่า 30°C



ปริมาณของสารละลายไฮโปคลอไรท์สามารถวัดได้โดยคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของก๊าซคลอรีนต่อน้ำหนักของแป้ง ซึ่งปริมาณที่ใช้ขึ้นกับ Degree of conversion ที่ต้องการโดยปกติปริมาณก๊าซคลอรีนที่ใช้สูงสุดมักจะไม่เกิน 5-6%

↓

ค่า pH ถูกปรับให้เป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.0-6.5)
ปริมาณไฮโปคลอไรท์ที่เหลือจะถูกทำลายโดยการเติมสารประเภทตัวรีดิวซ์ เช่น Bisulfite

↓

ล้างน้ำขณะทำการกรองแบบสุญญากาศ

↓

นำไปแขวนลอยในน้ำ

↓

ขจัดน้ำออกโดยการกรองแบบสุญญากาศหรือผ่านเครื่องหมุนเหวี่ยง แล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบเป่าลมร้อน (Hot-air drier)

ไพโรเดกซ์ตรินส์ (Pyrodextrins of Pyroconversions)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการ Pyroconversions ของแป้งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ British gums, White dextrins และ Yellow หรือ Canary dextrins ซึ่งเด็กซ์ตรินทุกประเภทเกิดจากการให้ความร้อนแก่ผงแป้งแห้ง โดยแตกต่างกันในกระบวนการผลิตคือ

White dextrins	ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ และ pH ต่ำ
British gum	ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง และ pH สูง
Yellow dextrins	ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง และ pH ต่ำ

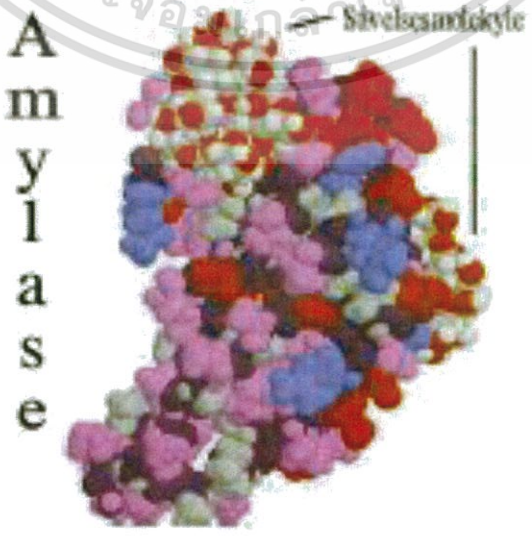
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิต

1. Pretreatment โดย Acidification หรือ Buffering
2. Predrying
3. Heating หรือ Pyroconverting
4. Cooling

2.6 เอนไซม์ (Enzymes) [18]

เอนไซม์อะไมเลสถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1831 โดย ศูนย์ฟรีดริช ได้อธิบายถึงการย่อยสลายแป้งด้วยน้ำลายซึ่งอาศัยเอนไซม์ที่อยู่ในน้ำลายที่มีชื่อว่า “ไทยาลิน” (Ptyalin) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “อะไมเลส” (Amylase) อีกสองปีต่อมา ค.ศ.1833 Anselme Payen และ Jean-François Persoz นักเคมีชาวฝรั่งเศสสามารถแยกเอนไซม์อะไมเลสออกจากข้าวบาร์เลย์งอก และตั้งชื่อใหม่ให้เอนไซม์อะไมเลสที่พบในข้าวบาร์เลย์งอกนี้ว่า “Diastase” หลังจากนั้นในปี ค.ศ.1862 Alexander Jakulowitsch Danilewsky สามารถแยกเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนออกจากเอนไซม์เทปซินได้ (Robert Hill and Joseph Needham, 1970) อะไมเลส (Amylase) เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Hydrolases และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลโดยไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4-Glycosidase bond ในโมเลกุลของสตาร์ช (Starch) ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้เป็นเดกซ์ทริน (Dextrin) และน้ำตาล (Sugar) ไดแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส (Maltose) มอโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส (Glucose) อะไมเลสส่วนใหญ่พบในน้ำลาย ตับอ่อน อะไมเลสที่พบในน้ำลายจะเรียกว่าไทยาลิน (Ptyalin) ซึ่งสามารถพบได้ในคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม



รูปที่ 2.10 ภาพโครงสร้างเอนไซม์อะไมเลส [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งดัดแปรที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เตรียมโดยผสมแป้งกับน้ำและเติมเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายแป้งมีหลายชนิดด้วยกันโดยมีตัวอย่างเอนไซม์ ดังนี้

1. กลูโคอะไมเลส (Glucoamylase)

α-1,4-Glucan glucohydrolase หรือ Amyloglucosidase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งโดยเกิดการไฮโดรไลซ์ที่ตำแหน่ง α-D-(1→4) Glucosidic linkages และที่ตำแหน่ง α-D-(1→6) Glucosidic linkages ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เป็นส่วนกิ่ง โดยการตัดพันธะที่ตำแหน่งกิ่งจะเกิดได้ช้ากว่าตำแหน่ง 1→4 ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลูโคส โดยเอนไซม์มี เสถียรภาพที่ค่าพีเอช 3.5-5 และที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส

2. เบต้าอะไมเลส (Beta-amylase)

α-1,4-Glucan maltohydrolase หรือ เบต้าอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้ง โดยเกิดการไฮโดรไลซ์เฉพาะที่ตำแหน่ง α-D-(1→4) Glucosidic linkages โดยเข้าทำการย่อยแป้งจากหมู่ปลายด้าน Non-reducing และได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอลโตส ดังนั้นโมเลกุลใด ๆ ในแป้งที่ประกอบด้วยพันธะแบบ α-D-(1→4) Glucosidic linkages เช่น อะไมโลส จะสามารถถูกเอนไซม์เบต้าอะไมเลสย่อยเป็นมอลโตสได้ทั้งหมด ในขณะที่ในอะไมโลเปคตินซึ่งมีโครงสร้างแบบกิ่งเอนไซม์เบต้าอะไมเลสจะทำการย่อยไปถึงตำแหน่งที่มีกิ่งซึ่งเป็นพันธะแบบ α-D-(1→6) Glucosidic linkages ก็จะไม่สามารถย่อยต่อไปได้ ดังนั้นความสามารถในการย่อยแป้งของเอนไซม์เบต้าอะไมเลสจะเป็นดัชนีบอกปริมาณของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่มีสายโซ่ตรงในแป้งได้ เอนไซม์นี้ไม่พบในน้ำย่อยของมนุษย์ แต่พบในรา (Mold) และแบคทีเรีย (Bacteria) เช่น Bacillus cereus รวมถึงพบในผลไม้ระหว่างการสุก (Ripe) โดยเอนไซม์มีเสถียรภาพที่ค่าพีเอช 4-9

3. อัลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase)

α-1,4 Glucan glucanohydrolase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งที่ตำแหน่ง α-D-(1→4) Glucosidic linkages โดยเป็นการตัดพันธะแบบสุ่มภายในสายโซ่โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเปคติน โดยไม่สามารถย่อยแป้งที่ตำแหน่ง α-D-(1→6) Glucosidic linkages ทำให้โมเลกุลของแป้งถูกไฮโดรไลซ์ได้น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทส (Maltose) และกลูโคส (Glucose) อย่างรวดเร็ว เอนไซม์อัลฟาอะไมเลสพบทั่วไปในระบบการย่อยอาหาร (Digestive system) ของมนุษย์ และสัตว์เช่น ในน้ำลายและน้ำย่อยจากตับอ่อน ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เอนไซม์นี้ในการไฮโดรไลซ์แป้ง (Starch hydrolysis) ในขั้นตอนการทำ Liquefaction เพื่อลดความหนืดของสารละลายแป้ง ภายหลังการเกิดเจลาติไนซ์ (Gelatinization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไอโซอะไมเลส (Isoamylase)

Glucogen-6-glucanohydrolase หรือ ไอโซอะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายได้ที่ตำแหน่งกิ่ง α-D-(1⟶6) Glucosidic linkages ของอะไมโลเปคตินได้ดี โดยเอนไซม์มีเสถียรภาพที่ค่าพีเอช 3-4 และที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส

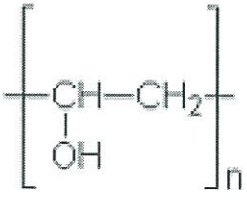
การประยุกต์ใช้เอนไซม์อะไมเลสในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันเอนไซม์ได้เข้ามามีส่วนร่วมในวงการอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากช่วยลดต้นทุนในการผลิต และสารเคมีสังเคราะห์ที่มีราคาสูง บ่อยครั้งสารเคมีเหล่านั้นเป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค และยังทำลายสิ่งแวดล้อมในทางอ้อมอีกทั้งยังสามารถควบคุมวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในอุตสาหกรรมอาหารเอนไซม์อะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมประเภทที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบโดยใช้เอนไซม์นี้ร่วมกับเอนไซม์ชนิดอื่นเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส สำหรับอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยที่มีการใช้เอนไซม์ได้แก่ อุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งและผลิตน้ำเชื่อม อุตสาหกรรมเบเกอรี่ และขนมปังกรอบ (Cracker) อุตสาหกรรมสารปรุงแต่งรสชาติอาหาร อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มและนม (Dairy) และอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและน้ำผลไม้ ซึ่งอุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งและผลิตน้ำเชื่อม นั้นเป็นอุตสาหกรรมแรกที่ได้นำเอนไซม์มาใช้เป็นระยะเวลานานกว่า 10 ปีแล้ว โดยเฉพาะสถิติในช่วง 3 ปี พ.ศ. 2546-2548 พบว่าประเทศไทยนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศ มากเป็นประวัติกาลโดยมีมูลค่าเฉลี่ยมากกว่า 800 ล้านบาทต่อปี เนื่องจากประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ต้องการใช้ได้เองจึงต้องนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศอยู่อย่างต่อเนื่อง

2.7 พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)) [19]

พอลิไวนิลอัลกอฮอล์เตรียมขึ้นครั้งแรกโดย Hermann และ Haehnel ในปี ค.ศ. 1924 โดยการไฮโดรไลซ์พอลิไวนิลอะซิเทตในเอทานอลในระบบที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สมบัติทางกายภาพและการใช้งานขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดพอลิเมอไรซ์และระดับของการเกิดไฮโดรไลซิส พอลิไวนิลอัลกอฮอล์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Partially hydrolyzed และ Fully hydrolyzed โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 สมบัติของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ [20]

พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVOH, PVA, or PVAl) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและละลายน้ำได้ ละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ โดยพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีสมบัติในการขึ้นรูปฟิล์ม และการยึดติด (เป็นกาว) อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน, น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนา และตัวทำละลายได้ดี พอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน ทั้งนี้สมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น โดยน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้พลาสติกนิ่ม (พลาสติไซเซอร์) นั้นก็จะลดความเค้นแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงยืดและแรงเฉือนให้มากขึ้น พอลิไวนิลอัลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว และย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ โดยมีจุดหลอมละลายที่ 230 °C และที่ 180-190°C สำหรับพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วนตามลำดับ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C

พอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีสมบัติคล้ายแป้งคือ เมื่อนำมาทดสอบกับไอโอดีนจะเกิดสีน้ำเงิน ละลายได้ในน้ำเย็น โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบอะแทกติกแต่มีความเป็นผลึกมากกว่าพอลิไวนิลอะซิ-เทตเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลมีขนาดเล็กกว่าหมู่อะซิเทต น้ำหนักโมเลกุลที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 ช่วง คือ 250,000-300,000, 120,000-150,000 และ 25,000-30,000 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ [19]

ลักษณะที่เห็น	เป็นผงหรือเม็ดสีขาว
Specific gravity	1.25-1.32
ความหนาแน่น (Bulk density)	1.293 กรัม/ลูกบาศก์เมตร
pH	5-7
อุณหภูมิเปลี่ยนสภานะคล้ายแก้ว	85°C
จุดหลอมเหลว	150-190°C (P grade), 210-230°C (F grade)
เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability)	ที่ 100°C ไม่มีผล แต่ที่ 160°C จะเกิดรอยดำ
Storage stability	สามารถกักเก็บความชื้นได้
ความคงทนต่อน้ำมัน	ไม่ละลายในน้ำมัน
ความคงทนต่อตัวทำละลาย	ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์
ความคงทนต่อกรด-เบส	อ่อนตัวและละลายได้ในทั้งกรดและเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ เมื่อองศาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (มวลโมเลกุล) มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง [19]

เมื่อมีการลด	**เมื่อมีการเพิ่ม**
ความสามารถในการละลายสูงขึ้น	ความหนืดสูงขึ้น
มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น	ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น
ชอบน้ำมากขึ้น	ทนทานต่อน้ำมากขึ้น
มีอัตราการละลายที่สูงขึ้น	ทนทานต่อการละลายมากขึ้น
	ค่าความแข็งแรงการยึดเกาะดีขึ้น
	ความสามารถในการกระจายตัวดีขึ้น

ตารางที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่าง ๆ เมื่อองศาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง [19]

เมื่อมีการลด	**เมื่อมีการเพิ่มขึ้น**
ความสามารถในการละลายสูงขึ้น	ความสามารถในการละลายลดลง
ความยืดหยุ่นมากขึ้น	ความแข็งแรงดึงสูงขึ้น
ความสามารถในการกระจายตัวดีขึ้น	-
การยึดติดกับผิวหน้าที่ไม่ชอบน้ำสูง	การยึดติดกับผิวหน้าที่ชอบน้ำสูง
ชอบน้ำ	ทนต่อน้ำ

สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับ

1. องศาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ถ้าไฮโดรไลซ์สมบูรณ์ 100% จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น สามารถทนทานต่อการฉีกขาดได้มากเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนปริมาณมาก

2. ความชื้นของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำสามารถเป็นพลาสติไซเซอร์ให้กับพอลิเมอร์ชนิดนี้ได้ เช่น ถ้ามีความชื้น 50% ความทนต่อแรงดึงจะลดลงแต่ความสามารถในการยืดตัวจะมีมากขึ้น

3. น้ำหนักโมเลกุล พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทนต่อแรงดึงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

4. สมบัติการละลายน้ำ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์สามารถละลายน้ำได้ แต่ขึ้นอยู่กับองศาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (มวลโมเลกุล) และ องศาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่องศาการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันต่ำ ๆ จะสามารถละลายน้ำได้ง่าย ใน Partially hydrolyzed จะละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีกว่า Fully hydrolyzed และอัตราการละลายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ โดยอุณหภูมิสูงจะมีค่าการละลายและอัตราการละลายสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

2.7.2 การเตรียมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์

บ่อยครั้งที่มักจะพบว่าการทำปฏิกิริยาดัดแปรโครงสร้างเคมีพอลิเมอร์เป็นเพียงทางเลือกเดียวในการที่จะนำไปสู่พอลิเมอร์ชนิดพิเศษที่ต้องการพัฒนา ทั้งนี้เนื่องจากว่ามอนอเมอร์ที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ที่ต้องการพัฒนาขึ้นมาอาจจะไม่มีปรากฏอยู่จริงในท้องตลาด หรืออาจจะมีแต่ไม่เสถียรพอที่จะนำมาใช้ในการดำเนินปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ได้ ตัวอย่างเช่นในการสังเคราะห์พอลิ-ไวนิลอัลกอฮอล์ขึ้นมานั้นพบว่าจะไม่สามารถทำโดยผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของไวนิล-อัลกอฮอล์ได้ เนื่องจากมอนอเมอร์ดังกล่าวไม่มีอยู่จริงหรือไม่เสถียรโดยเปลี่ยนรูปไปอยู่ในโครงสร้างไอโซเมอร์แบบอื่นที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้นในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ดังกล่าว จึงต้องเริ่มจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลอะซิเทต จากนั้นจึงนำพอลิไวนิลอะซิเทตที่ได้ไปผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล (เข้มข้น 1% ปริมาณ 50 มิลลิลิตร) ทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลอะซิเทต (15 กรัม) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่อะซิเทตไปเป็นหมู่ไฮดรอกซี ซึ่งจะส่งผลให้สภาพขั้วของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นและละลายในน้ำได้ดีขึ้น (รูปที่ 2.12) นอกจากนั้น จากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ได้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นพอลิไวนิลอะซิ-ทาล (Poly(vinyl acetal)) ได้ เช่นการสังเคราะห์พอลิไวนิลบิวทิเลต ซึ่งเป็นกาวสำหรับติดกระจกรถยนต์ เป็นต้น

2.7.3 การนำไปใช้ประโยชน์

1. ทำเป็นวัสดุยึดผิว (Adhesive materials) ในการยึดติดจะใช้หลักของความร้อนและความสามารถในการหลอมเหลวของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์

2. ใช้ในการเคลือบผิวเส้นใยให้มีความอ่อนนุ่มและแข็งแรง

3. สามารถใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีแบบเชื่อมโยงได้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ แล้วจึงนำมาใช้งาน ซึ่งพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่ไม่ละลายน้ำสามารถดูดน้ำความชื้นได้ (ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก) จึงนำมาใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้าย ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไว-นิลอัลกอฮอล์สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดีที่อุณหภูมิ 230 °C

4. ใช้ในการผลิตยาโดยใช้เป็นตัวผสาน (Binder) หรือตัวควบคุมการปลดปล่อยของยา (Drug releasing)

5. ใช้เป็นสารข้น (Thickening agent) ในระบบอิมัลชันและระบบแขวนลอยต่าง ๆ ใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษ ซึ่งมีความใสเหนียว และ ทนต่อการขีดข่วน เป็นต้น

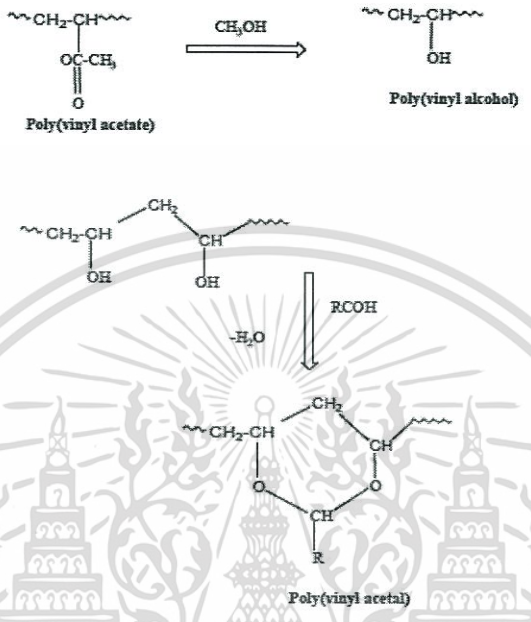
6. ใช้เป็นสารที่ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพ (Emulsion stabilizer) กระจายตัวดี

7. ใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษและใช้เป็นตัวผสาน (Binder) ในการทำเครื่องใช้จากเซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใช้เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่าง ๆ เพราะพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ไม่มีความเป็นพิษ

9. ใช้ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะทาง



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลอะซิเทตนำไปสู่ผลิตภัณฑ์พอลิไว-นิลอัลกอฮอล์และพอลิไวนิลอะซิทาล [19]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัตนฤทธิ์ จันทรังสี [1] ศึกษาวิธีการเตรียมพื้นผ้าใบสำหรับการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะด้วยเทคนิคสีฝุ่น โดยทำการประเมินความพึงพอใจของศิลปินผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคสีฝุ่นจากการใช้สีรองพื้นบนเฟรม โดยใช้สเกลคะแนนความพึงพอใจทางด้านการดูดซึมของสี ความทึบแสงของสี ความโปร่งใสของสี การยึดติดของสีบนผ้า จากการศึกษาวิจัยพบว่าสูตรการเตรียมพื้นผ้าใบที่เหมาะสมกับการระบายสีบาง คือ สูตรดินสอพองผสมกาวเม็ดมะขาม (กาวเมล็ดมะขาม:น้ำ:กาวกระถิน:ดินสอพอง อัตราส่วน 10:250:1:60) ทารองพื้น 3 ชั้น สูตรสีพลาสติกเคลือบด้วยเกสโซ (สีพลาสติก:น้ำ อัตราส่วน 0.5:2 ทารองพื้น 1 ชั้น เคลือบด้วยเกสโซ:น้ำอัตราส่วน 1:2 ทารองพื้น 1 ชั้น) และสูตรสีฝุ่นขาวซิงค์ออกไซด์ผสมกาวเจลาติน (กาวเจลาติน:น้ำ:สีฝุ่นขาวซิงค์ออกไซด์อัตราส่วน 0.5:18.5:9) ทารองพื้น 4 ชั้น ส่วนสูตรการเตรียมพื้นผ้าใบที่เหมาะสมกับการระบายสีหนา คือ สูตรดินสอพองผสมกาวลาเท็กซ์ (ดินสอพอง:น้ำ:กาวลาเท็กซ์ อัตราส่วน 1:4:0.5) ทารองพื้น 1 ชั้น สูตรสีพลาสติกเคลือบด้วยเกสโซ (สีพลาสติก:น้ำ: อัตราส่วน 0.5:2 ทารองพื้น 1 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบด้วยเกสโซ:น้ำ อัตราส่วน 1:2 ทารองพื้น 1 ชั้น) และสูตรสีฝุ่นขาวซิงค์ออกไซด์ผสมกาวเจลาติน (กาวเจลาติน:น้ำ:สีฝุ่นขาวซิงค์ออกไซด์ อัตราส่วน 0.5:18.5:9) ทารองพื้น 4 ชั้น

Apar, D.K. และคณะ [21] ศึกษาสภาวะในการใช้งานเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งข้าวเจ้า พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65°C มีการควบคุมค่า pH ให้เท่ากับ 6.5 โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 200 rpm และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานเอนไซม์ชนิดนี้

Khatoon, S. และคณะ [22] ศึกษาถึงสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์ที่มีต่อแป้งข้าวโพด, แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อเป็นการปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งให้เป็นไปตามที่ต้องการใช้งาน ซึ่งกระบวนการไฮโดรไลซิสแป้งทำได้โดยการใช้เอนไซม์พร้อมกับให้ความร้อน เอนไซม์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) ที่แยกได้จาก Bacillus licheniformis ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะตำแหน่งที่ $\alpha(1\longrightarrow4)$ ของแป้ง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) อยู่ที่ระหว่าง 60-90°C และ pH ที่ 6-7 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวโพด, แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง ที่ 10%, 15% และ 20% w/v แป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสและการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90±2°C เป็นเวลา 30 นาที ทำการหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับ pH ไปที่ 3.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หลังจากนั้นแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์แล้วจะถูกปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ pH 6.5-7.0 อุณหภูมิ 60°C จากการทดลองพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการไฮโดรไลซิสแป้ง

Abuarra, A. และคณะ [23] ศึกษาการใช้กัมอะราบิคเป็นตัวประสานแผ่นไม้จากไม้โกงกาง โดยพ่นผงกัมอะราบิคให้มี Adhesive percentage เป็น 0%, 5%, 10% และ 15% ลงบนอนุภาคของไม้โกงกางซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ต่างกัน คือ 149-210, 74-149 และน้อยกว่า 74 ไมโครเมตร และเติมน้ำกลั่น 20% (v/w) ทำการผสมให้เข้ากัน กระจายให้ทั่วแผ่นโลหะ คลุมด้วยกระดาษไขแล้วทับด้วยแผ่นโลหะ หลังจากนั้นนำไปกดอัดโดยไม่ให้ความร้อน โดยใช้แรงกด 8 kg/cm^2 เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปกดอัดอีกครั้งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 178-210°C เป็นเวลา 7 นาที เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร นำชิ้นงานออกมาทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงที่ 28±2°C และนำชิ้นงานไปตัดเพื่อทำการทดสอบ พบว่าอนุภาคไม้ 149-210 ไมโครเมตร ที่มี Adhesive percentage 15% มี Internal bond strength สูงที่สุด ซึ่งการเกิด Internal bond strength นี้ส่งผลให้ชิ้นงานมีพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น มีความแข็งและมีความแข็งแรงมากกว่าสูตรที่ไม่มีการเติมกัมอะราบิค

