

การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เชื่อมโยงด้วย
ระบบฉายแสง และระบบรีดอกซ์

STUDY ON WATER RESISTANCE PROPERTIES OF
OLEIC ACID MODIFIED POLY(VINYL ALCOHOL) AND
LINSEED OIL CROSSLINKING BY PHOTOCHEMICAL AND
REDOX SYSTEMS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เชื่อมโยงด้วย
ระบบฉายแสง และระบบรีดอกซ์

STUDY ON WATER RESISTANCE PROPERTIES OF
OLEIC ACID MODIFIED POLY(VINYL ALCOHOL) AND
LINSEED OIL CROSSLINKING BY PHOTOCHEMICAL AND
REDOX SYSTEMS



มานิตย์ ไชยวงศ์
สกุรัตน์ พัดโท
อมรา สาเทียน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON WATER RESISTANCE PROPERTIES OF
OLEIC ACID MODIFIED POLY(VINYL ALCOHOL) AND
LINSEED OIL CROSSLINKING BY PHOTOCHEMICAL AND
REDOX SYSTEMS



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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำลินสีด เชื่อมโยงด้วยระบบ
ฉายแสง และระบบรีดอกซ์

Study on Water Resistance Properties of Oleic Acid
Modified Poly(Vinyl Alcohol) and Linseed Oil Crosslinking
by Photochemical and Redox Systems

ชื่อนักศึกษา

นายมานิตย์ ไชยวงศ์ รหัสนักศึกษา 56050575
นางสาวสกุลรัตน์ พัดโท รหัสนักศึกษา 56050626
นางสาวอมรา สาเทียน รหัสนักศึกษา 56050654

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทธวุธ มนต์วิเศษ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ดร.การุณย์ สาต่ออ่อน กรรมการ	
ผศ.ดร.ภัทธวุธ มนต์วิเศษ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง และระบบรีดอกซ์		
	Study on Water Resistance Properties of Oleic Acid Modified Poly(Vinyl Alcohol) and Linseed Oil Crosslinking by Photochemical and Redox Systems		
ชื่อนักศึกษา	นายมานิตย์ ไชยวงศ์	รหัสนักศึกษา	56050575
	นางสาวสกุลรัตน์ พัดโท	รหัสนักศึกษา	56050626
	นางสาวอมรา สาเทียน	รหัสนักศึกษา	56050654
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิกที่ 1, 3 และ 5 ส่วนในร้อยละ (pph) ของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร่วมกับน้ำมันลินสีดในอัตราส่วน 99:1, 97:3 และ 95:5 โดยน้ำหนัก แล้วเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง และระบบรีดอกซ์รวมกับการใช้สารไวแสง จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ผลของระบบเชื่อมโยง, ปริมาณน้ำมันลินสีด และปริมาณกรดโอเลอิก โดยทดสอบสมบัติเบื้องต้นคือ ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม และปริมาณของแข็งที่เหลือพบว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก 3 pph ของเนื้อพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ต่อน้ำมันลินสีด 97:3 โดยน้ำหนัก เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใช้สารไวแสง ให้สมบัติการต้านทานน้ำที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณสารไวแสง และระยะเวลาในการฉายแสง ส่งผลให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำสูงขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณสารไวแสง ส่งผลให้สีของฟิล์มเข้มขึ้น สำหรับค่าการดูดความชื้น และค่าการซึมผ่านไอน้ำ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างฟิล์มประเภทไม่มีขี้และมีขี้ ส่วนการทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่น พบว่ามีค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นอยู่ในช่วง 98-104 องศา แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดีของฟิล์ม จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด มีความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดี และสามารถยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ โดยฟิล์มสูตรที่ดีที่สุดคือฟิล์มสูตร P3*97L3RM100 เมื่อพิจารณาสีของฟิล์มร่วมด้วย

คำสำคัญ : กรดโอเลอิก, น้ำมันลินสีด, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, ฟิล์ม

Title	Study on Water Resistance Properties of Oleic Acid Modified Poly(Vinyl Alcohol) and Linseed Oil Crosslinking by Photo-chemical and Redox Systems		
Students	Mr. Manit	Chaiwong	Student ID 56050575
	Miss Sakulrat	Phadtho	Student ID 56050626
	Miss Ammara	Sathain	Student ID 56050654
Degree	Bachelor of Science Industrial Chemistry		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Pathavuth Monvisade		