Azahari, N.A. และคณะ [24] เตรียมฟิล์มจาก PVA และแป้งข้าวโพดโดยใช้อัตราส่วนเท่ากับ 100:0, 70:30, 60:40, 50:50 และ 30:70 โดยน้ำหนัก และมีการเติมกลีเซอรอลเพื่อเป็นพลาสติไซเซอร์ แล้วนำไปศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา โดยผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PVA ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของฟิล์มดีขึ้น และผลการทดสอบสัณฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดส่งผลให้พื้นผิวของฟิล์มมีความขรุขระและเกิดรอยแตก ดังนั้น สูตรที่มีอัตราส่วน PVA ต่อแป้งข้าวโพดเท่ากับ 70:30 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำฟิล์ม

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงสูตรจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้มีการศึกษาวิธีการเตรียมพื้นผ้าใบสำหรับการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะด้วยเทคนิคสีฝุ่น ซึ่ง รัตนฤทธิ์ จันทรรังสี (2551) [1] ทำการเตรียมพื้นโดยนำดินสอพองผสมกับกาวเมล็ดมะขามและกาวกระถิน อีกทั้งจากสมบัติเชิงกลที่ดีของ PVA ในงานวิจัยของ Azahari, N.A. และคณะ 2011 [24] งานวิจัยนี้จึงได้มีการใช้ดินสอพองผสมกับกัมอะราบิค, PVA และแป้งดัดแปร โดยกัมอะราบิคมีสมบัติเป็นกาวเหมือนกับกาวกระถินและ PVA ที่มีความยืดหยุ่นสูงและแป้งซึ่งเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายและราคาถูก มาพัฒนาเป็นวัสดุรองพื้นสำเร็จรูปสำหรับงานสีฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ดินสอพอง บริษัท สยามอินเตอร์ฮาร์ดแวร์คอร์ปอเรชัน จำกัด
2. กัมอะราบิค บริษัท รวมเคมี จำกัด
3. พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) เกรด GL-05 บริษัท Chemasia Limited ซึ่งมีสมบัติดังนี้
   - ความหนืด 4.8-5.8 mPa.s
   - ไฮโดรไลซิส 87.0-89.0 โมลเปอร์เซ็นต์
   - ปริมาณสารระเหยสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์
   - ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5-7
   - ปริมาณเถ้าสูงสุด 0.7 เปอร์เซ็นต์
4. แป้งมันสำปะหลัง โรงงานแป้งมัน ไทยทำ จังหวัดชลบุรี
5. เอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส (α-amylase)
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. Hydrochloric acid : HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents Group จำกัด
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodiumhydroxide : NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd. จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน รุ่น C-MAG HS 7 บริษัท IKA จำกัด
3. ไมโครมิเตอร์
4. pH meter
5. แปรงทาสี
6. ผ้าดิบ
7. โกร่งบดสาร
8. แท่งแม่เหล็กคนสาร
9. แผ่นไม้อัด
10. เทปกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เมจิกเทป บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด

12. กล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 บริษัท ANMO Electronics Corporation จำกัด

13. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง

14. เครื่องวัดความหนืด โรเตอร์เบอร์ 4 ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

3.3.1 การเตรียมสารละลายกัมอะราบิค

เตรียมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นค่อย ๆ ใส่กัมอะราบิค 20 กรัม ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งปั่นกวน จนกระทั่งกัมอะราบิคละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายกัมอะราบิคเข้มข้น 20% w/v

3.3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA)

เตรียมน้ำกลั่น 480 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C จากนั้นค่อย ๆ ใส่ PVA 120 กรัม ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งปั่นกวนด้วยความเร็ว 650 รอบต่อนาที จนกระทั่ง PVA ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์เข้มข้น 20% w/v

3.3.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 M และ 1.0 M

ทำการละลาย NaOH 2 และ 4 กรัมโดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 และ 1.0 M ตามลำดับ

3.3.4 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอลิก (HCl) 1.0 M

ทำการเจือจางสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.7 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นโดยปรับให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.3.5 การเตรียมแป้งดัดแปร (Modified starch)

กระจายแป้งมันสำปะหลัง 20 กรัมในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร โดยทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องและปรับให้มีค่า pH เท่ากับ 7 โดยใช้ 0.5 M NaOH 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60°C ทำการเติมเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส 1 หยด และเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 80°C ทำการปั่นกวนอีก 20 นาที แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิ 30°C ปรับ pH ให้เท่ากับ 3 เพื่อหยุดปฏิกิริยา โดยใช้ 1.0 M HCl 0.15 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการปรับให้เป็นกลางโดยใช้ 1.0 M NaOH 0.2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแป้งดัดแปรความเข้มข้นประมาณ 20% w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการเตรียมสูตรวัสดุรองพื้น

1. ชั่งดินสอพอง 20 กรัมและตวงส่วนผสมอื่น ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามตารางที่ 3.1 ใส่ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งใช้แท่งแก้วคนให้ส่วนผสมเข้ากัน
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-95°C เพื่อระเหยแห้งพร้อมทั้งใช้แท่งแก้วคนอย่างสม่ำเสมอ
3. ทำการบดอย่างละเอียดด้วยโกร่งบดสาร
4. ร่อนผงสูตรวัสดุรองพื้นผ่านตะแกรง เพื่อควบคุมขนาดอนุภาคให้มีความสม่ำเสมอ
5. ทำการเก็บสูตรตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของสูตรวัสดุรองพื้น

สูตร/ องค์ประกอบ	ดินสอพอง (g)	สารละลาย กัมอะราบิค (ml)	สารละลาย PVA (ml)	สารละลาย แป้งดัดแปร (ml)
P1	20	-	1	-
P2	20	-	2	-
P3	20	-	3	-
P4	20	-	4	-
P5	20	-	5	-
P6	20	-	6	-
P7	20	-	7	-
P8	20	-	8	-
P9	20	-	9	-
P10	20	-	10	-
G1	20	1	-	-
G2	20	2	-	-
G3	20	3	-	-
G4	20	4	-	-
G5	20	5	-	-
G6	20	6	-	-
G7	20	7	-	-
G8	20	8	-	-
G9	20	9	-	-
G10	20	10	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) องค์ประกอบของสูตรวัสดุรองพื้น

สูตร/ องค์ประกอบ	ดินสอพอง (g)	สารละลาย กัมอะราบิค (ml)	สารละลาย PVA (ml)	สารละลาย แป้งดัดแปร (ml)
S1	20	-	-	1
S2	20	-	-	2
S3	20	-	-	3
S4	20	-	-	4
S5	20	-	-	5
S6	20	-	-	6
S7	20	-	-	7
S8	20	-	-	8
S9	20	-	-	9
S10	20	-	-	10
P2G4	20	4	2	-
P3G3	20	3	3	-
P4G2	20	2	4	-
P2S4	20	-	2	4
P3S3	20	-	3	3
P4S2	20	-	2	2

กำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

P แทน สารละลายพอลิไวนิลอัลกอฮอล์

G แทน สารละลายกัมอะราบิค

S แทน สารละลายแป้งมันสัมปะหลังที่ได้รับการดัดแปรด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส

3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

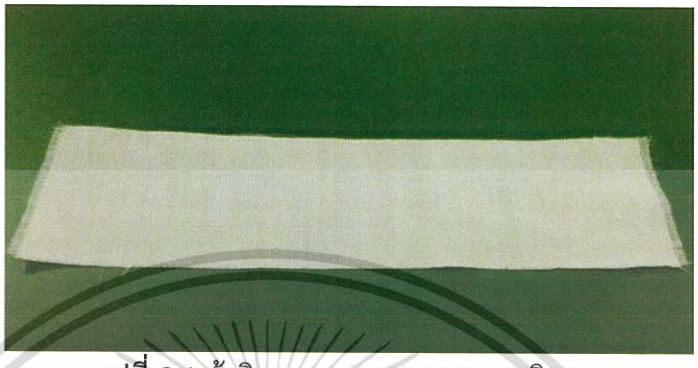
ชิ้นงานตัวอย่างมีการควบคุมความหนา 2 แบบ คือ

1. ชิ้นงานแบบบาง โดยควบคุมให้ชิ้นงานมีความหนา 0.1 มิลลิเมตร
2. ชิ้นงานแบบหนา โดยควบคุมให้ชิ้นงานมีความหนา 0.3 มิลลิเมตร

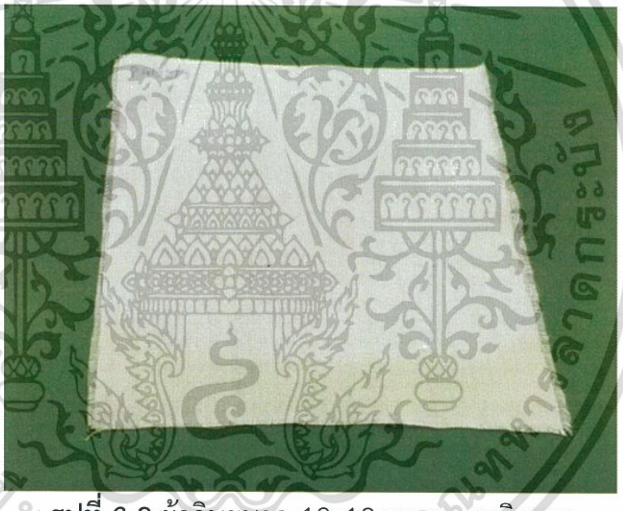
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การเตรียมชิ้นงานแบบบาง

1. ตัดผ้าดิบให้ได้ขนาด 5x20 ตารางเซนติเมตร และขนาด 12x12 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ



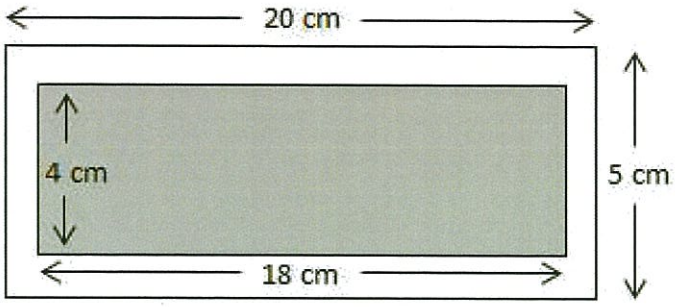
รูปที่ 3.1 ผ้าดิบขนาด 5x20 ตารางเซนติเมตร



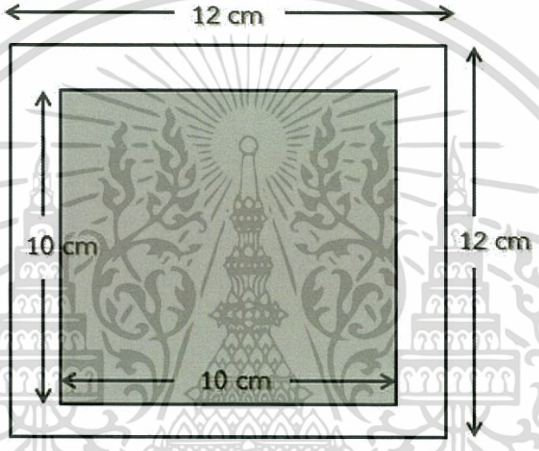
รูปที่ 3.2 ผ้าดิบขนาด 12x12 ตารางเซนติเมตร

2. เตรียมพื้นที่ใช้สำหรับการทาสูตรวัสดุรองพื้น ขนาด 4x18 ตารางเซนติเมตร และขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 (กรอบในสีเทา) ตามลำดับ
3. เตรียมบล็อคสกรีนขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตรทำการแปะขอบด้วยเทปกาวที่มีความหนา 0.06 มิลลิเมตร เพื่อกำหนดความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

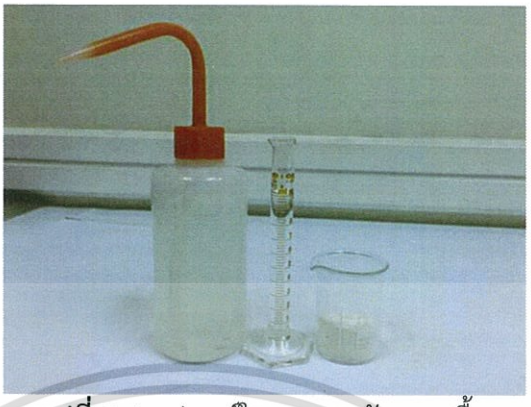


รูปที่ 3.4 ชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รูปที่ 3.5 บล็อคสกรีนขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผสมสูตรวัสดุรองพื้น 20 กรัม กับน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ในการผสมวัสดุรองพื้น

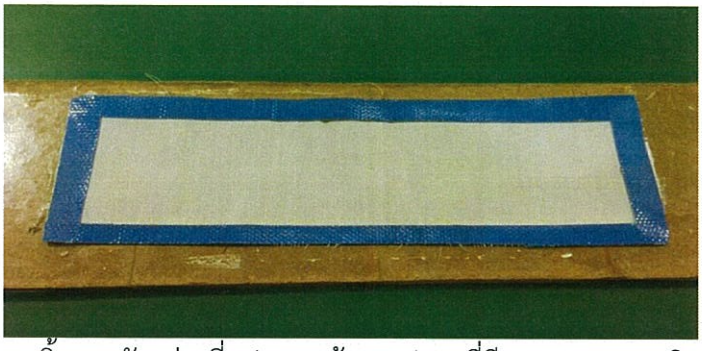
5. ใช้ยางปาดทำการปาดสูตรวัสดุรองพื้นผ่านบล็อคสกรีนลงบนผ้าดิบที่เตรียมไว้ ให้มีความเรียบและความหนาสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.7 และทิ้งชิ้นงานตัวอย่างให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.7 การปาดสูตรวัสดุรองพื้นลงบนผ้าดิบผ่านบล็อคสกรีน

3.5.2 การเตรียมชิ้นงานแบบหนา

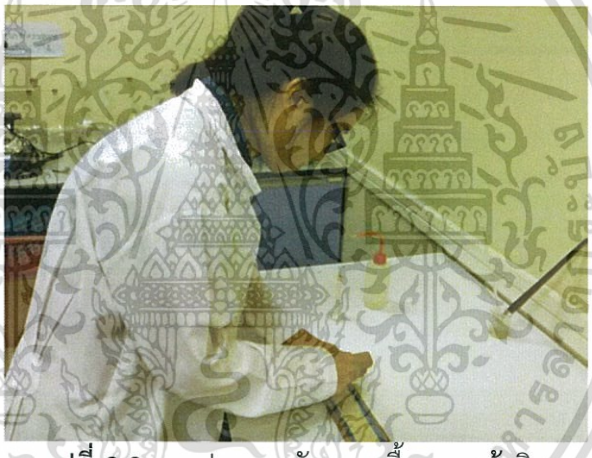
1. ตัดผ้าดิบให้ได้ขนาด 5x20 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1
2. เตรียมพื้นที่ใช้สำหรับการทาสูตรผสมดินสอพอง ขนาด 4x18 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 (กรอบในสีเทา)
3. นำผ้าที่เตรียมได้ติดลงบนแผ่นไม้อัดโดยการใช้เทปกาวสองหน้า
4. แปะขอบชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทปกาวที่มีความหนา 0.3 มิลลิเมตร เพื่อกำหนดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานตัวอย่างที่แปะขอบด้วยเทปกาวที่มีความหนา 0.3 มิลลิเมตร

5. ผสมสูตรผสมวัสดุรองพื้น 20 กรัม กับน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.6
6. ใช้ยางปาดทำการปาดสูตรผสมดินสอพองลงบนผ้าดิบที่เตรียมไว้ ให้มีความเรียบและความหนาสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.9 และทิ้งชิ้นงานตัวอย่างให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.9 การปาดสูตรวัสดุรองพื้นลงบนผ้าดิบ

3.6 การทดสอบ

3.6.1 การหาค่าความหนืด

1. เทสารละลายในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
2. จุ่มโรเตอร์เบอร์ 4 แล้วต่อเชื่อมเข้ากับเครื่อง Viscometer จากนั้นเลื่อนโรเตอร์ลงมาจุ่มในสารละลายจนถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้
3. ตั้งความเร็วรอบ 100 rpm เปิดสวิตซ์ให้โรเตอร์หมุนเป็นเวลา 20 วินาที
4. อ่านค่าและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การตรวจวัดขนาดอนุภาค

1. นำสูตรวัสดุรองพื้นในแต่ละสูตรมาบดเป็นผงให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร

2. เตรียมสูตรวัสดุรองพื้นบดละเอียดใส่แผ่น Glass slide แล้วทำการปิดทับด้วย Cover slit

3. นำสูตรวัสดุรองพื้นบดละเอียดที่เตรียมได้ไปตรวจวัดขนาดอนุภาคด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 500x โดยสุ่มวัดขนาดอนุภาค 50 จุด พร้อมหาค่าเฉลี่ย

3.6.3 การทดสอบการยึดติด

1. เตรียมชิ้นที่ใช้สำหรับการทดสอบ

2. ตัดเทปกาวแปะตามตำแหน่งต่าง ๆ ของรูปแบบที่ได้ทำการเตรียมไว้เป็นจำนวน 3 ตำแหน่ง

3. ดึงเทปกาวในแต่ละตำแหน่งออก ทำการตรวจสอบด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x บนเทปกาวว่าพบการหลุดลอกของดินสอพองหรือไม่

4. ทำการบันทึกรูปภาพผลการทดสอบบนเทปกาวทั้ง 3 ตำแหน่ง

3.6.4 การทดสอบความสามารถในการดัดโค้ง

1) การทดสอบความสามารถในการดัดโค้งในลักษณะม้วนออก

1.1 เตรียมชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดสอบ

1.2 ตรวจดูลักษณะพื้นผิวก่อนทำการดัดโค้งด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของรูปแบบที่ได้ทำการเตรียมไว้ เป็นจำนวน 5 ตำแหน่ง

1.3 นำชิ้นงานตัวอย่างม้วนติดกับท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร โดยนำด้านที่ทาดินสอพองไว้ด้านนอก

1.4 ตรวจดูลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานอีกครั้งหลังจากทำการม้วนติดกับท่อ PVC ที่เวลา 0, 24 ชั่วโมง ด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x พร้อมบันทึกภาพผลการทดสอบ

2) การทดสอบความสามารถในการดัดโค้งในลักษณะม้วนเข้า

2.1 เตรียมชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดสอบ

2.2 ตรวจดูลักษณะพื้นผิวก่อนทำการดัดโค้งด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของรูปแบบที่ได้ทำการเตรียมไว้ เป็นจำนวน 5 ตำแหน่ง

2.3 นำชิ้นงานตัวอย่างม้วนติดกับท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร โดยนำด้านที่ทาดินสอพองไว้ด้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ตรวจดูลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานอีกครั้งหลังจากทำการม้วนติดกับท่อ PVC ที่เวลา 0, 24 ชั่วโมง ด้วยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x พร้อมบันทึกภาพผลการทดสอบ

3.6.5 การทดสอบความทนทานต่อน้ำ

1. กำหนดตำแหน่งที่จะทำการหยดน้ำลงบนชิ้นงานแบบบาง จำนวน 3 ตำแหน่ง
2. ใช้หลอดหยดหยดน้ำจำนวน 1 หยดลงบนตำแหน่งที่กำหนด โดยหยดน้ำมีรัศมี 0.4 มิลลิเมตร
3. ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. วัดรัศมีของรอยหยดน้ำที่แห้ง

3.6.6 การทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้น

- ทำการทดสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านงานจิตรกรรมสีฝุ่นจำนวน 3 ท่าน

1. อาจารย์วรา ชัยนิตย์
2. อาจารย์สุเมธ พงศ์ชินฤทธิ์
3. อาจารย์ผ่อง เซ่งกิ่ง

โดยผู้เชี่ยวชาญทำการลงสีฝุ่นบนวัสดุรองพื้นที่ได้จัดเตรียมไว้ เพื่อดูความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีฝุ่นกับชั้นวัสดุรองพื้น ประเมินผลจากความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านงานจิตรกรรมสีฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมสูตรในการทำวัสดุรองพื้นเพื่อพัฒนาให้พื้นผ้าใบไม่เกิดการหลุดลอกได้ง่าย รวมถึงไม่เกิดการแตก หรือรอยแยกเมื่อทำการม้วนเก็บ โดยมีองค์ประกอบหลักคือดินสอพองผสมกับสารยึดติดประเภทต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (PVA) ที่ความเข้มข้น 20% ซึ่งมีสมบัติการยึดติดและให้ความยืดหยุ่นที่ดี, กัมอะราบิค (Gum arabic) ที่ความเข้มข้น 20% ซึ่งมีสมบัติเป็นกาวที่ดีเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติมีสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี (Binder) และแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยเอนไซม์ อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) ที่ความเข้มข้น 20% โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของดินสอพองต่อสารยึดติด จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ มาศึกษาสมบัติการยึดติดโดยใช้เทปกาว, ศึกษาลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่าง, ศึกษาถึงขนาดอนุภาคและความหนาของชิ้นงาน, ศึกษาถึงพฤติกรรมการทนน้ำจากลักษณะขยายตัวของหยดน้ำที่หยดลงบนชิ้นงาน, ความสามารถในการดัดโค้งของวัสดุที่ใช้รองพื้นผ้าใบโดยการดัดโค้งกับตัวท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตรแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การดัดชิ้นงานในลักษณะม้วนเข้า และการดัดชิ้นงานในลักษณะม้วนออก ทำการตรวจวัดโดยใช้กล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 60x , และศึกษาถึงความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นโดยผู้เชี่ยวชาญ

4.1 ความหนืดของสารละลายสารยึดติดที่ใช้ผสมกับดินสอพอง

ตารางที่ 4.1 ความหนืดของสารละลายที่ใช้ผสมกับดินสอพอง

สารละลาย	ความหนืด (cP)
กัมอะราบิค 20% w/v	61.5
พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 20% w/v	993.3
แป้งดัดแปร 20% w/v	19.0