Abstract

This special project studied on water resistance properties of modified poly(vinyl alcohol) films. Poly(vinyl alcohol) was modified using 1, 3 and 5 pph of oleic acid. The weight ratios of oleic acid modified poly(vinyl alcohol) to linseed oil were varied at 99:1, 97:3 and 95:5. The resulting products were then crosslinked by irradiation and redox system in combination with the photosensitizer. Effects from crosslink systems and amount of linseed oil and oleic acid of the films were determined. The results from preliminary properties tests (%water content, %swelling and %solid remain) of the films indicated that the 3 pph of oleic acid modified poly(vinyl alcohol) and linseed oil film at the weight ratio of 97:3, and crosslinked by both irradiation and redox system provided great water resistance properties. In addition, water resistance properties of the films increased when increasing amount of the photosensitizer and irradiation time. However, the increase in amount of the photosensitizer affected on the increase in color of the film. The results obtained from moisture uptake and water permeability experiment of the films were in between polar and non-polar. Regarding the results from contact angle test using distilled water, the initial contact angle of the films was in the range between 98-104°, indicating good water resistance properties of the films. Additionally, poly(vinyl alcohol) films modified by oleic acid and linseed oil provided both good water resistance and water vapor permeability. Among all the candidates, the P3*97L3RM100 film showed the greatest properties when color of the films was taken into account.

Keywords : Oleic acid, Linseed oil, Poly(vinyl alcohol), Film

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทธวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ช่วยให้ปรึกษา คำแนะนำ แก้ไข อบรมให้ทำงานอย่างมีระเบียบรอบคอบ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้ ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้ศึกษารู้อีกชาวซึ่งเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ดร.การุณย์ สาดอ่อน คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือฯ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และทดสอบชิ้นงานตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา รุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจ จนการดำเนินโครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ประโยชน์ และความรู้อันพึงมีจากโครงการพิเศษนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัวผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ศึกษาขออน้อมรับ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

มานิตย์ ไชยวงศ์
สกุรัตน์ พัดโท
อมรา สาเทียน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 फिल्म.....	4
2.1.1 फिल्मยืดพันพาลาเทท (LLDPE).....	4
2.1.2 फिल्मหดพอลิเอทิลีน (PE Shrink Film).....	4
2.1.3 फिल्मโอพีที (Oriented Film).....	4
2.1.4 फिल्मเคลือบแมททัลไลซ์ (Metallized Film).....	5
2.1.5 फिल्मผนึกสุญญากาศ (Skin Vacuum).....	5
2.1.6 फिल्मป้องกันการขีดข่วน (Protection Film).....	5
2.1.7 फिल्मพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)).....	5
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol)).....	5
2.2.1 โครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	5
2.2.2 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	5
2.2.3 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	6
2.2.4 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	7
2.3 กรดไขมัน (Fatty Acid).....	7
2.3.1 ลักษณะของกรดไขมัน.....	7
2.3.2 สมบัติของกรดไขมัน.....	7
2.3.3 การทำปฏิกิริยาของกรดไขมัน.....	8
2.3.4 การจำแนกชนิดของกรดไขมัน.....	9
2.3.4.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acids).....	9
2.3.4.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acids).....	10
2.3.5 ชนิดของน้ำมันตามสมบัติการแข็งตัว.....	11
2.3.6 กรดโอเลอิก (Oleic Acid).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.7 ลินสีด (Linseed).....	12
2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification Reaction).....	13
2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาผ่านกลไกอนุมูลอิสระ	14
2.5.1 ระบบความร้อน (Thermal).....	15
2.5.2 ระบบรีดอกซ์ (Redox).....	17
2.5.3 ระบบฉายแสง (Photochemical).....	18
2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	20
2.6.1 หน้าที่ และหลักการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	20
2.7 สารไวแสง (Photosensitizer).....	20
2.8 ภาวะการเปียก (Wetting).....	21
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 สารเคมี	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	27
3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% W/V).....	29
3.4 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตัดแปร	29
3.5 การเตรียมสูตรสำหรับชั้นฟิล์ม.....	30
3.6 การขึ้นรูปฟิล์ม	33
3.7 การทดสอบ (Testing).....	33
3.7.1 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น ที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง (% Water Content, % WC).....	33
3.7.2 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ (% Solid Remain, % SR)	34
3.7.3 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้าย ของฟิล์ม (% Swelling, % S)	34
3.7.4 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture Uptake).....	34
3.7.5 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP).....	35
3.7.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Initial Contact Angle).....	36
3.7.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties).....	36
3.7.8 การวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR).....	37
3.7.9 การวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.10 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	38
4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม.....	38
4.2 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของฟิล์ม.....	39
4.2.1 ผลของระบบเชื่อมโยง	39
4.2.1.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น	40
4.2.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ	44
4.2.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม	45
4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันลินสีด	46
4.2.2.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น.....	46
4.2.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ	47
4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม.....	48
4.2.3 ผลของปริมาณกรดโอเลอิก	49
4.2.3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น.....	49
4.2.3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ	51
4.2.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม	51
4.3 ศึกษาผลก่อนการนำฟิล์มมาทำการทดสอบ	52
4.3.1 การจัดเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ.....	52
4.3.2 การทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยอะซิโตน	53
4.4 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture Uptake).....	54
4.5 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP)	54
4.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Initial Contact Angle).....	56
4.6.1 การทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่น	56
4.6.2 การทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำมัน.....	58
4.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม (Mechanical Properties).....	58
4.7.1 ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์.....	59
4.7.2 ค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์.....	60
4.7.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุด (% Elongation at Maximum Load) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์....	60
4.8 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของฟิล์ม	62