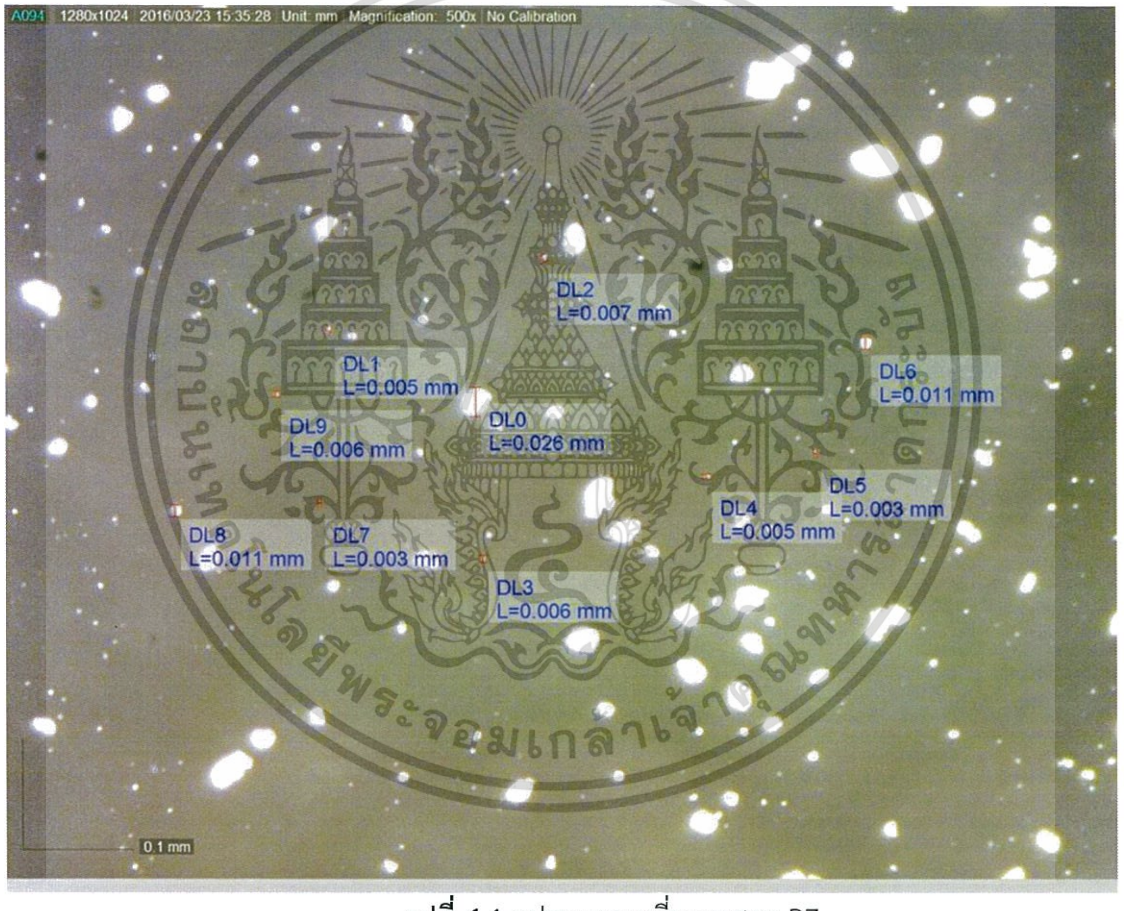
สารละลายของสารช่วยยึดติดทั้ง 3 ประเภท ควบคุมความเข้มข้นที่ 20% w/v เมื่อวัดค่าความหนืดพบว่าแป้งดัดแปรมีความหนืดต่ำสุดโดยมีค่าอยู่ที่ 19.0 เซนติพอยส์ และพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีความหนืดสูงสุดที่ 993.3 เซนติพอยส์ ในขณะที่กัมอะราบิคมีค่าความหนืดระหว่างสารละลายของสารยึดติดทั้ง 2 ประเภทข้างต้นที่ 61.5 เซนติพอยส์ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.1 จากค่าความหนืดดังกล่าว คาดว่าพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีขนาดโมเลกุลสูงที่สุดหรือมีแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูงสุด ในขณะที่แป้งดัดแปรน่าจะมีขนาดโมเลกุลต่ำสุดหรือมีแรงยืดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำสุด

4.2 การตรวจวัดขนาดอนุภาค

วัสดุรองพื้นที่เตรียมได้ทั้ง 24 สูตรที่แสดงรายละเอียดในบทที่ 3 เมื่อนำมาทำการตรวจวัดขนาดอนุภาคโดยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 500x พบว่าแต่ละสูตรมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.2 และตัวอย่างภาพถ่ายอนุภาคของวัสดุรองพื้นสูตร P7 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปอนุภาคเฉลี่ยของสูตร P7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุรองพื้น

สูตร	ขนาดอนุภาค (μm)
P3	8.2±5.7
P4	6.9±5.5
P5	6.1±4.0
P6	5.9±3.6
P7	6.0±4.2
P8	7.4±5.1
P9	6.4±4.7
P10	6.5±3.9
G3	8.5±6.1
G4	9.6±6.4
G5	8.9±7.4
G6	9.5±7.5
G7	9.1±6.5
G8	7.3±5.3
G9	7.6±4.4
G10	5.0±2.5
S3	7.9±5.3
S4	8.2±6.7
S5	8.6±7.7
S6	9.0±7.1
S7	7.6±6.0
S8	8.2±7.5
S9	8.7±6.8
S10	8.3±6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความหนาของชิ้นงาน

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ลงวัสดุรองพื้นแล้วมาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยชิ้นงานแบบบางมีความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.09-0.18 มิลลิเมตร และ ชิ้นงานแบบหนามีความหนาเฉลี่ยในช่วง 0.22-0.42 มิลลิเมตร ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงาน

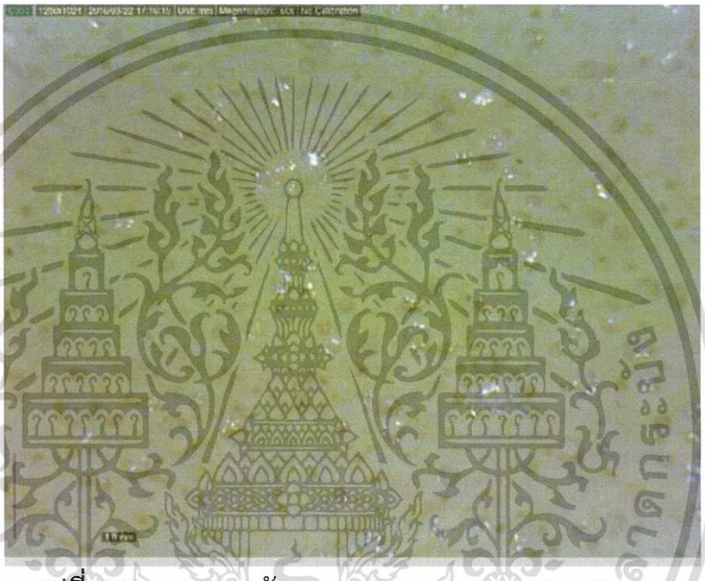
สูตร	ชิ้นงานแบบบาง (mm)	ชิ้นงานแบบหนา (mm)
P3	0.12± 0.02	0.28±0.06
P4	0.12±0.04	0.34±0.05
P5	0.14± 0.08	0.28±0.05
P6	0.15± 0.02	0.42±0.08
P7	0.10± 0.01	0.31±0.06
P8	0.18±0.04	0.35±0.06
P9	0.17± 0.04	0.34±0.08
P10	0.17± 0.03	0.42±0.14
G3	0.10±0.02	0.25±0.04
G4	0.10± 0.02	0.22±0.06
G5	0.09±0.02	0.22±0.07
G6	0.10±0.03	0.29±0.05
G7	0.09±0.02	0.33±0.05
G8	0.10±0.01	0.28±0.04
G9	0.10±0.03	0.28±0.05
G10	0.10±0.02	0.31±0.06
S3	0.07±0.02	0.24±0.07
S4	0.07±0.02	0.20±0.05
S5	0.07±0.01	0.22±0.05
S6	0.07±0.01	0.41±0.05
S7	0.09±0.04	0.39±0.04
S8	0.08±0.02	0.24±0.06
S9	0.10±0.02	0.26±0.07
S10	0.09±0.02	0.25±0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุรองพื้น

ชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ในแต่ละสูตร มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบที่ใช้ในการเตรียมสูตรผสมแตกต่างกัน

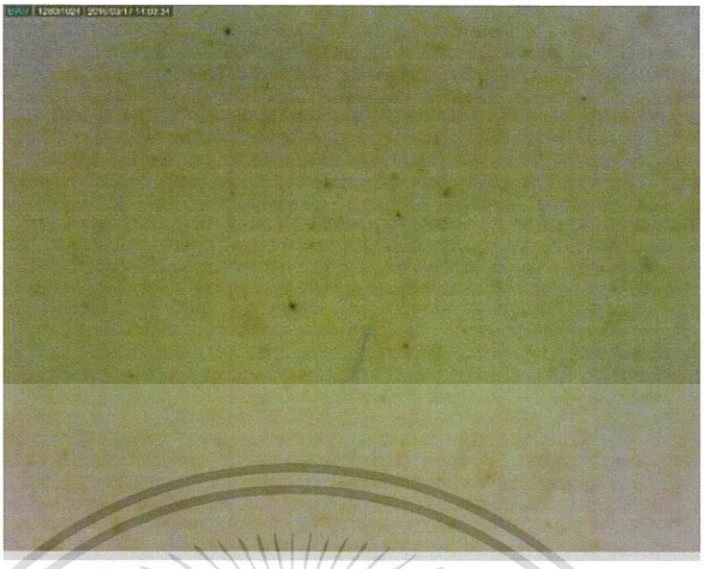
สูตรวัสดุรองพื้นที่มีส่วนผสมของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบและเห็นเกล็ดที่มีความเงา เนื่องจากความหนืดที่สูงของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ทำให้เกิดการกระจุกตัวของพอลิไว-นิลอัลกอฮอล์และสะท้อนแสงเห็นเป็นลักษณะมันเงาดังกล่าว ภาพตัวอย่างของวัสดุรองพื้นที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (สูตร P6) แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร P6

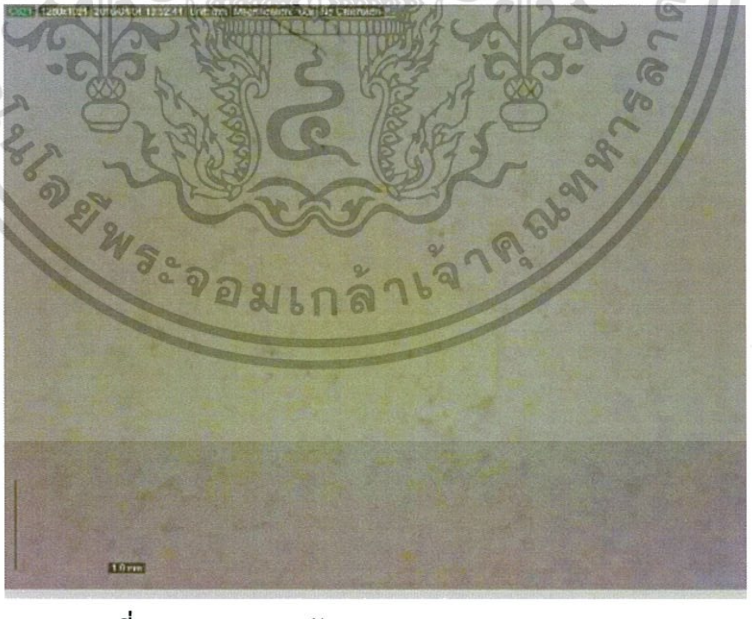
ลักษณะทางกายภาพของวัสดุรองพื้นสูตรที่มีส่วนผสมของกัมอะราบิคมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ภาพตัวอย่างของวัสดุรองพื้นสูตรที่มีส่วนผสมของกัมอะราบิค (สูตร G6) แสดงดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร G6

ลักษณะทางกายภาพของวัสดุรองพื้นสูตรที่มีส่วนผสมของแป้งดัดแปรมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบที่สุด เนื่องจากความหนืดที่ต่ำของแป้งดัดแปรทำให้มีการกระจายตัวของดินสอพองในวัฏภาคแป้งดัดแปรที่ดี ภาพตัวอย่างของวัสดุรองพื้นสูตรที่มีส่วนผสมของแป้งดัดแปร (สูตร S6) แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงลักษณะทางกายภาพจากสูตร S6

4.5 ผลการทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติด

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ลงวัสดุรองพื้นแล้วมาทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติด โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบที่แสดงในบทที่ 3 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

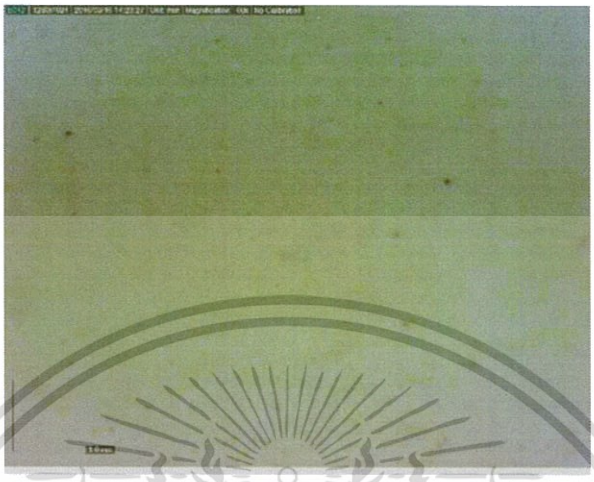
ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของสูตรที่มีสารยึดติดประเภทเดียว

สูตร	รอยแตกเนื่องจากการดัดโค้ง				การยึดติด
	แบบม้วนเข้า		แบบม้วนออก		
	บาง	หนา	บาง	หนา	
P3	0	2	0	1	✓
P4	0	2	2	3	✓
P5	0	2	1	3	✓
P6	0	0	0	2	✓
P7	0	1	0	1	✓
P8	0	0	0	0	✓
P9	0	0	0	0	✓
P10	0	0	0	0	✓
G3	1	3	0	3	✗
G4	1	3	0	3	✗
G5	0	2	0	3	✗
G6	0	2	0	2	✓
G7	0	2	0	2	✓
G8	1	1	0	2	✓
G9	0	1	0	2	✓
G10	0	2	0	2	✓
S3	0	2	1	2	✗
S4	0	2	1	1	✗
S5	0	2	0	2	✓
S6	1	2	0	3	✗
S7	1	2	0	3	✓
S8	0	2	0	3	✓
S9	0	1	0	2	✓
S10	1	2	0	2	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***หมายเหตุ :** รอยแตกถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

- ระดับ 0 : ไม่เกิดรอยแตกบริเวณใดเลย



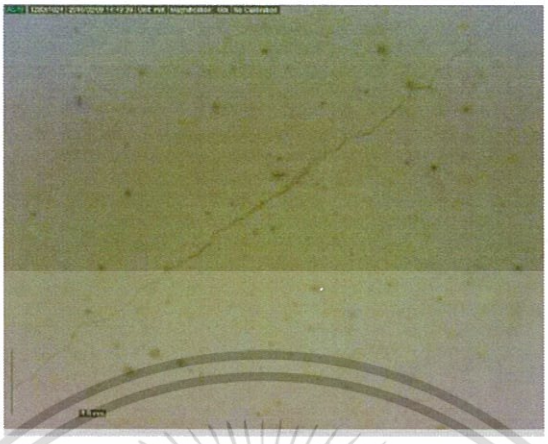
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงรอยแตกระดับ 0 จากสูตร S4 แบบบาง (ทดสอบแบบม้วนเข้า)

- ระดับ 1 : รอยแตกไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้อง Digital microscope กำลังขยาย 60x เป็นระดับที่ยังคงสามารถนำไปใช้งานได้ ไม่ส่งผลกระทบในการลงสี

รูปที่ 4.6 ภาพแสดงรอยแตกระดับ 1 จากสูตร S4 แบบบาง (ทดสอบแบบม้วนออก)

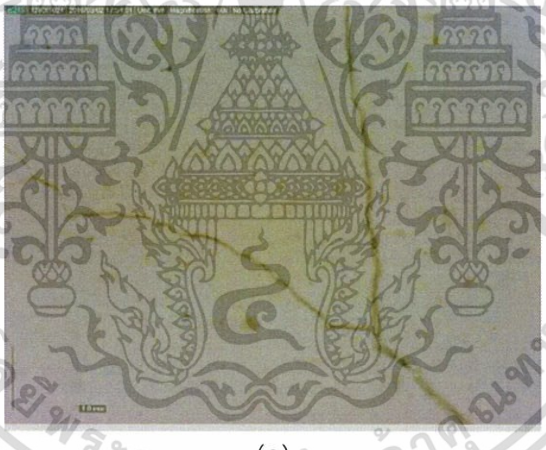
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับ 2 : รอยแตกสามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นระดับที่ยังคงสามารถนำไปใช้งานในการลงสีได้

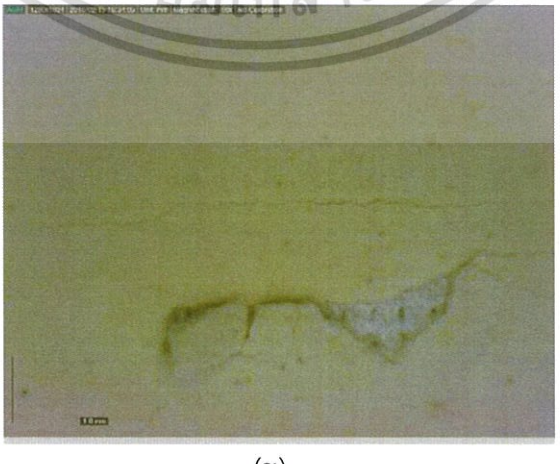


รูปที่ 4.7 ภาพแสดงรอยแตกระดับ 2 จากสูตร P5 แบบหนา (ทดสอบแบบม้วนเข้า)

- ระดับ 3 : เป็นระดับที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ รอยแตกสามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน



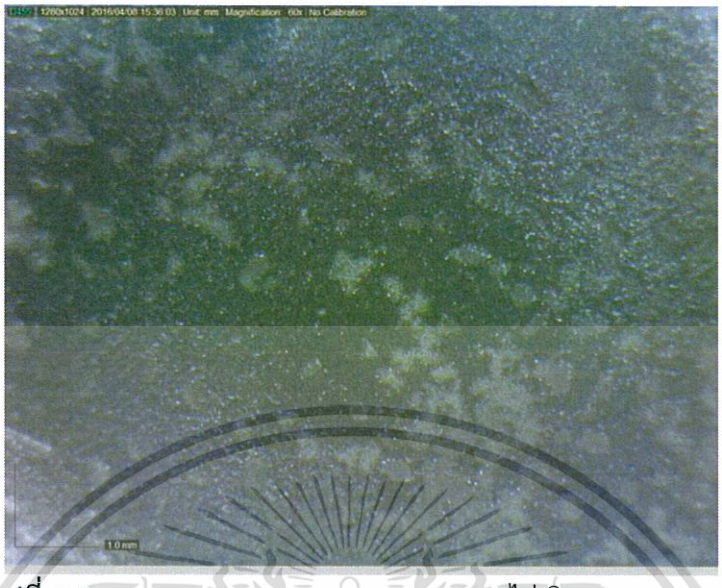
(ก)



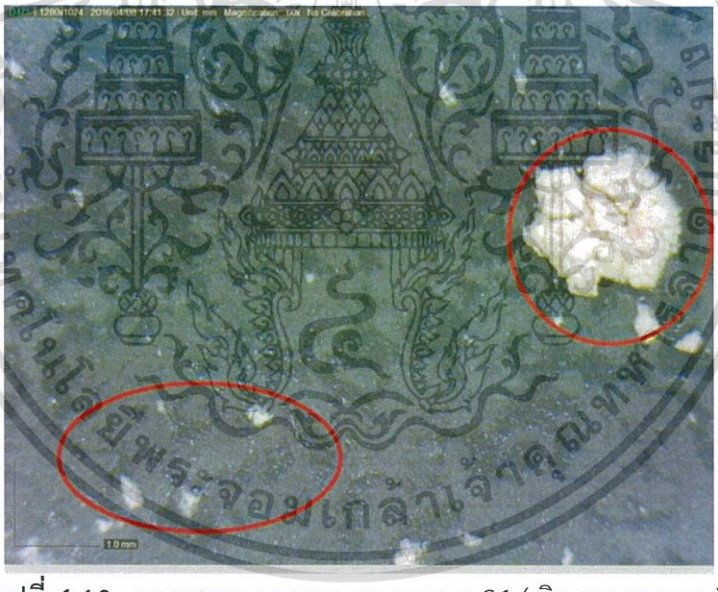
(ข)

รูปที่ 4.8 ภาพแสดงรอยแตกระดับ 3 จากสูตร S6 แบบหนา (ก) และ G3 แบบหนา (ข)
(ทดสอบแบบม้วนออก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงการหลุดลอกจากสูตร P6 (ไม่เกิดการหลุดลอก)



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงการหลุดลอกจากสูตร S4 (เกิดการหลุดลอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำชิ้นงานแบบหนามาทำการทดสอบความสามารถในการดัดโค้ง พบว่าชิ้นงานทุกสูตรเกิดรอยแตกในระดับ 2 และ 3 โดยมีเพียงสูตร P8, P9 และ P10 ที่ไม่เกิดรอยแตกทั้งการทดสอบแบบม้วนเข้าและม้วนออก

สูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของพอลิไวนิลอัล-กอฮอล์ทำให้รอยแตกที่เกิดขึ้นลดลงจนไม่พบรอยแตกหรือไม่พบรอยแตกที่ชัดเจนตั้งแต่สูตร P6-P10

สูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้กัมอะราบิค พบว่ามีรอยแตกเกิดขึ้นในทุกสูตรเนื่องจากกัมอะราบิคเมื่อแห้งมีสมบัติเป็นฟิล์มที่เปราะแตกง่าย

สำหรับสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้แป้งดัดแปร พบว่าทุกสูตรเกิดรอยแตกเช่นเดียวกันกับสูตรที่ใช้กัมอะราบิคเนื่องจากแป้งดัดแปรไม่ได้มีสมบัติการเป็นฟิล์มที่ดี

อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงไม่นิยมใช้วัสดุรองพื้นที่มีความหนามาก จึงทำการลดความหนาของชิ้นงานลงเป็นชิ้นงานแบบบาง พบว่าเมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดัดโค้ง ส่วนมากไม่พบรอยแตกที่ชัดเจน

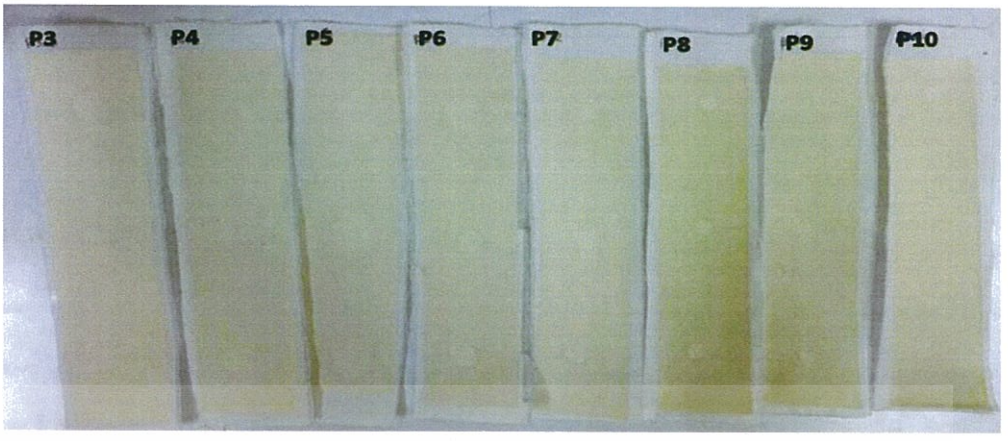
เมื่อนำชิ้นงานมาทำการทดสอบการยึดติด พบว่าสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีการยึดติดที่ดี เนื่องจากไม่มีสูตรใดเกิดการหลุดลอก และพบว่าสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมกัมอะราบิคมีการยึดติดที่ดีตั้งแต่สูตร G6-G10 และการทดสอบสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมแป้งดัดแปรพบว่ามีการยึดติดที่ดีตั้งแต่สูตร S7-S10 โดยสูตรที่เกิดการหลุดลอกของวัสดุรองพื้นเนื่องจากมีปริมาณพอลิเมอร์ที่น้อยจึงทำให้เกิดการยึดติดไม่ดี เมื่อมีแรงกระทำจากการลอกเทปกาวที่ติดบนชิ้นงานตัวอย่างจึงเกิดการหลุดลอกของดินสอพองซึ่งเป็นส่วนผสมในวัสดุรองพื้น ตัวอย่างภาพการหลุดลอกของวัสดุรองพื้นหลังการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

4.6 ความทนทานต่อน้ำ

การทดสอบความทนทานต่อน้ำเป็นการทดสอบเพื่อดูความสามารถในการละลายของวัสดุรองพื้นที่เตรียมได้จากพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบที่แสดงในบทที่ 3

เมื่อได้ทำการทดสอบแล้วทำการถ่ายภาพการขยายตัวของหยดน้ำ ดังรูปที่ 4.11 และทำการวัดรัศมีการขยายตัวของหยดน้ำ ผลแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.11 การขยายตัวของหยดน้ำ (ก) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (ข) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมกัมอะราบิค (ค) สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมแป้งดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การขยายตัวของหยดน้ำ

สูตร	รัศมีการขยายตัวของหยดน้ำ(cm)
P3	1.4
P4	1.1
P5	1.1
P6	0.7
P7	0.6
P8	0.5
P9	0.4
P10	0.4
G3	0.4
G4	0.4
G5	0.4
G6	0.4
G7	0.4
G8	0.4
G9	0.5
G10	0.4
S3	1.1
S4	1.1
S5	0.8
S6	0.6
S7	0.5
S8	0.5
S9	0.6
S10	0.5

จากการทดสอบพบว่าทุกสูตรเกิดการซึมน้ำ เนื่องจากสารยึดติดทุกชนิดที่ใช้ในงานวิจัยมีความสามารถในการละลายที่ดี โดยสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ เป็นเกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีเปอร์เซ็นต์ไฮโดรไลซิสต่ำ ทำให้ละลายน้ำได้ดี แต่เมื่อปริมาณของพอลิไวนิลอัล-กอฮอล์เพิ่มขึ้น (ตั้งแต่สูตร P6-P10) พบว่าการขยายตัวของหยดน้ำลดลง ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

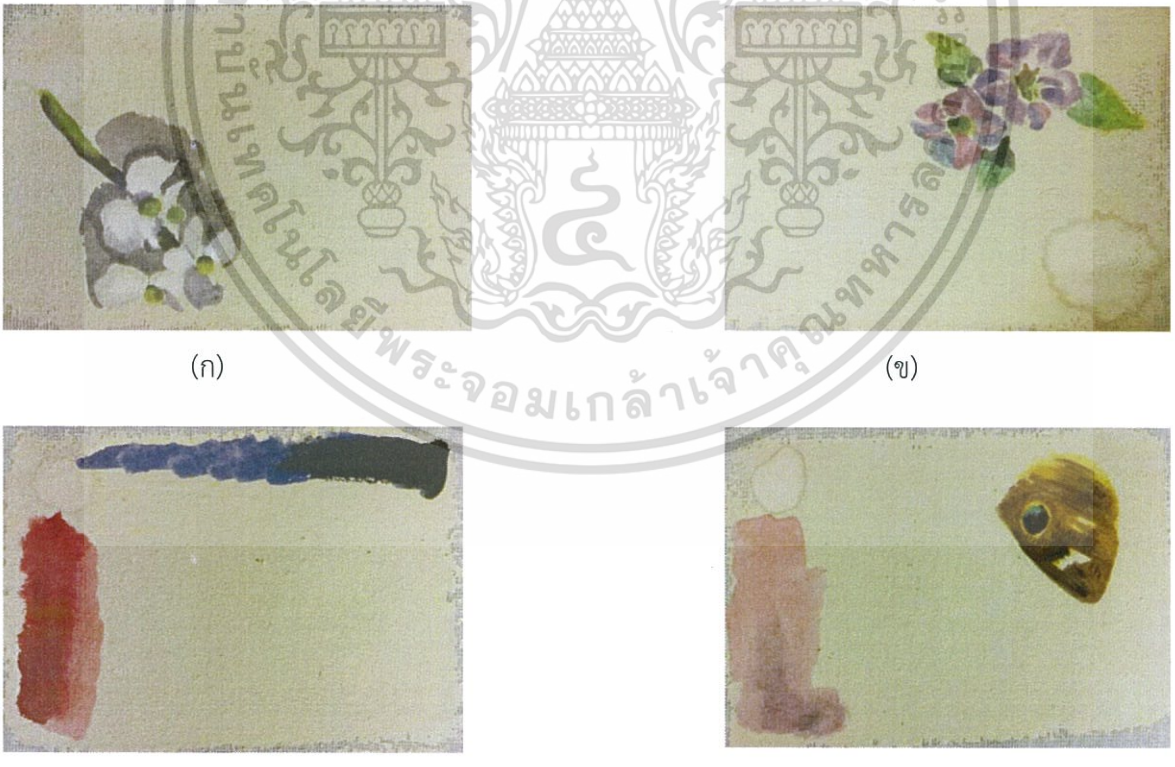
พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเมื่อสัมผัสน้ำเกิดการละลายและมีความหนืดสูง จึงทำให้การขยายตัวของหยดน้ำต่ำลง

สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมกัมอะราบิค พบว่าเกิดการขยายตัวของหยดน้ำที่น้อยที่สุด เนื่องจากกัมอะราบิคมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความเกะกะสูง ทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่

สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมแป้งดัดแปร พบว่ามีการดูดซับของหยดน้ำที่เร็วที่สุด เพราะแป้งถูกตัดสายโซ่ด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส จึงทำให้แป้งดัดแปรมีขนาดโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ง่าย

4.7 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียว

นำตัวอย่างสูตรวัสดุรองพื้น จำนวน 10 สูตร ได้แก่สูตร P5, P6, P7, P8, G5, G6, G7, G8, S7 และ S8 ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบ โดยที่สูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือ G5 และ G6 ส่วนสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์นั้นมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานทำให้สีฝุ่นไม่สามารถยึดเกาะกับชั้นวัสดุรองพื้นได้ดีเท่าที่ควร สำหรับสูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมแป้งดัดแปรเกิดการกระจายของสีฝุ่นในชั้นวัสดุรองพื้นมากเกินไป โดยมีตัวอย่างการลงสีจากผู้เชี่ยวชาญดังรูปที่ 4.12



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.12 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียวโดยผู้เชี่ยวชาญ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P8 (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร S7 (ค) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร G5 และ (ง) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร G6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสูตรวัสดุรองพื้นที่มีส่วนผสมของสารยึดติดประเภทเดียว สรุปได้ดังนี้

จากผลการทดสอบความสามารถในการดัดโค้งพบว่าสูตรที่เกิดรอยแตกน้อยที่สุด คือ สูตรวัสดุรองพื้นที่ผสมพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (สูตร P6-P10) สำหรับการทดสอบการยึดติดโดยพอลิเมอร์ทั้งสามมีการยึดติดที่ดี ตั้งแต่สูตร P6, G6 และ S6 ขึ้นไป และจากการทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าสูตรที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด คือ สูตร G5 และ G6 ดังนั้นจึงเลือกสูตรวัสดุรองพื้นที่มีปริมาณสารละลายสารยึดติด 6 มิลลิลิตรต่อดินสอพอง 20 กรัม มาปรับปรุงสูตรวัสดุรองพื้นให้มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยคู่สารยึดติดผสมที่เลือกใช้ ได้แก่ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ผสมกับกัมอะราบิคและพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ผสมกับแป้งดัดแปรโดยอัตราส่วนที่เลือกใช้คือ 2:4, 3:3 และ 4:2 โดยปริมาตร

4.8 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุรองพื้นสูตรที่ใช้สารยึดติดผสม

วัสดุรองพื้นที่เตรียมได้ในแต่ละสูตรที่แสดงรายละเอียดในบทที่ 3 นำมาตรวจวัดขนาดอนุภาคโดยกล้อง Digital microscope รุ่น Dino-Lite pro 2 กำลังขยาย 500x จากการตรวจวัดขนาดอนุภาคของวัสดุรองพื้นทั้ง 6 สูตร พบว่าแต่ละสูตรมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6-11 ไมโครเมตร ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้สารยึดติดผสม

สูตร	ขนาดอนุภาค (µm)
P2G4	7.0±5.3
P3G3	6.2±3.7
P4G2	6.2±3.9
P2S4	6.9±4.8
P3S3	10.3±8.0
P4S2	7.2±4.9

4.9 ความหนาของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ลงวัสดุรองพื้นแล้วมาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ โดยชิ้นงานแบบบางมีความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.08-0.13 มิลลิเมตร และชิ้นงานแบบหนามีความหนาเฉลี่ยในช่วง 0.27-0.31 มิลลิเมตร ผลแสดงดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

สูตร	ชิ้นงานแบบบาง (mm)	ชิ้นงานแบบหนา (mm)
P2G4	0.10±0.02	0.30±0.05
P3G3	0.10±0.02	0.29±0.03
P4G2	0.11±0.02	0.27±0.04
P2S4	0.12±0.05	0.27±0.05
P3S3	0.08±0.02	0.30±0.05
P4S2	0.13±0.03	0.31±0.05

4.10 การทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

นำชิ้นงานตัวอย่างที่ลงวัสดุรองพื้นแล้วมาทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติด โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบที่แสดงในบทที่ 3 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดสอบความสามารถในการดัดโค้งและการยึดติดของสูตรสารยึดติดผสม

สูตร	รอยแตกเนื่องจากการดัดโค้ง				การยึดติด
	เข้า		ออก		
	บาง	หนา	บาง	หนา	
P2G4	0	2	0	2	✓
P3G3	1	1	0	2	✓
P4G2	0	1	0	2	✓
P2S4	0	2	0	3	✓
P3S3	0	1	0	3	✓
P4S2	0	1	0	2	✓

จากการทดสอบพบว่าชิ้นงานแบบหนายังคงพบรอยแตกในชิ้นงานทุกสูตร โดยเกิดรอยแตกในระดับ 1-3 สำหรับชิ้นงานแบบบางเมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดัดโค้ง พบว่าทุกสูตรไม่พบรอยแตกยกเว้นเพียงกรณีการดัดโค้งแบบม้วนเข้าของสูตร P3G3 เท่านั้นที่เกิดรอยแตกในระดับ 1

เมื่อนำชิ้นงานมาทำการทดสอบการยึดติด พบว่าสูตรวัสดุรองพื้นทุกสูตรมีการยึดติดที่ดี ไม่เกิดการหลุดลอกในลักษณะที่หลุดเป็นแผ่นเหมือนกรณีสูตรวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียว แสดงผลในตารางที่ 4.4 ยกเว้นสูตร P2G4 และ P3G3 ที่พบการหลุดลอกเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 ความทนทานต่อน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

การทดสอบความทนทานต่อน้ำเป็นทดสอบเพื่อดูความสามารถในการละลายของวัสดุรองพื้นที่เตรียมได้จากสารยึดติดผสม โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบที่แสดงในบทที่ 3

เมื่อทำการทดสอบแล้วจะทำการถ่ายภาพการขยายตัวของหยดน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.13 และทำการวัดรัศมีการขยายตัวของหยดน้ำ ผลแสดงดังตารางที่ 4.9

รูปที่ 4.13 การขยายตัวของหยดน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

ตารางที่ 4.9 การขยายตัวของหยดน้ำของชิ้นงานที่ใช้วัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

สูตร	รัศมีการขยายตัวของหยดน้ำ (cm)
P2G4	1.0
P3G3	1.0
P4G2	0.5
P2S4	1.1
P3S3	0.9
P4S2	1.1

จากตารางที่ 4.9 พบว่าวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมที่มีความทนทานต่อน้ำมากที่สุดคือสูตร P4G2 ซึ่งมีรัศมีการขยายตัวของหยดน้ำเป็น 0.5 เซนติเมตร เนื่องจากมีส่วนผสมของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ปริมาณมาก ทำให้มีความหนืดสูงและมีการใช้คู่กับกัมอะราบิคที่โครงสร้างโมเลกุลมีความเกะกะสูงทำให้เกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่ ส่งผลให้รัศมีการขยายตัวของหยดน้ำต่ำกว่าสูตรวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสม

นำตัวอย่างวัสดุรองพื้น จำนวน 6 สูตร ได้แก่สูตร P2G4, P3G3, P4G2, P2S4, P3S3 และ P4S2 ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบ โดยสูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือสูตร P2G4 ซึ่งในกระบวนการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การทดสอบแบบจิตรกรรมสมัยใหม่ และการทดสอบแบบจิตรกรรมไทย

การทดสอบแบบจิตรกรรมสมัยใหม่ เป็นการทดสอบโดยการลงสีฝุ่นในปริมาณที่น้อยกว่างานแบบจิตรกรรมไทย ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีน้อย โดยจากการทดสอบพบว่าสูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือสูตร P2G4 และ P4S2 สำหรับสูตรที่เหลือไม่ได้รับความพึงพอใจเนื่องจากพบลักษณะการลอยของชั้นสีด้านล่างขึ้นมาผสมกับชั้นสีด้านบน ส่งผลให้ชั้นสีด้านบนเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิม ตัวอย่างการลงสีจากผู้เชี่ยวชาญแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P2G4 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4S2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.15 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญที่ไม่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3G3 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3S3

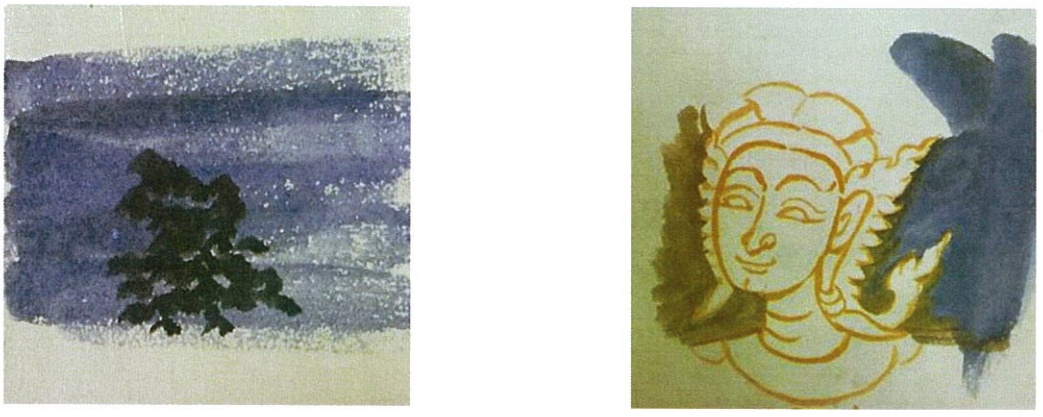
การทดสอบแบบจิตรกรรมไทย เป็นการทดสอบโดยการลงสีฝุ่นในปริมาณที่มากกว่างานแบบจิตรกรรมสมัยใหม่ ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีมากและในการทดสอบแบบจิตรกรรมไทยนั้นต้องการพื้นผิวที่มีความเรียบก่อนการลงชั้นสีฝุ่นจึงมีการขัดพื้นผิวโดยใช้เปลือกหอยเพื่อให้เกิดความเรียบก่อนทำการลงสีบนชิ้นงาน โดยจากการทดสอบพบว่าสูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือสูตร P2G4 และ P3S3 สำหรับสูตรที่เหลือไม่ได้รับความพึงพอใจเนื่องจากบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานมีความหยาบสูงและดูดซึมสีช้า เพราะความหนืดที่สูงขึ้นจากปริมาณของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ทำให้เกิดการกระจุกตัวรวมกันแน่น ตัวอย่างการลงสีจากผู้เชี่ยวชาญแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

(ก)

(ข)

รูปที่ 4.16 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P2G4 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P3S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.17 ความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญที่ไม่ได้รับความพึงพอใจ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4G2 และ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานจากสูตร P4S2

จากการทดสอบความเข้ากันได้ของชั้นสีกับชั้นวัสดุรองพื้นที่เตรียมขึ้น ได้ข้อสรุปว่ากรณีสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้สารยึดติดผสมระหว่างพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับกัมอะราบิค สัดส่วนที่เหมาะสมคือสูตร P2G4 ทั้งการทดสอบแบบจิตรกรรมสมัยใหม่และการทดสอบแบบจิตรกรรมไทย โดยสูตรที่มีปริมาณพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มากขึ้นไม่ได้รับความพึงพอใจ เนื่องจากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์เมื่อละลายน้ำจะให้ความหนืดที่สูงกว่ากัมอะราบิค ส่งผลให้สีฝุ่นที่วาดลงบนพื้นผ้าใบที่มีชั้นวัสดุรองพื้นไม่สามารถกระจายตัวได้ดีและสีฝุ่นซึมลงบนชั้นวัสดุรองพื้นได้ช้า ทำให้การยึดติดระหว่างชั้นสีฝุ่นกับชั้นวัสดุรองพื้นไม่ดี เมื่อมีการลงชั้นสีฝุ่นทับในชั้นถัดไปชั้นสีฝุ่นที่อยู่ด้านล่างจึงลอยขึ้นมาปนกับชั้นสีฝุ่นที่วาดทับทำให้สีเกิดการผิดเพี้ยน

กรณีสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้สารยึดติดผสมระหว่างพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับแป้งดัดแปร พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบความเข้ากันได้ของชั้นสีฝุ่นกับชั้นวัสดุรองพื้นแบบสมัยใหม่คือสูตร P4S2 และสำหรับการทดสอบแบบจิตรกรรมไทยคือสูตร P3S3 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งดัดแปรมีความทนทานต่อน้ำต่ำ เมื่อใช้ในปริมาณที่มากจะส่งผลให้สีฝุ่นชั้นล่างลอยขึ้นมาปนเปื้อนกับชั้นสีฝุ่นด้านบน จึงต้องใช้ปริมาณพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่มากกว่าแบบสูตรผสมระหว่างพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับกัมอะราบิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมสูตรในการทำวัสดุรองพื้นเพื่อพัฒนาให้พื้นผ้าใบไม่เกิดการหลุดลอกได้ง่าย รวมถึงไม่เกิดการแตก หรือรอยแยกเมื่อทำการม้วนเก็บ โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ ดินสอพองผสมกับสารยึดติดประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 20%, กัมอะราบิค ที่ความเข้มข้น 20% และแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส ที่ความเข้มข้น 20% โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของดินสอพองต่อสารยึดติด โดยแบ่งสูตรวัสดุรองพื้นเป็น 2 ประเภทคือ สูตรวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียวและสูตรที่ใช้สารยึดติดผสม

จากการทดสอบสูตรวัสดุรองพื้นที่มีสารยึดติดประเภทเดียวโดยทำการควบคุมขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นให้อยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร และนำไปขึ้นรูปชิ้นงานแบบบางและแบบหนาให้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.09-0.18 มิลลิเมตร และ 0.22-0.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยชิ้นงานที่เตรียมได้ในแต่ละสูตรจะมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน สูตรวัสดุรองพื้นที่มีส่วนผสมของพอลิไวนิลอัล-กอฮอล์มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบและเห็นเป็นเกล็ดที่มีความเงา สำหรับสูตรที่มีส่วนผสมของกัมอะราบิคนั้นมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ในส่วนของสูตรที่มีส่วนผสมของแป้งดัดแปรมีพื้นผิวที่เรียบที่สุด เมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการดัดโค้งพบว่าสูตรที่เกิดรอยแตกน้อยที่สุดคือ สูตรวัสดุรองพื้นที่มีส่วนผสมของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ (สูตร P6-P10) สำหรับการทดสอบการยึดติดพบว่าสารยึดติดทั้งสามชนิดมีการยึดติดที่ดีที่สูตร P6-P10, G6-G10 และ S6-S10 จากนั้นทำการทดสอบความทนทานต่อน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์, กัมอะราบิค และแป้งดัดแปรในสูตรวัสดุรองพื้น การขยายตัวของหยดน้ำลดลง โดยที่แป้งดัดแปรมีการขยายตัวของหยดน้ำที่เร็วที่สุด และจากการทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าสูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุด คือ สูตร G5 และ G6 ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกสูตรวัสดุรองพื้นที่มีสัดส่วนของสารละลายสารยึดติด 6 มิลลิลิตรต่อดินสอพอง 20 กรัม มาทำการปรับปรุงสูตรวัสดุรองพื้นให้มีสมบัติที่ดีขึ้น จากสมบัติของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ที่มีความยืดหยุ่นสูงและทนทานต่อการดัดโค้ง, สมบัติของกัมอะราบิคที่เป็นตัวประสานที่ดี และแป้งดัดแปรที่ให้ลักษณะพื้นผิวที่เรียบ จึงเลือกใช้คู่สารยึดติดผสม ได้แก่ พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ผสมกับกัมอะราบิค และพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ผสมกับแป้งดัดแปรโดยมีอัตราส่วนที่เลือกใช้คือ 2:4, 3:3 และ 4:2 โดยปริมาตร

จากการทดสอบสูตรวัสดุรองพื้นที่ใช้สารยึดติดผสมโดยควบคุมขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นให้อยู่ในช่วง 6-11 ไมโครเมตร และนำไปขึ้นรูปชิ้นงานแบบบางและแบบหนาให้มีความหนาอยู่ในช่วง 0.08-0.13 มิลลิเมตร และ 0.27-0.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการดัดโค้งพบว่าชิ้นงานแบบบางทุกสูตรไม่เกิดรอยแตก สำหรับการทดสอบการยึดติดพบว่าสารยึดติด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมทุกสูตรมีการยึดติดที่ดี ไม่เกิดการหลุดลอกในลักษณะที่หลุดเป็นแผ่น และสูตรสารยึดติดผสมที่มีความทนทานน้ำมากที่สุดคือ สูตร P4G2 จากนั้นนำไปทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างชั้นสีกับวัสดุรองพื้นจากสูตรสารยึดติดผสมโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งกระบวนการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การทดสอบแบบจิตรกรรมสมัยใหม่และการทดสอบแบบจิตรกรรมไทย พบว่าการทดสอบแบบจิตรกรรมสมัยใหม่ สูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือ สูตร P2G4 และ P4S2 การทดสอบแบบจิตรกรรมไทย สูตรที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุด คือ สูตร P2G4 และ P3S3

เมื่อนำการทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุรองพื้นสำหรับงานสีฝุ่น พบว่าสูตร P2G4 มีความเหมาะสมและได้รับความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ทำตัวอย่างชิ้นงานให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง

2) ควรมีเครื่องมือช่วยในขั้นตอนการบด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่เล็กและใกล้เคียงกัน

3) พัฒนาผงสีฝุ่นสำเร็จรูปในลักษณะเดียวกันกับสูตรวัสดุรองพื้น เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] รัตนฤทธิ์ จันทรรังสี. 2551. “การพัฒนาการเตรียมพื้นผ้าใบสำหรับการสร้างสรรค์ผลงานศิลปะด้วยเทคนิคสีฝุ่น.” วิทยานิพนธ์ศิลปกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[2] บริษัท ริช เพาเดอร์ โคทติ้งส์ จำกัด. 2559. **สีฝุ่น คือ อะไร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.richpowder.com/14887173/สีฝุ่น-คือ-อะไร. เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558.

[3] Louisa N. 2016. **Tempera and Emulsion Recipes**. [Online]. Available : http://www.naturalpigments.com/art-supply-education/tempera-emulsion -recipe/. เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558.

[4] สอนสุพรรณ. 2550. **ภาพจิตรกรรมฝาผนัง ที่แสดงให้เห็นถึงความยิ่งใหญ่ของฝีมือช่างไทยสมัยอยุธยา**. [Online]. Available : http://www.oknation.net/blog/ phaen/2007/07/16/entry-1. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2558.

[5] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2554. **Tempera**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://th. wikipedia.org/wiki/สีฝุ่นเทมเพอรา. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2558.

[6] กระทรวงวัฒนธรรม. 2559. **การจัดการความรู้ เรื่อง การเตรียมพื้นเขียนภาพจิตรกรรมไม้บนพื้นไม้.** : ภาควิชาศิลปไทย วิทยาลัยช่างศิลปสุพรรณบุรี สถาบันบัณฑิตพัฒนศิลป์ กระทรวงวัฒนธรรม.

[7] รศ.สุเชษฐ์ สมิตินันทน์. 2553. **เอกสารประกอบการสอนวิชาจิตรกรรม. :** ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[8] WIKIPEDIA The Free Encopedia. 2016. **Pigment**. [Online]. Available : https:// en.wikipedia.org/wiki/Pigment. เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2558.

[9] วันชัย สุทธิทศธรรม. 2559. **อันตรายจากสีทาอาคารบ้านเรือน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=70. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2559.

[10] สยามเคมี. 2559. **ดินสอพอง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.siamchemi.com/ดินสอพอง. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2558.

[11] P’Hand Eduzones. 2552. **ดินสอพองทำมาจากอะไร.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://learning.eduzones.com/rangsit/21752. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2558.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] ASTV ผู้จัดการออนไลน์. 2557. **ฉายรังสีดินสอพองให้ปลอดเชื้อหนึ่งจุดขายเพิ่มรายได้ผู้ประกอบการ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.manager.co.th/iBizchannel/ViewNews.aspx?NewsID=9570000039055. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2558.

[13] ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ. 2553. **เอกสารการสอนวิชา ไบโอพอลิเมอร์.** : สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[14] ดุษฎี อุตภาพ. 2558. **Carbohydrate Technology.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/subject.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2558.

[15] เคมีภัณฑ์. 2558. **Gum Arabic (กัมอาระบิค).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.chemipan.com/home/index.php/635-สินค้า/640-เคมีอาหาร/695-สารเติมแต่งอาหาร/9015/9015-gum-arabic-กัม-อารบิก-เคมีภัณฑ์-สารเคมี.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2558.

[16] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 4 : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[17] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2558. **ประโยชน์มันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tapiocathai.org./Brochure/a_5.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2558.

[18] วิราสิณี จันทร์เป็ง และ นพพล เล็กสวัสดิ์. 2559. **อะไมเลส (Amylase).** : สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[19] Young, L.S. 1996. **DC Chemical Company.** [Online]. Available : http://www.dcchem.co.kr/PVA. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2558.

[20] Thai polychemicals company. 2558. **Polyvinyl alcohol.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/polyvinyl-alcohol.html. เข้าถึงได้จาก 26 พฤศจิกายน 2558.

[21] Apar, D.K. and Özbek, B. 2005. "a-Amylase inactivation during rice starch hydrolysis." Process Biochemistry. 40 (2005) : 1367–1379.

[22] Khatoon, S. Sreerama, Y.N. Raghavendra, D. Bhattacharya, S. and Bhat, K.K. 2009. "Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches." Food Research International. 42 (2009) : 1426–1433.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] Auarra, A. Hashim, R. Bauk, S. Kandaiya, S. and Tousi, E.T. "Fabrication and characterization of gum Arabic bonded Rhizophora spp. Particleboards." Materials and Design. 60 (2014) : 108–115.

[24] Azahari, N.A. Othman, N. and Ismail, H. "Biodegradation Studies of Polyvinyl Alcohol/Corn Starch Blend Films in Solid and Solution Media." Physical Science. 22 (2011) : 15-31.

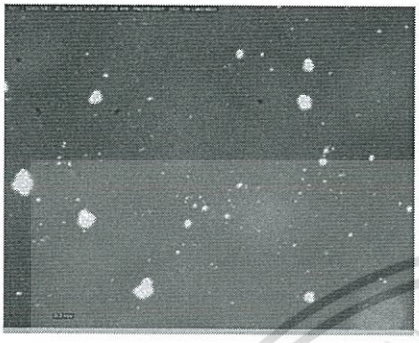
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

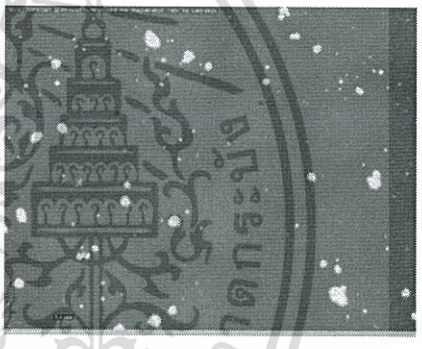
ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้น



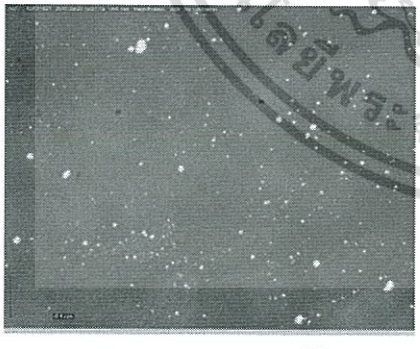
ขนาดอนุภาคสูตร P3

ขนาดอนุภาคสูตร P4

ขนาดอนุภาคสูตร P5



ขนาดอนุภาคสูตร P6

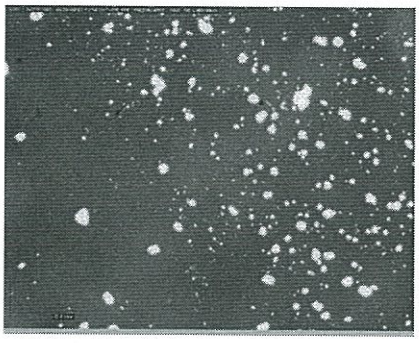


ขนาดอนุภาคสูตร P7

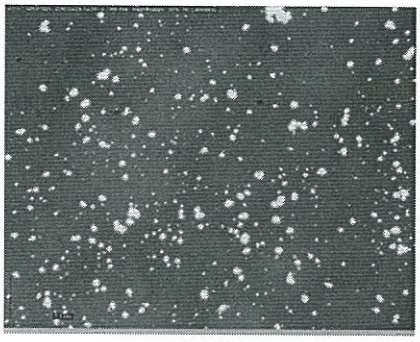
ขนาดอนุภาคสูตร P8

รูปที่ ก-1 ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร P3-P8

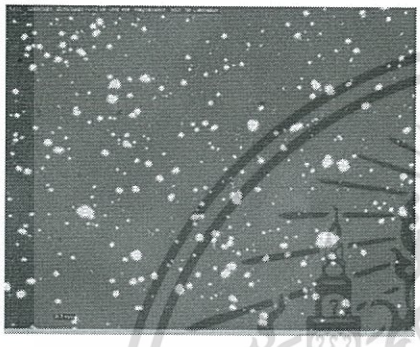
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



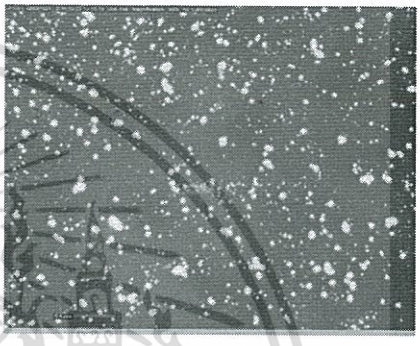
ขนาดอนุภาคสูตร P9



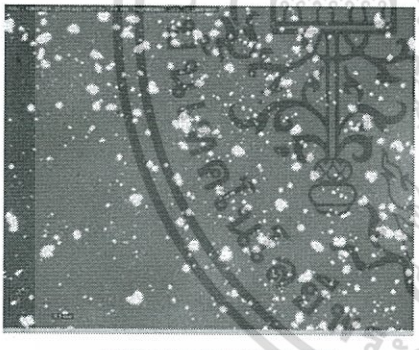
ขนาดอนุภาคสูตร P10



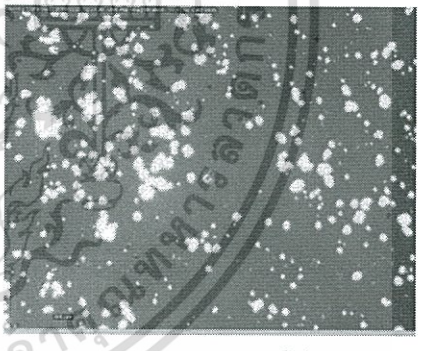
ขนาดอนุภาคสูตร G3



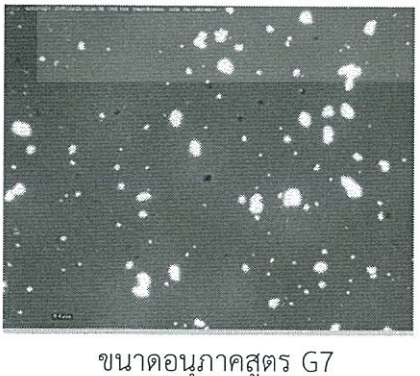
ขนาดอนุภาคสูตร G4



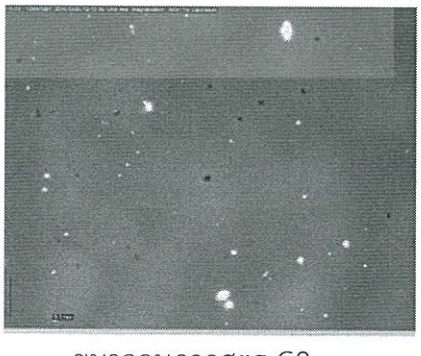
ขนาดอนุภาคสูตร G5



ขนาดอนุภาคสูตร G6



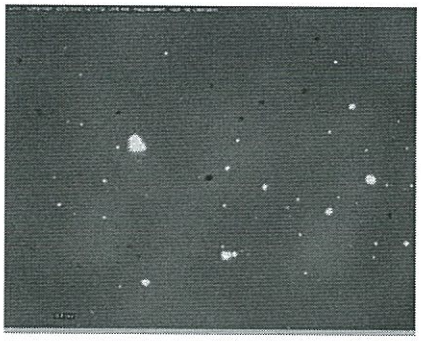
ขนาดอนุภาคสูตร G7



ขนาดอนุภาคสูตร G8

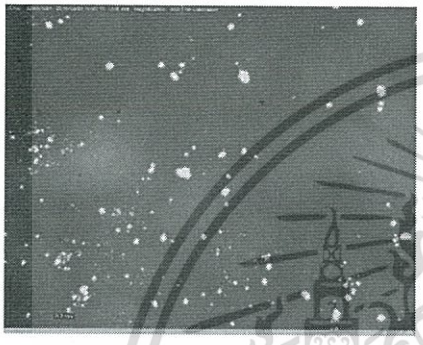
รูปที่ ก-2 ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร P9-P10 และ G3-G8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขนาดอนุภาคสูตร G9

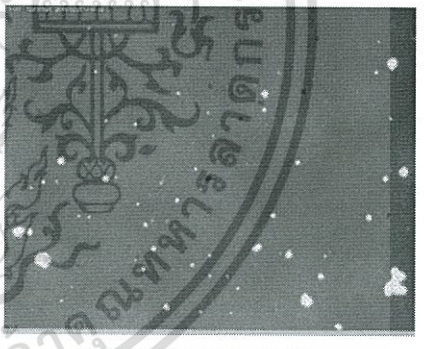
ขนาดอนุภาคสูตร G10



ขนาดอนุภาคสูตร S3

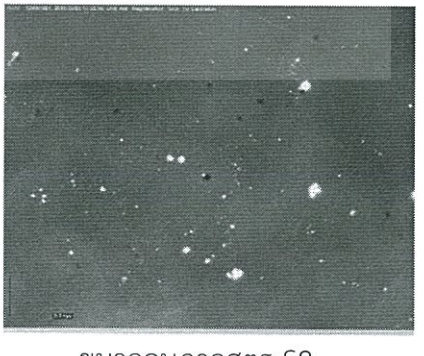
ขนาดอนุภาคสูตร S4

ขนาดอนุภาคสูตร S5



ขนาดอนุภาคสูตร S6

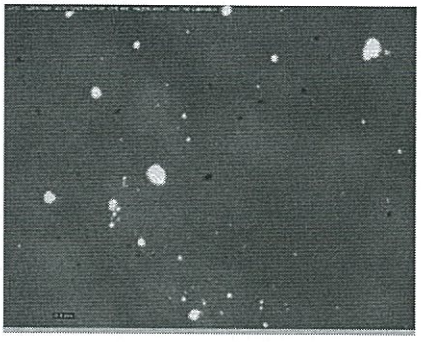
ขนาดอนุภาคสูตร S7



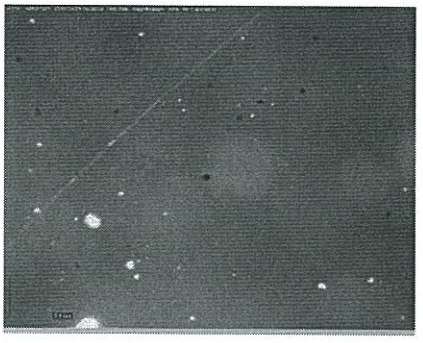
ขนาดอนุภาคสูตร S8

รูปที่ ก-3 ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร G9-G10 และ S3-S8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

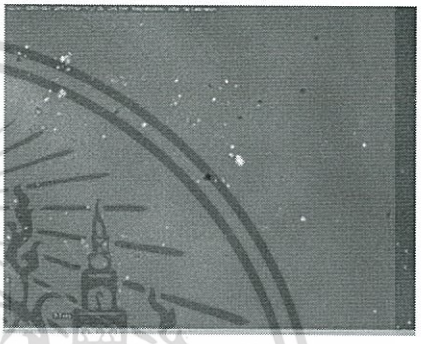


ขนาดอนุภาคสูตร S9

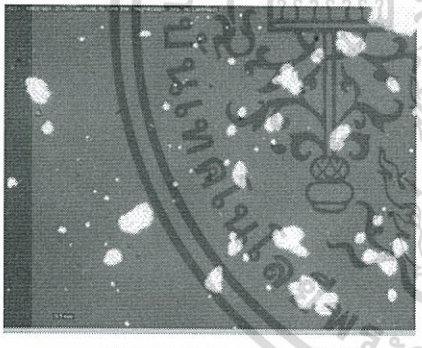


ขนาดอนุภาคสูตร S10

ขนาดอนุภาคสูตร P2G4

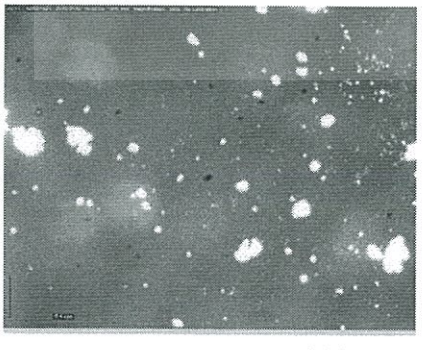


ขนาดอนุภาคสูตร P3G3

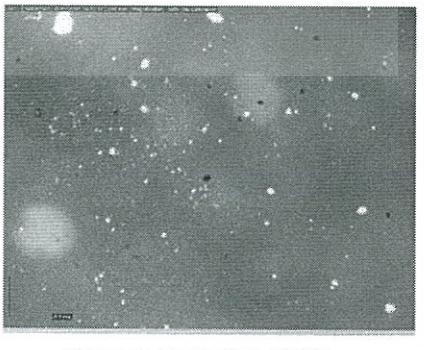


ขนาดอนุภาคสูตร P4G2

ขนาดอนุภาคสูตร P2S4



ขนาดอนุภาคสูตร P3S3



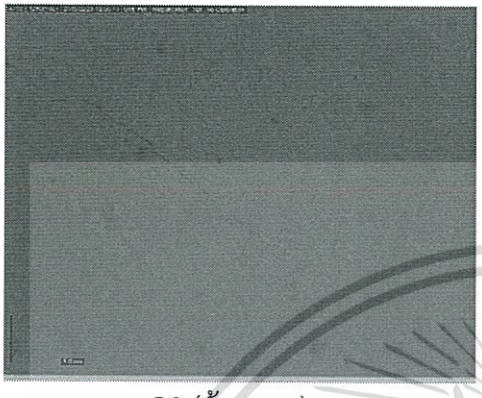
ขนาดอนุภาคสูตร P4S2

รูปที่ ก-4 ภาพแสดงขนาดอนุภาคของสูตรวัสดุรองพื้นสูตร S9-S10 และ P2G4-P4S2

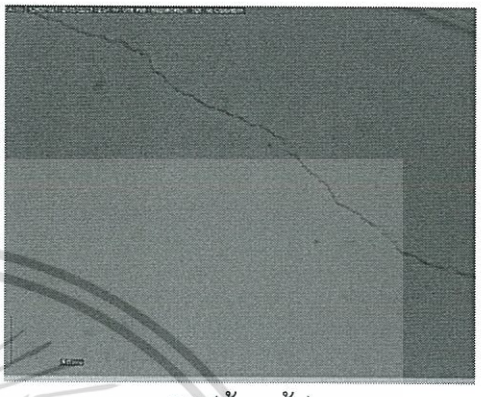
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนา

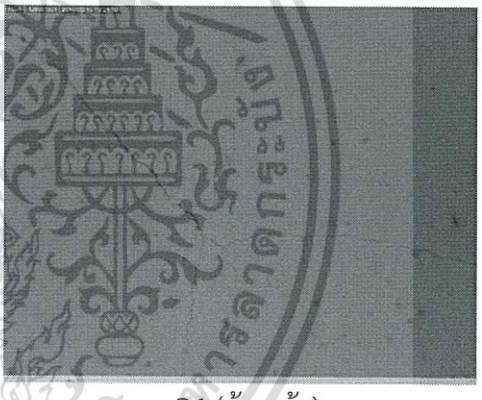


P3 (ม้วนออก)

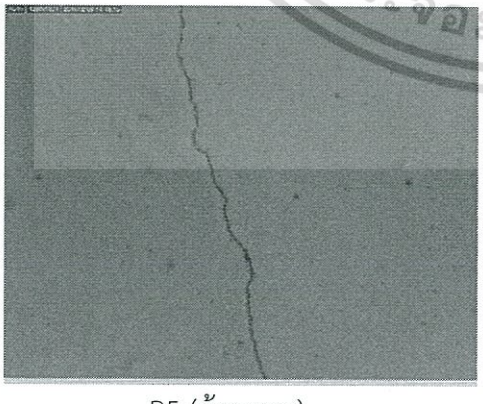


P3 (ม้วนเข้า)

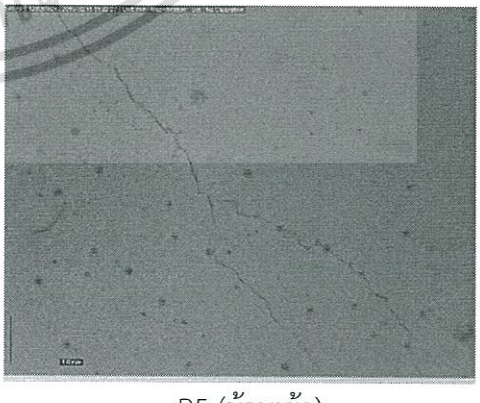
P4 (ม้วนออก)



P4 (ม้วนเข้า)



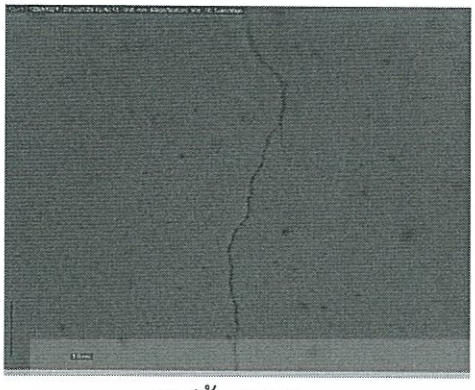
P5 (ม้วนออก)



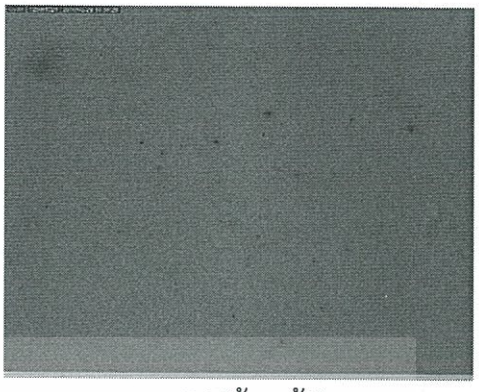
P5 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-1 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P3-P5

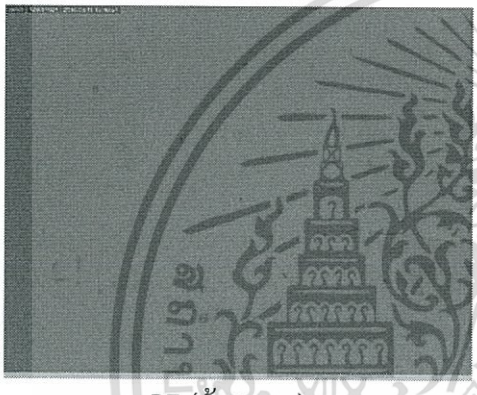
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



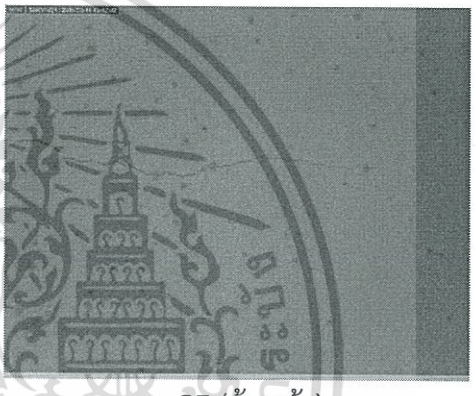
P6 (ม้วนออก)



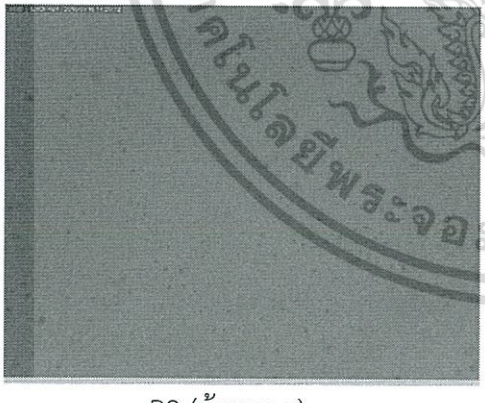
P6 (ม้วนเข้า)



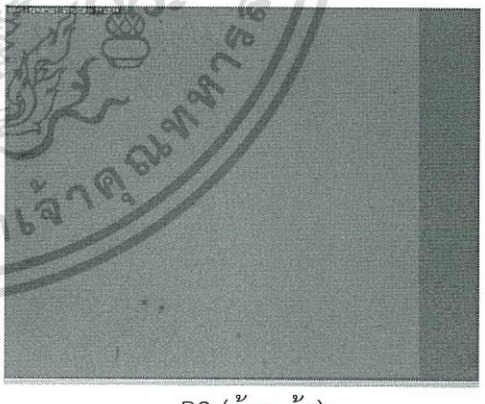
P7 (ม้วนออก)



P7 (ม้วนเข้า)



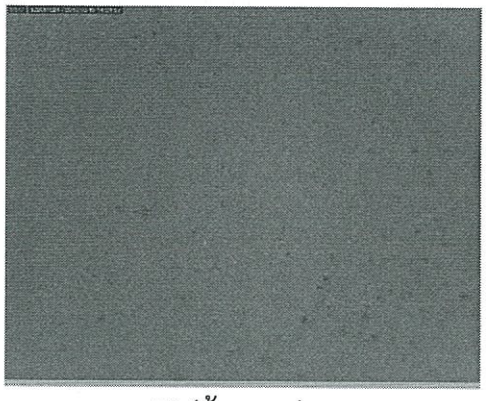
P8 (ม้วนออก)



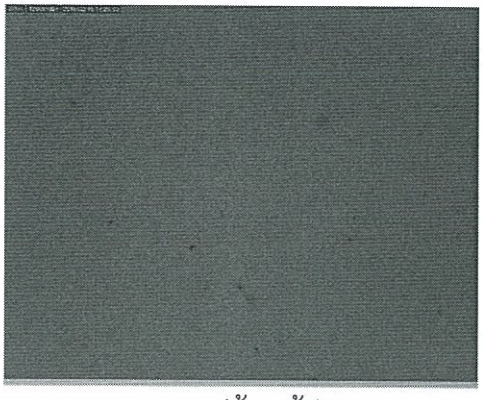
P8 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-2 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P6-P8

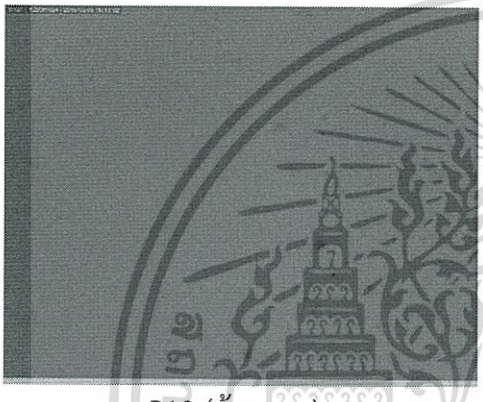
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



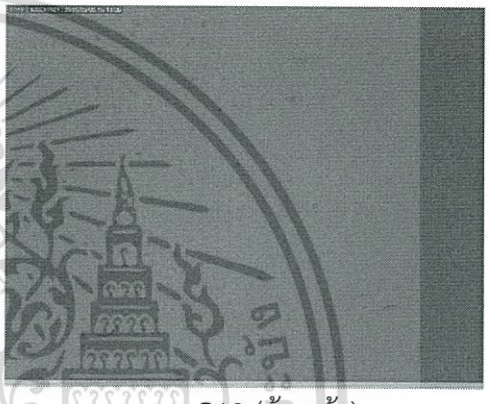
P9 (ม้วนออก)



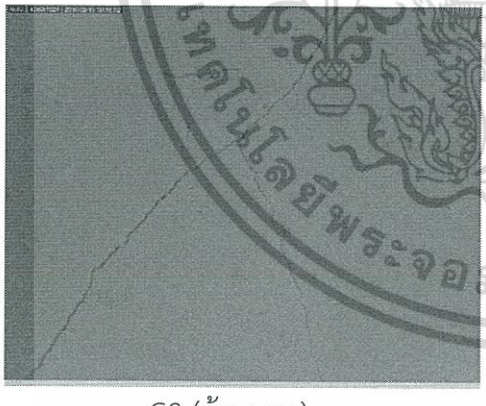
P9 (ม้วนเข้า)



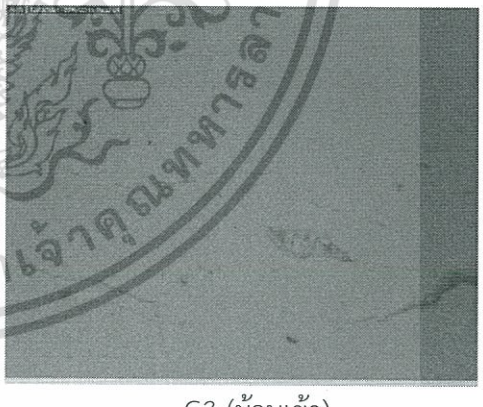
P10 (ม้วนออก)



P10 (ม้วนเข้า)



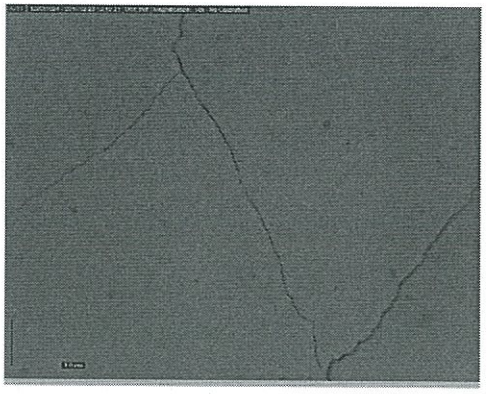
G3 (ม้วนออก)



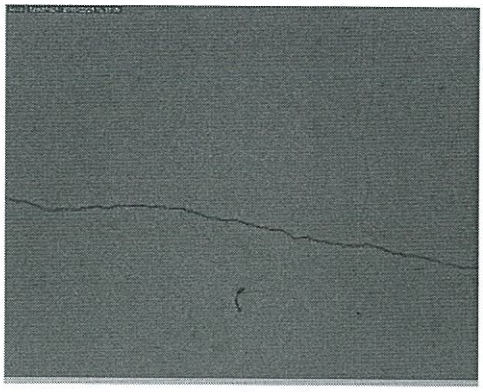
G3 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-3 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร P9-P10 และ G3

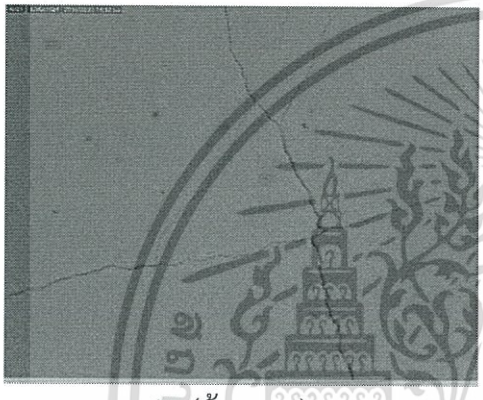
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



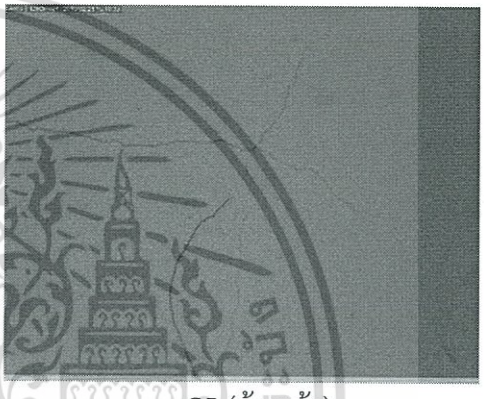
G4 (ม้วนออก)



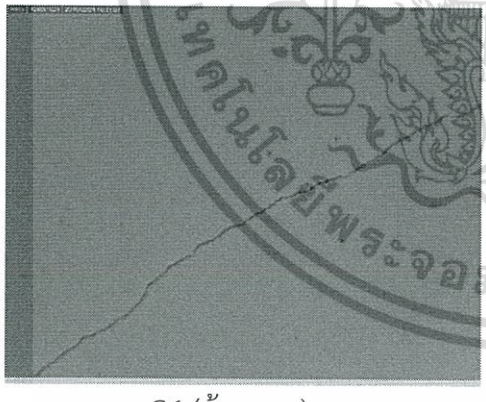
G4 (ม้วนเข้า)



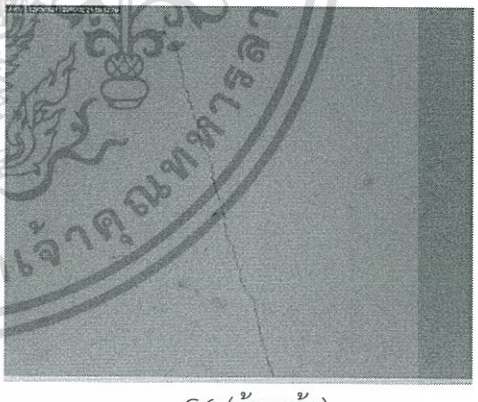
G5 (ม้วนออก)



G5 (ม้วนเข้า)



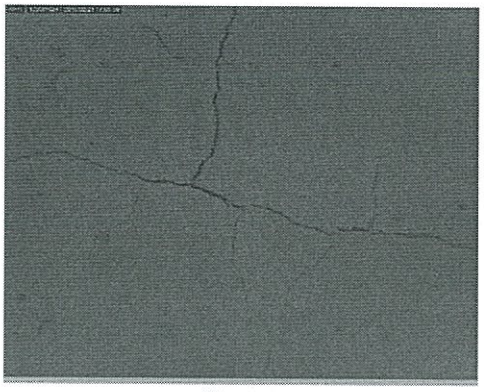
G6 (ม้วนออก)



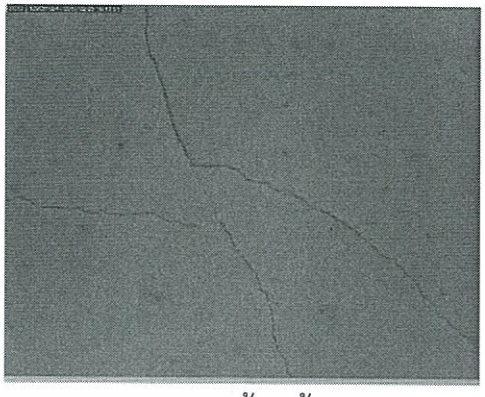
G6 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-4 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G4-G6

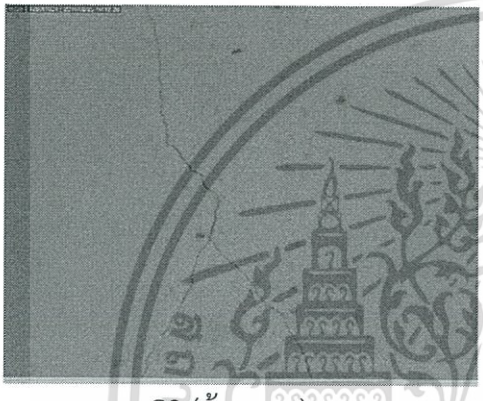
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



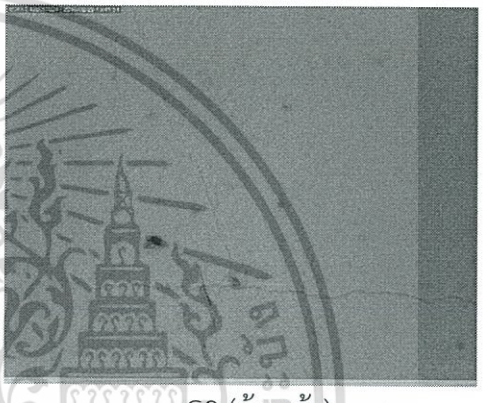
G7 (ม้วนออก)



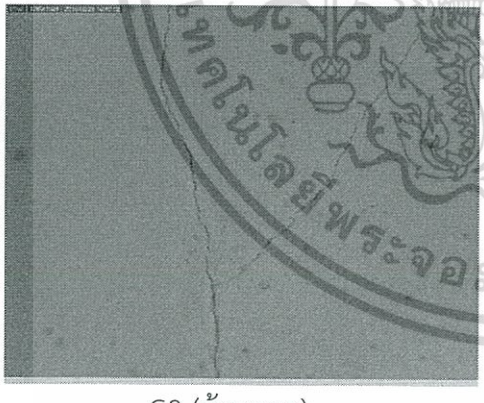
G7 (ม้วนเข้า)



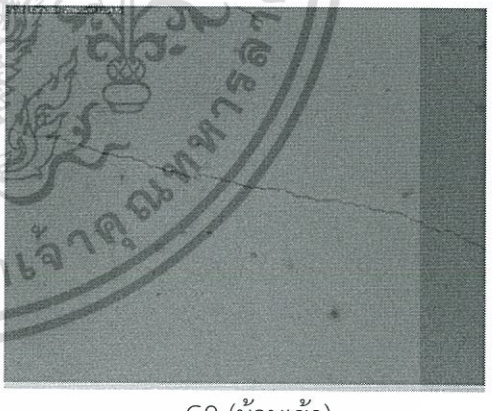
G8 (ม้วนออก)



G8 (ม้วนเข้า)



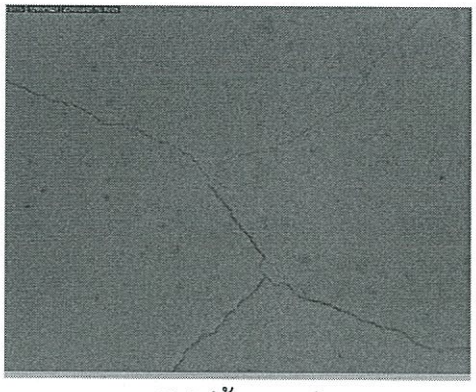
G9 (ม้วนออก)



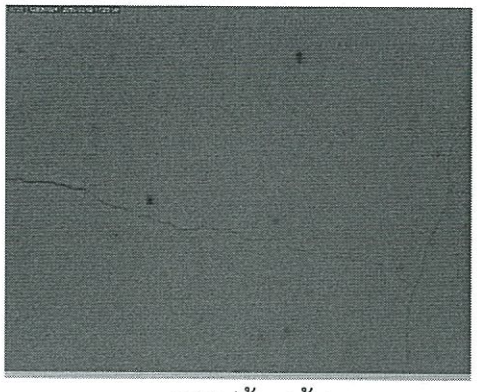
G9 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-5 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G7-G9

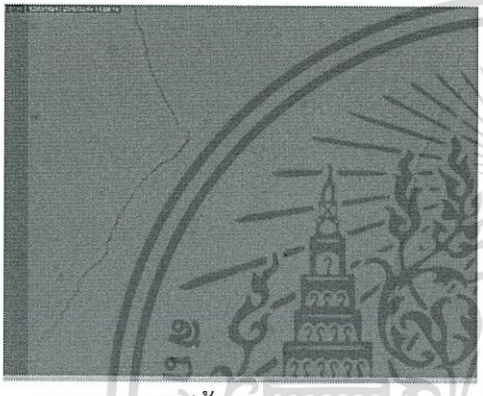
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



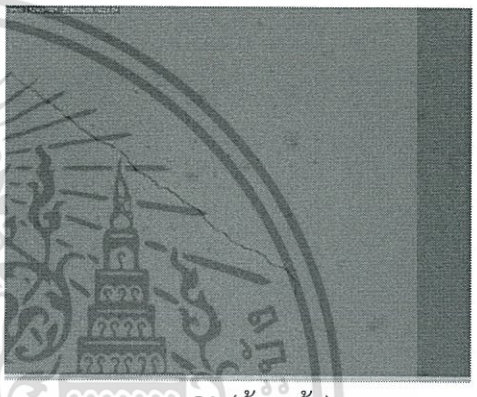
G10 (ม้วนออก)



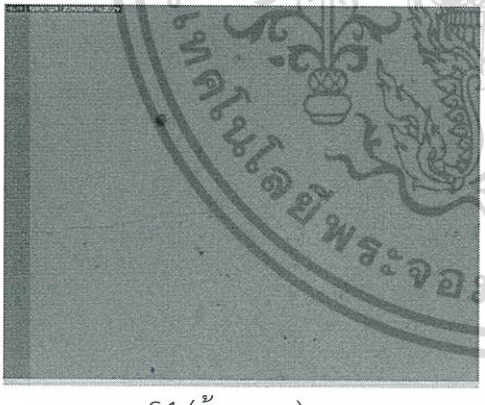
G10 (ม้วนเข้า)



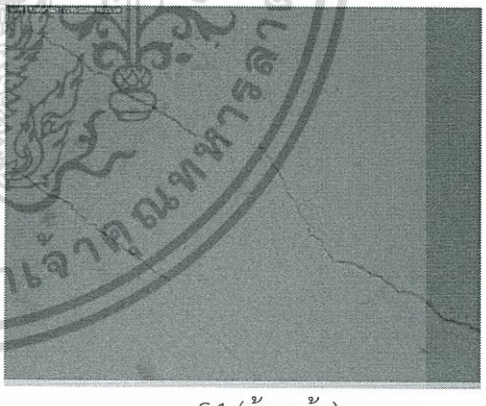
S3 (ม้วนออก)



S3 (ม้วนเข้า)



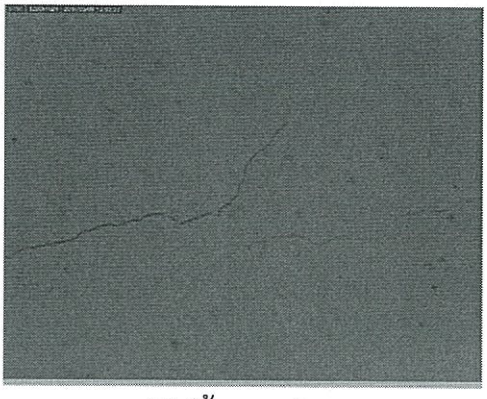
S4 (ม้วนออก)



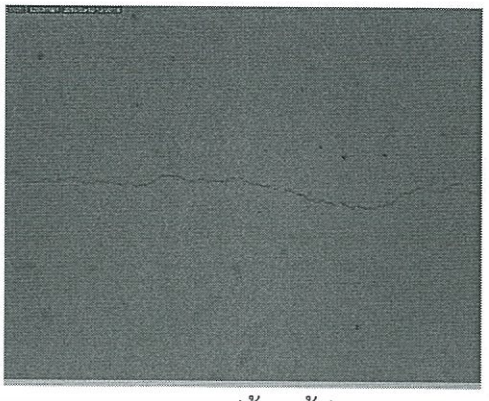
S4 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-6 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร G10 และ S3-S4

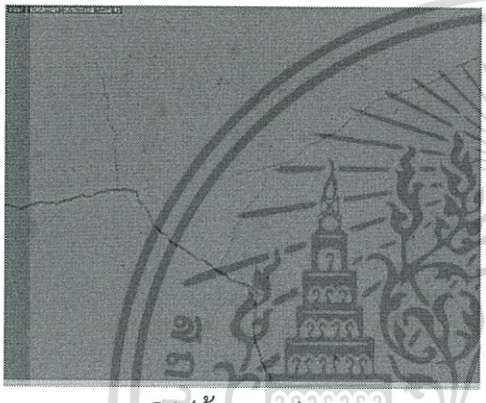
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



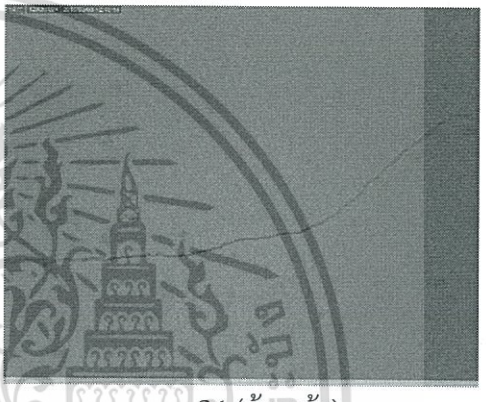
S5 (ม้วนออก)



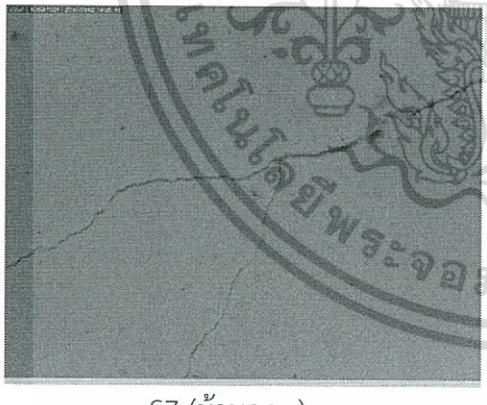
S5 (ม้วนเข้า)



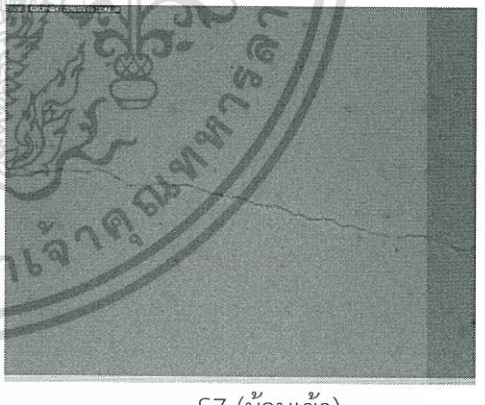
S6 (ม้วนออก)



S6 (ม้วนเข้า)



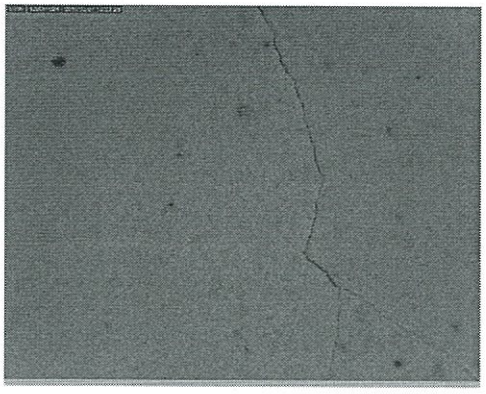
S7 (ม้วนออก)



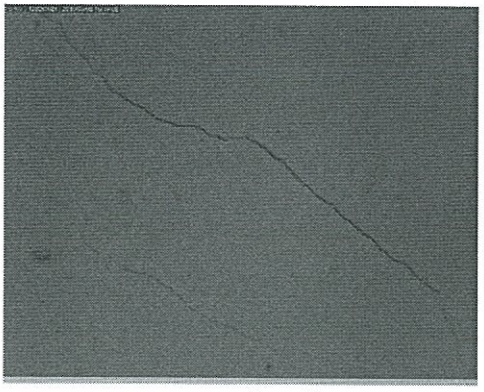
S7 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-7 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบหนาสูตร S5-S7

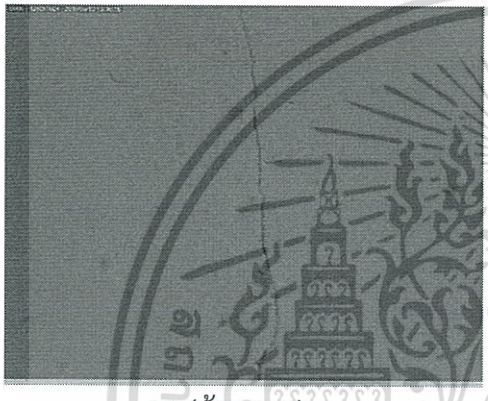
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



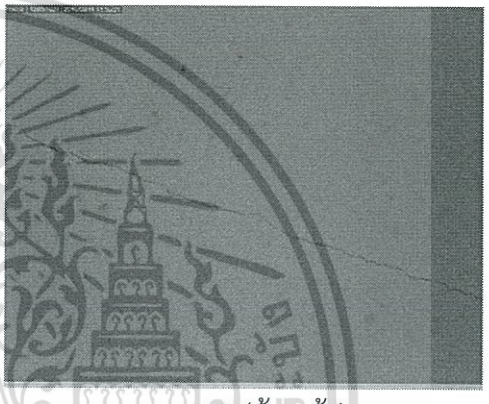
S8 (ม้วนออก)



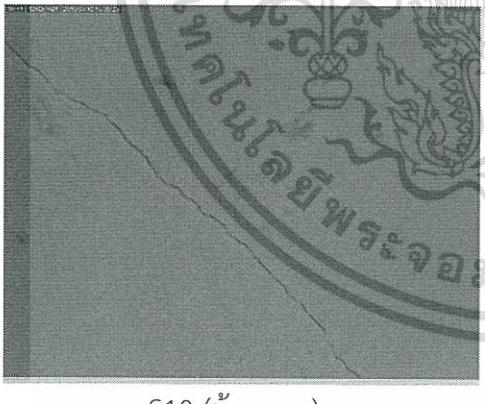
S8 (ม้วนเข้า)



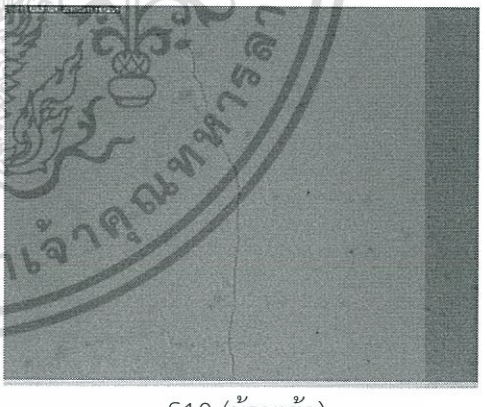
S9 (ม้วนออก)



S9 (ม้วนเข้า)



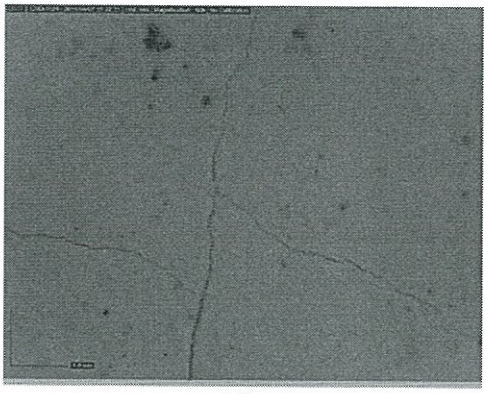
S10 (ม้วนออก)



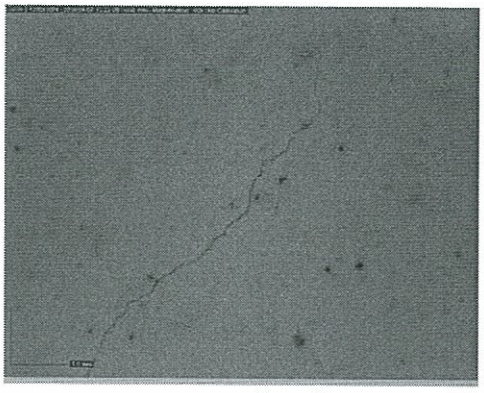
S10 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-8 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร S8-S10

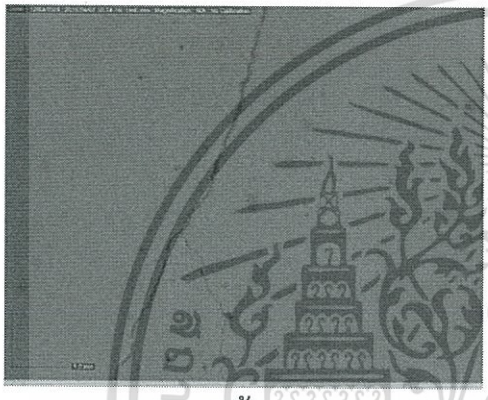
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



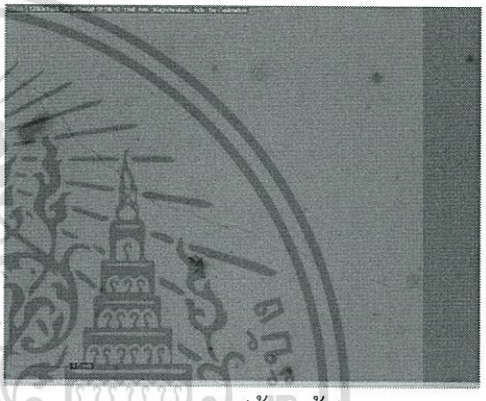
P2G4 (ม้วนออก)



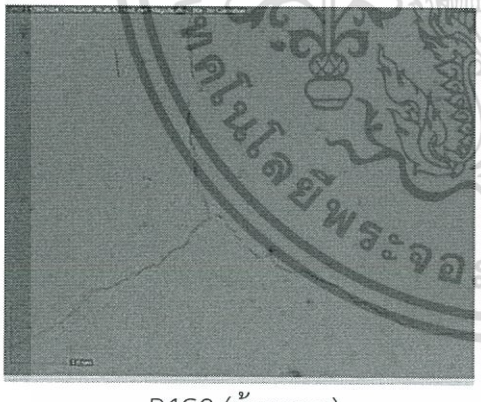
P2G4 (ม้วนเข้า)



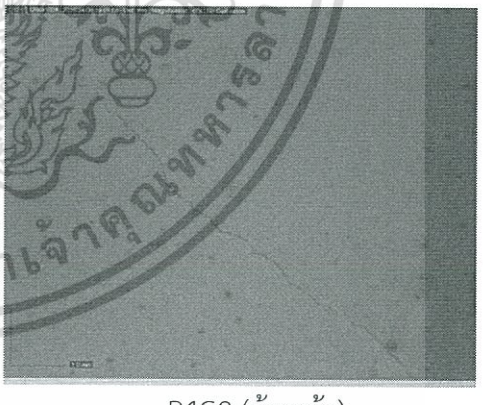
P3G3 (ม้วนออก)



P3G3 (ม้วนเข้า)



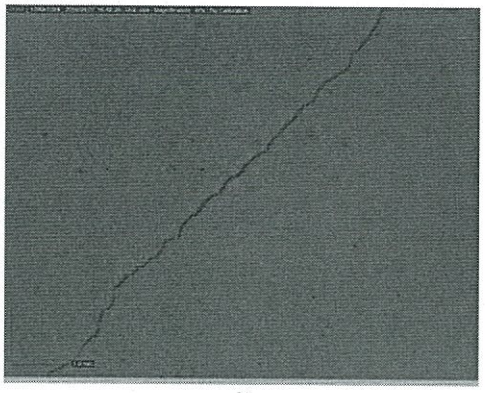
P4G2 (ม้วนออก)



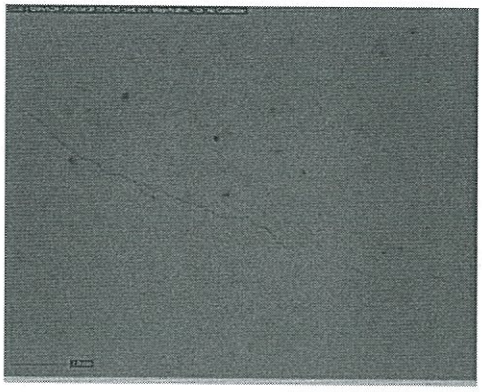
P4G2 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-9 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร P2G4, P3G3 และ P4G2

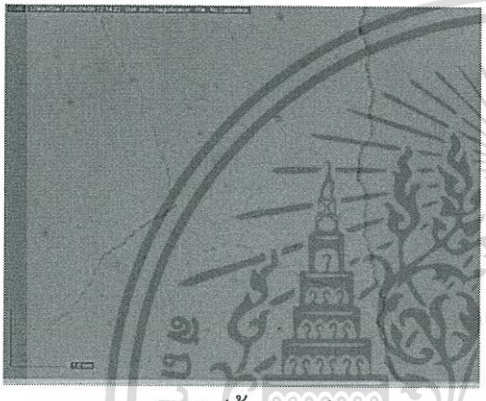
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



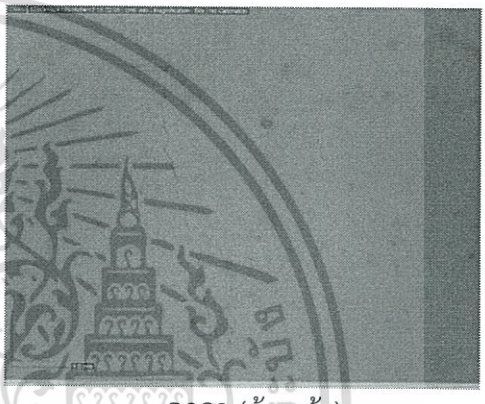
P2S4 (ม้วนออก)



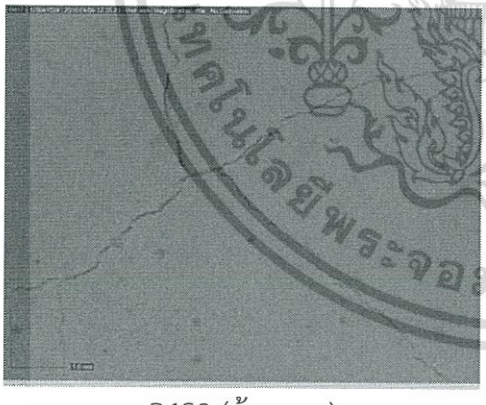
P2S4 (ม้วนเข้า)



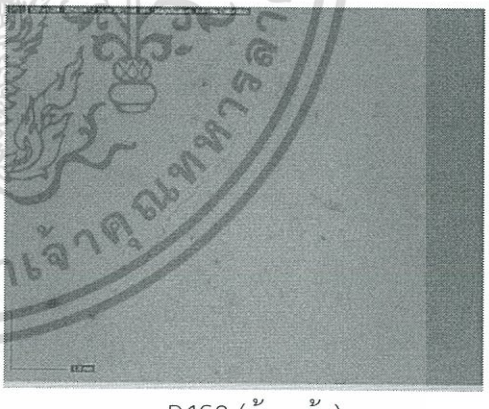
P3S3 (ม้วนออก)



P3S3 (ม้วนเข้า)



P4S2 (ม้วนออก)



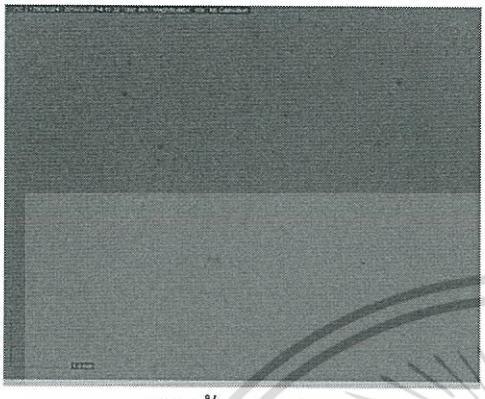
P4S2 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ข-10 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบหนาสูตร P2S4, P3S3 และ P4S2

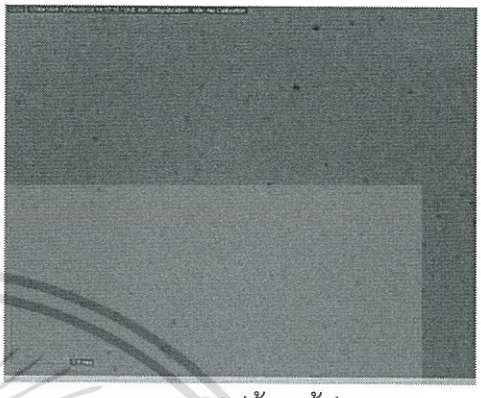
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นแบบบาง

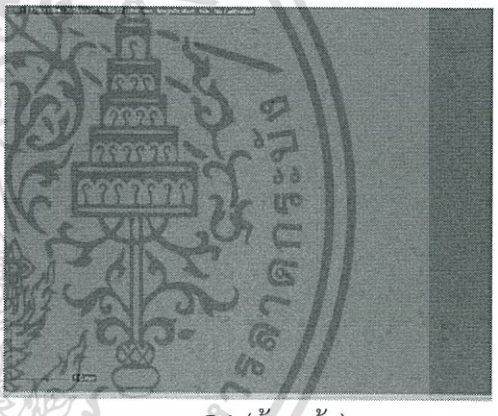


P3 (ม้วนออก)

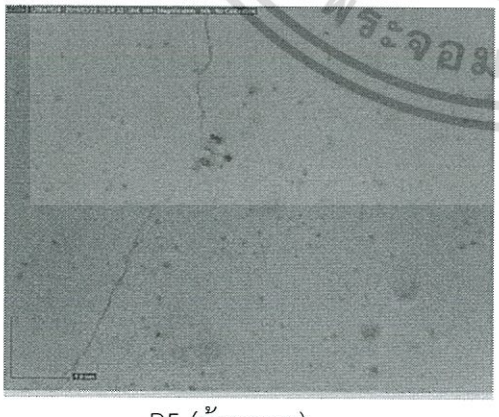


P3 (ม้วนเข้า)

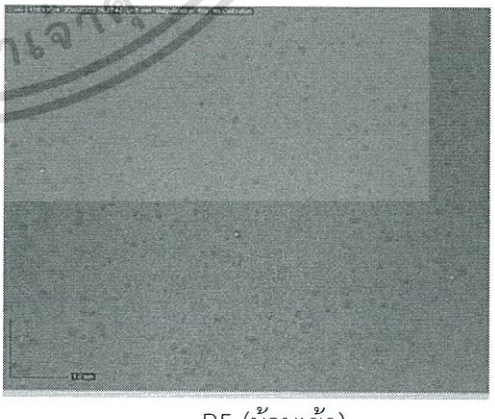
P4 (ม้วนออก)



P4 (ม้วนเข้า)



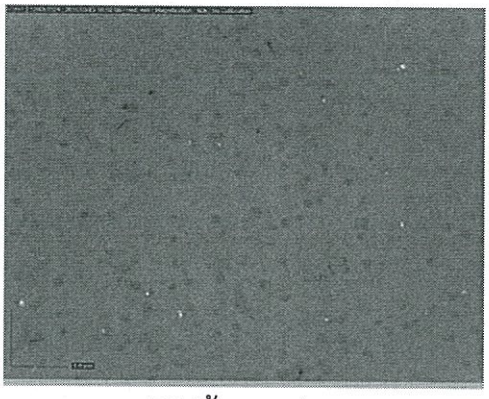
P5 (ม้วนออก)



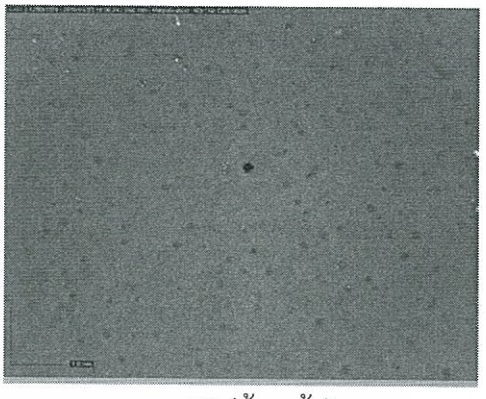
P5 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-1 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P3-P5

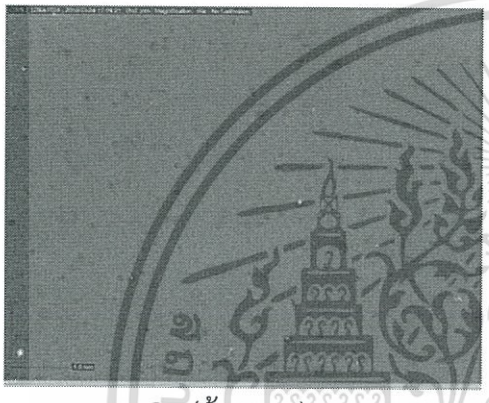
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



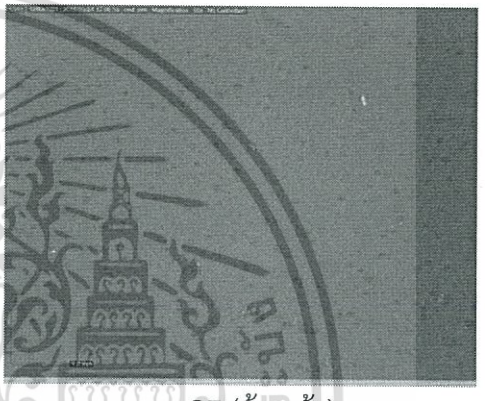
P6 (ม้วนออก)



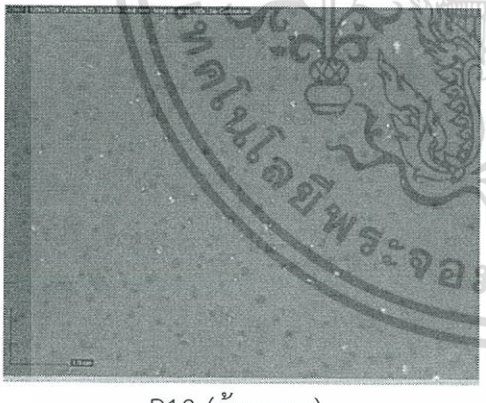
P6 (ม้วนเข้า)



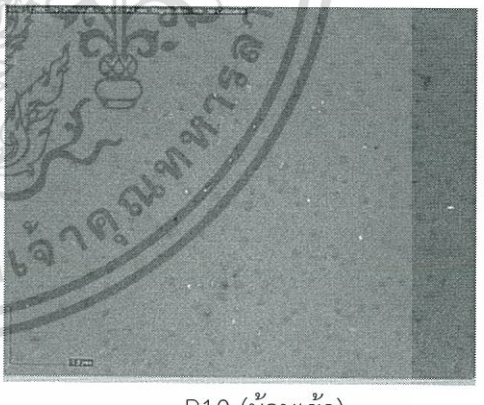
P7 (ม้วนออก)



P7 (ม้วนเข้า)



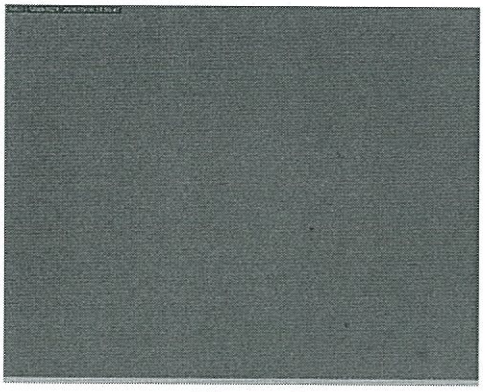
P10 (ม้วนออก)



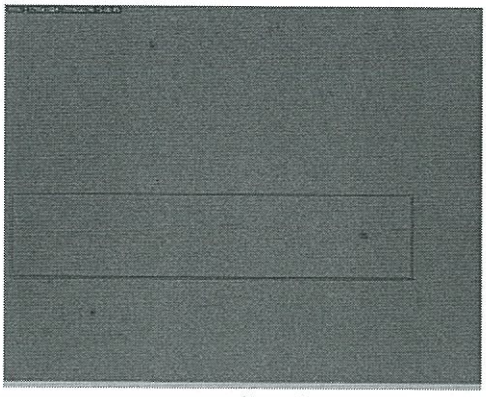
P10 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-2 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P6-P7 และ P10

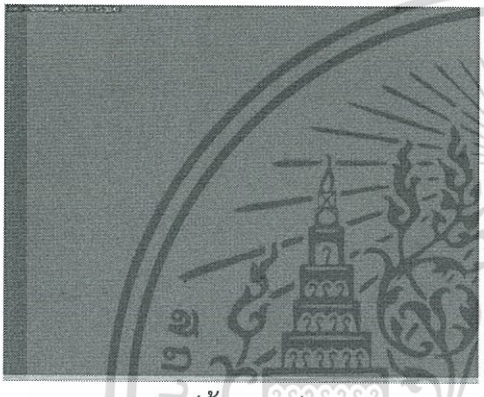
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



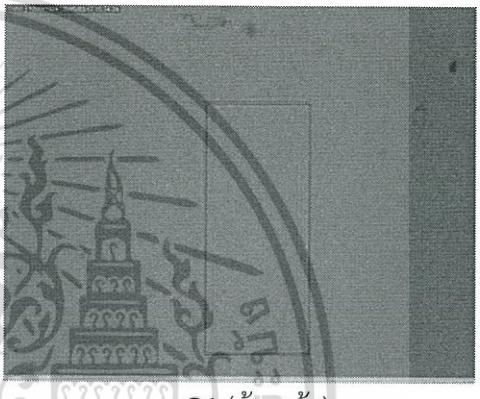
G3 (ม้วนออก)



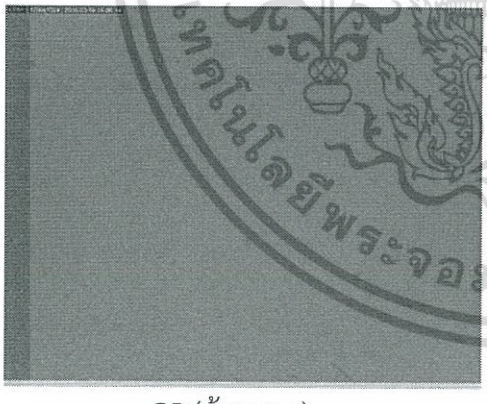
G3 (ม้วนเข้า)



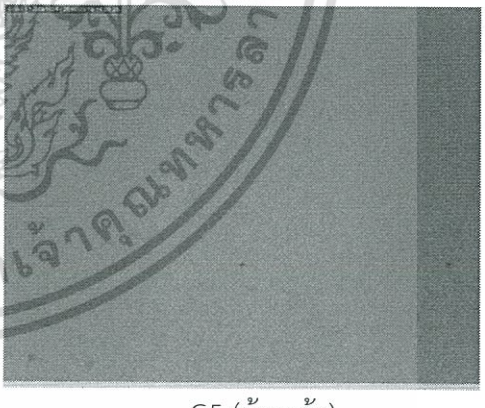
G4 (ม้วนออก)



G4 (ม้วนเข้า)



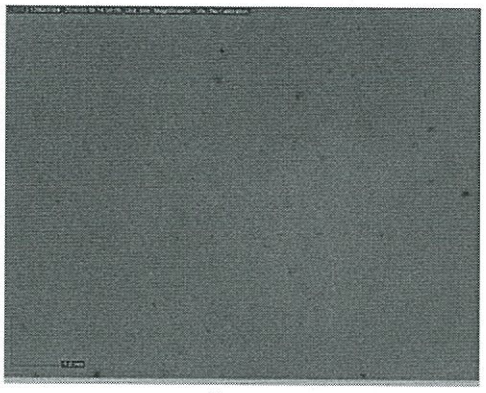
G5 (ม้วนออก)



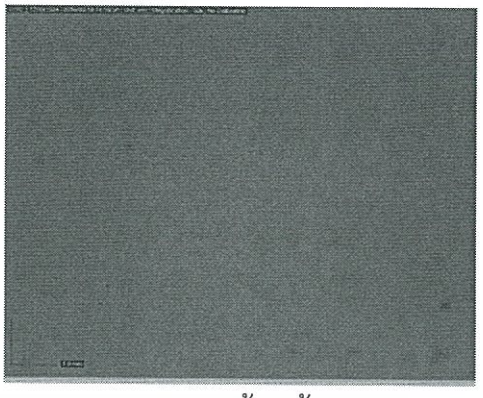
G5 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-3 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G3-G5

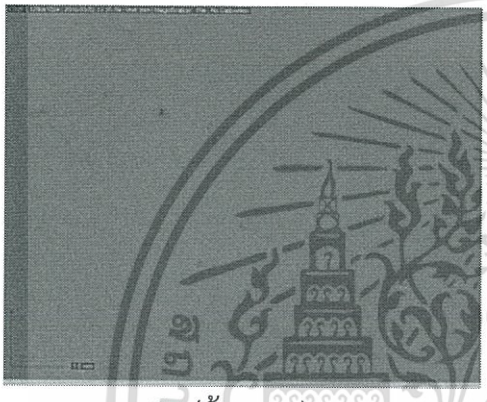
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



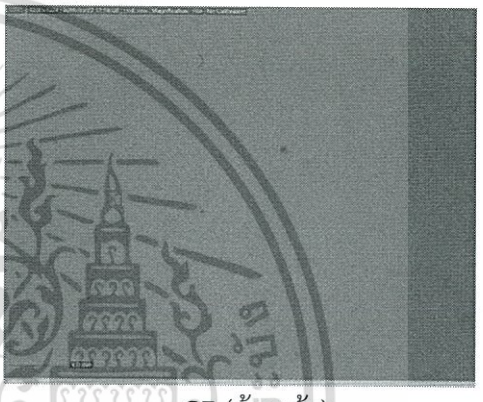
G6 (ม้วนออก)



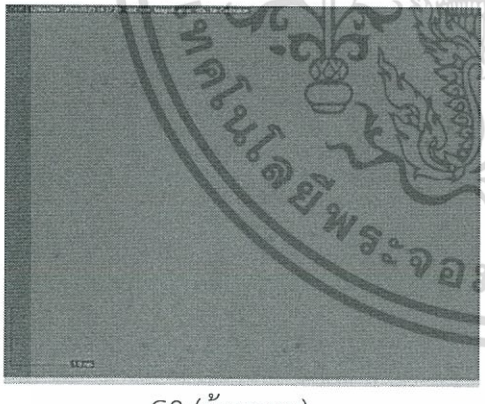
G6 (ม้วนเข้า)



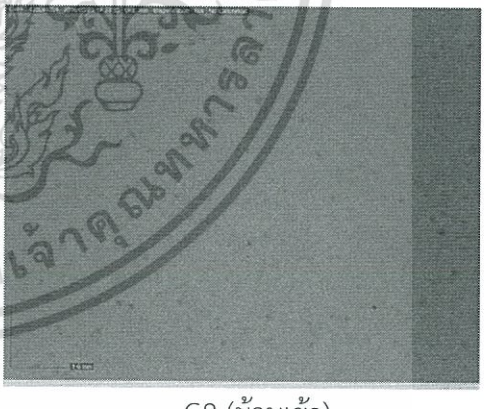
G7 (ม้วนออก)



G7 (ม้วนเข้า)



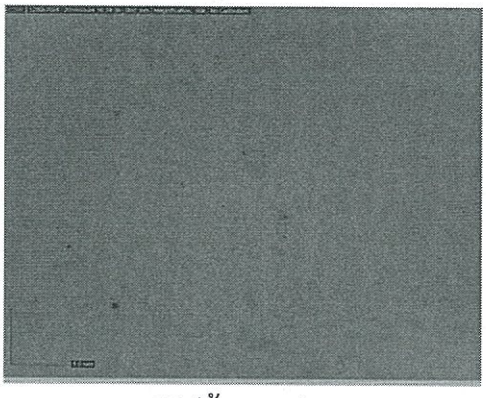
G8 (ม้วนออก)



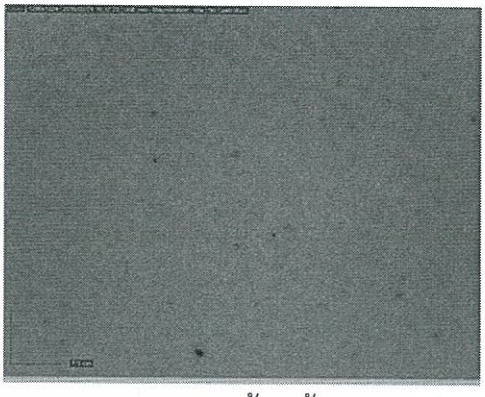
G8 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-4 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G6-G8

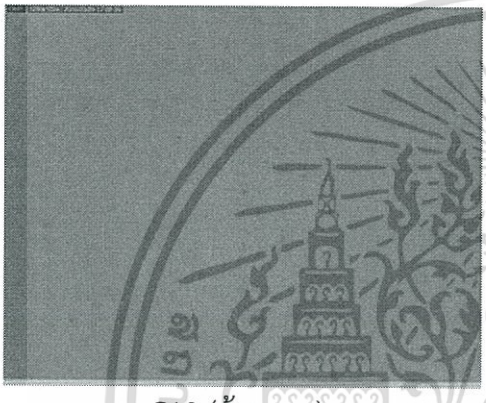
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



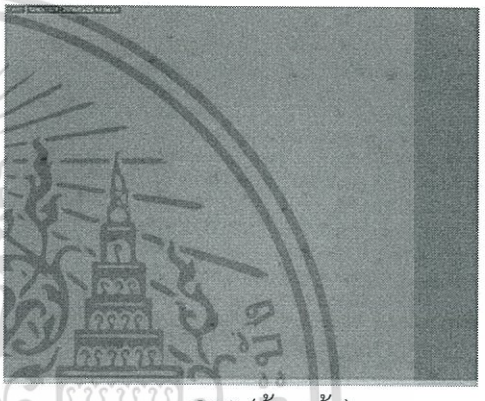
G9 (ม้วนออก)



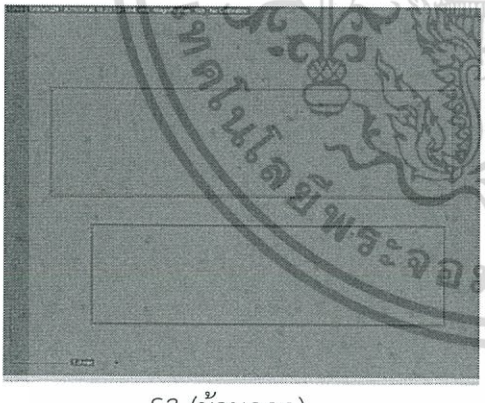
G9 (ม้วนเข้า)



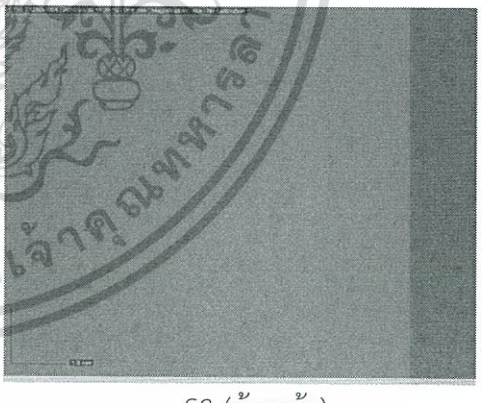
G10 (ม้วนออก)



G10 (ม้วนเข้า)



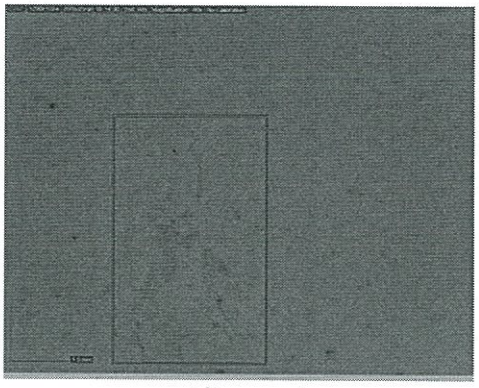
S3 (ม้วนออก)



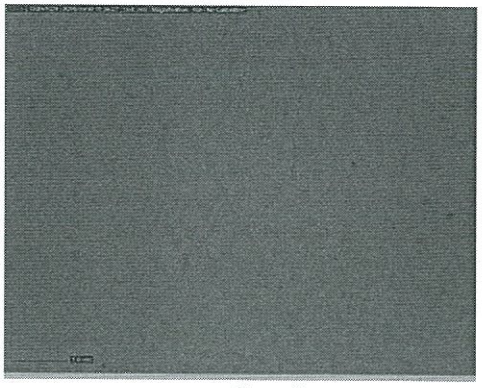
S3 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-5 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร G9-G10 และ S3

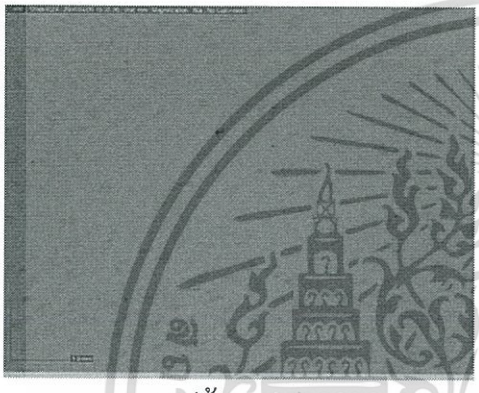
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



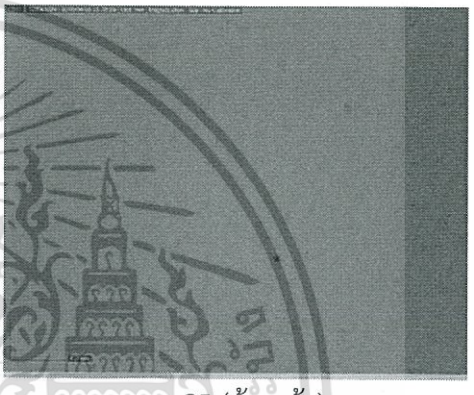
S4 (ม้วนออก)



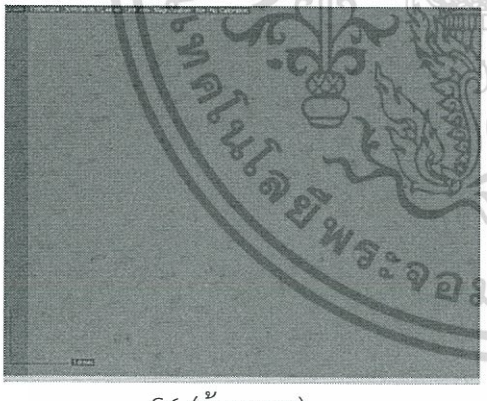
S4 (ม้วนเข้า)



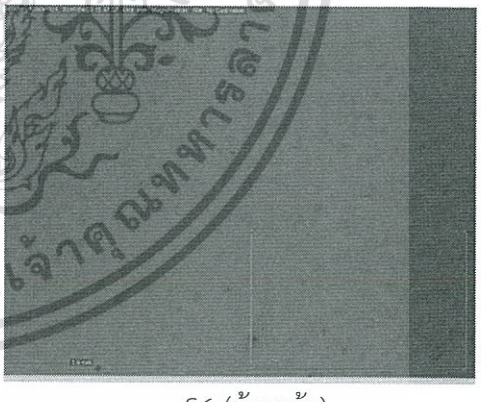
S5 (ม้วนออก)



S5 (ม้วนเข้า)



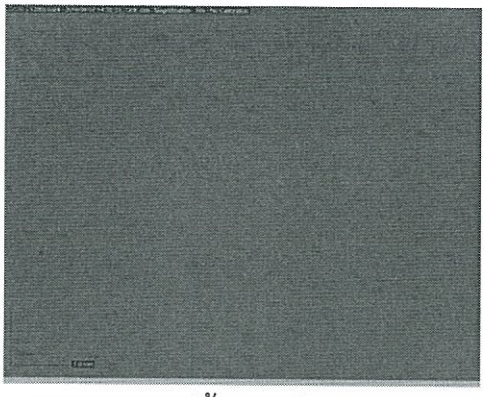
S6 (ม้วนออก)



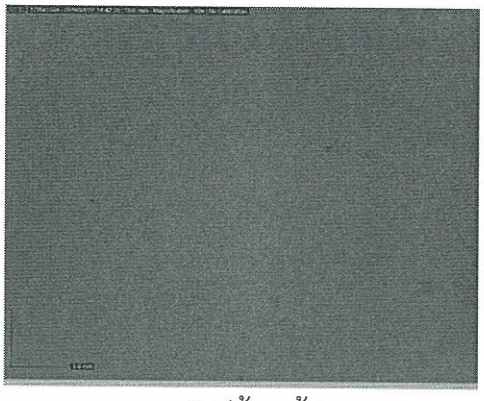
S6 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-6 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S4-S6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



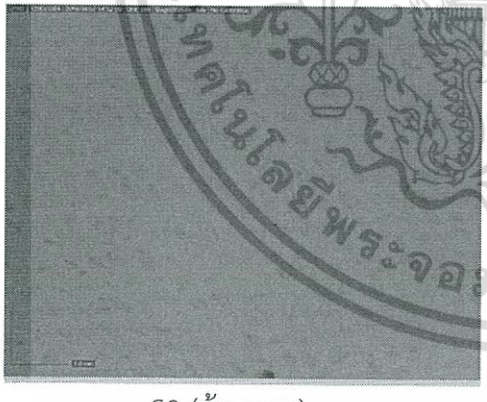
S7 (ม้วนออก)



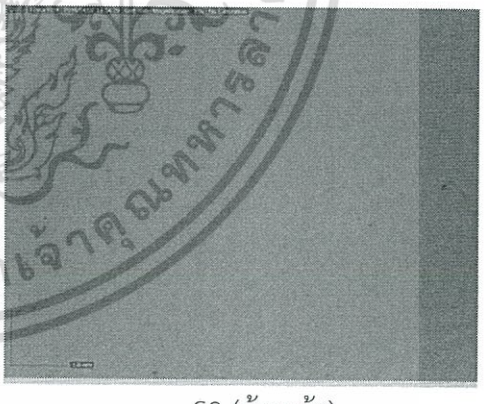
S7 (ม้วนเข้า)

S8 (ม้วนออก)

S8 (ม้วนเข้า)



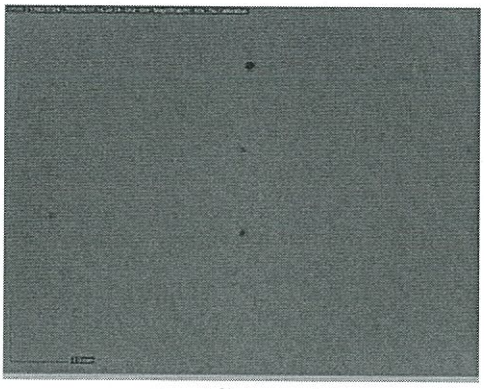
S9 (ม้วนออก)



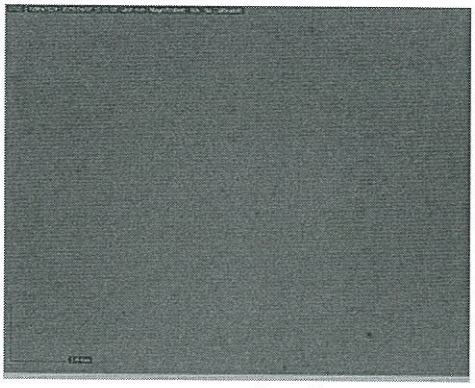
S9 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-7 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S7-S9

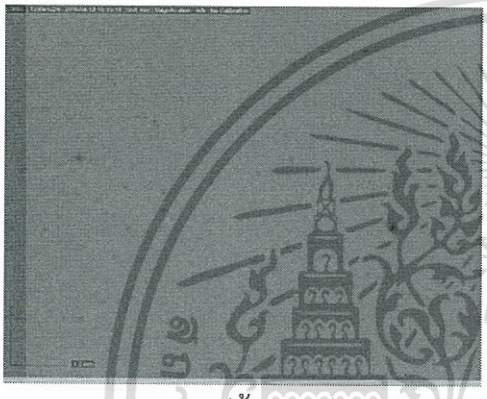
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



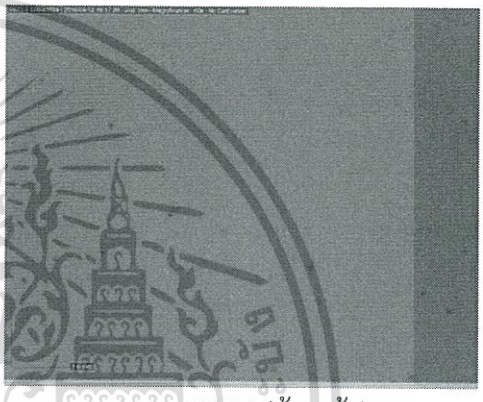
S10 (ม้วนออก)



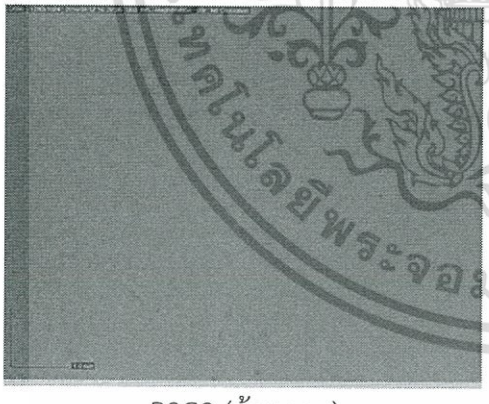
S10 (ม้วนเข้า)



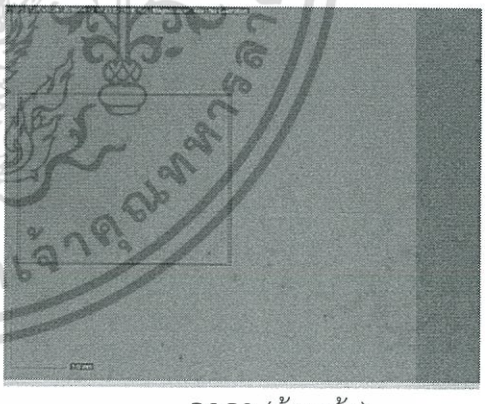
P2G4 (ม้วนออก)



P2G4 (ม้วนเข้า)



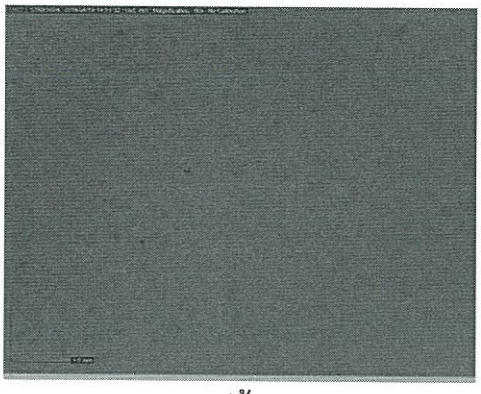
P3G3 (ม้วนออก)



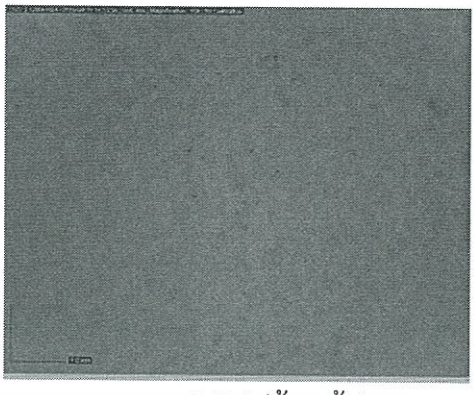
P3G3 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-8 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร S10, P2G4 และ P3G3

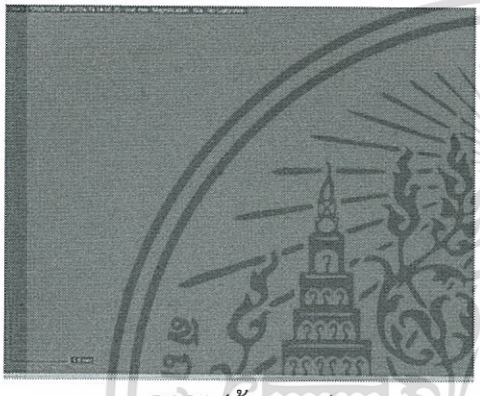
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



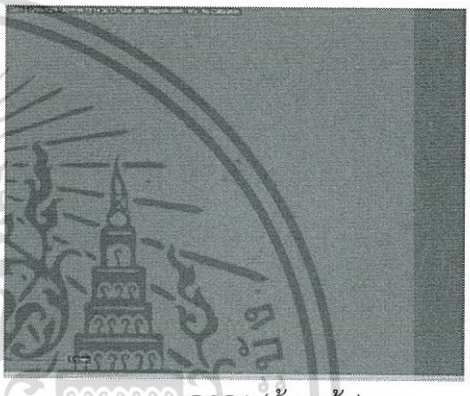
P4G2 (ม้วนออก)



P4G2 (ม้วนเข้า)

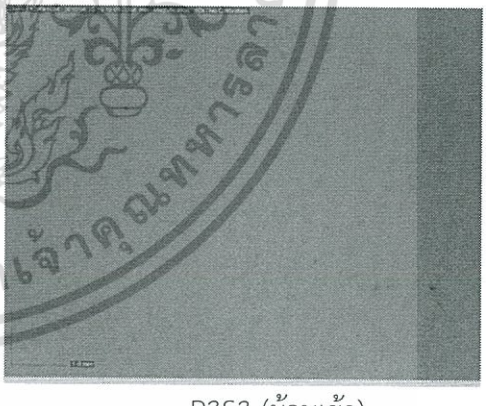


P2S4 (ม้วนออก)



P2S4 (ม้วนเข้า)

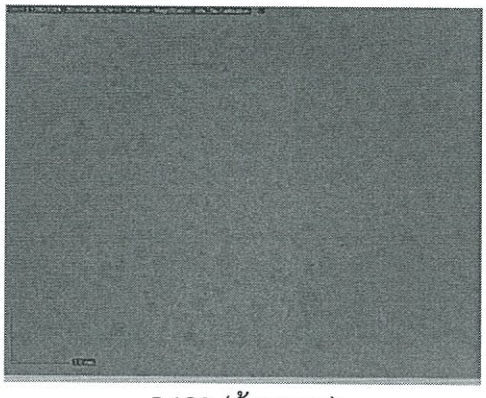
P3S3 (ม้วนออก)



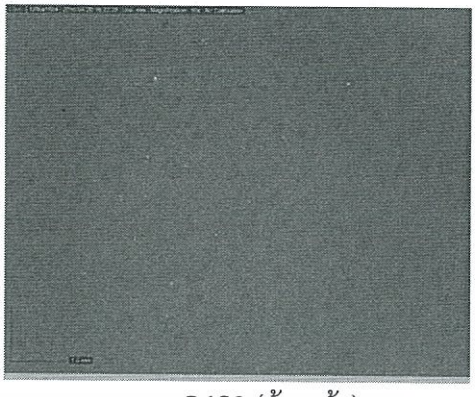
P3S3 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-9 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P4G2, P2S4 และ P3S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



P4S2 (ม้วนออก)



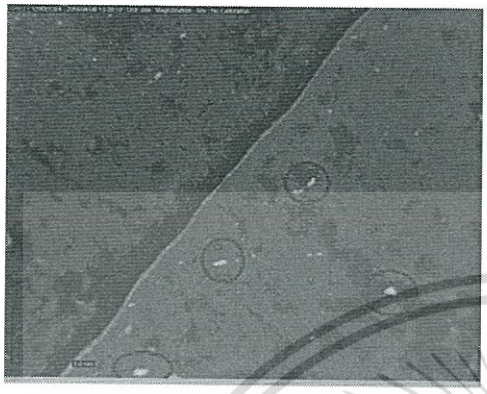
P4S2 (ม้วนเข้า)

รูปที่ ค-10 ภาพแสดงรอยแตกของสูตรวัสดุรองพื้นจากสูตรแบบบางสูตร P4S2

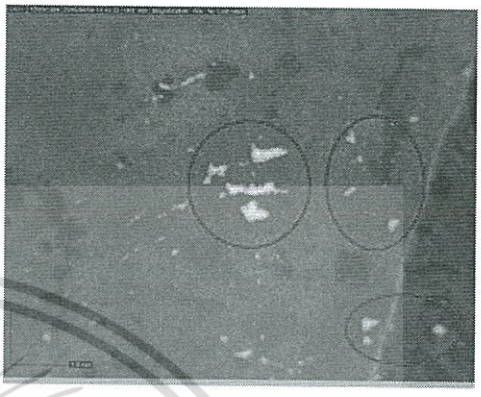
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

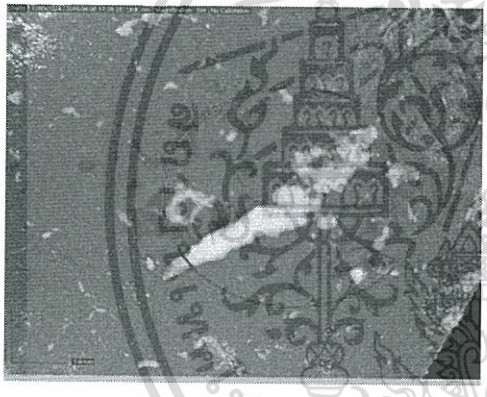
ภาพแสดงการหลุดลอกของสูตรวัสดุรองพื้น



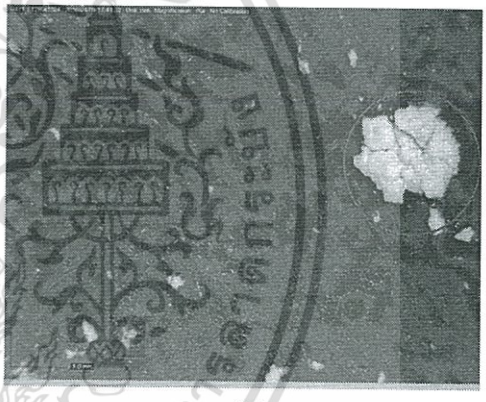
G3



G4



S3



S4

S6

S8

รูปที่ ง-1 ภาพแสดงการหลุดลอกของสูตรวัสดุรองพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้