สารบัญ (ต่อ)

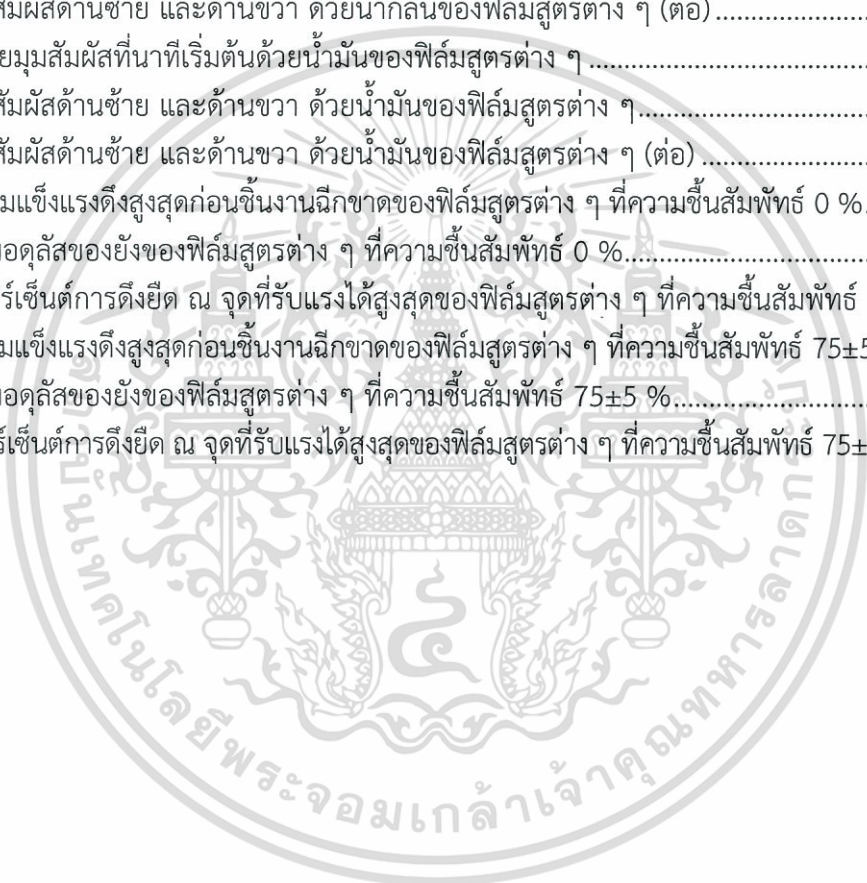
	หน้า
4.8.1 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance	62
4.8.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)	64
4.9 การศึกษาสัณฐานของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	76
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	83
ภาคผนวก จ.....	88
ภาคผนวก ฉ.....	94
ภาคผนวก ช.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	6
2.2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว และแหล่งอาหาร.....	9
2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จำนวนพันธะคู่ และแหล่งอาหาร.....	10
2.4 เพอร์เซ็นต์กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันลินสีดในทางอุตสาหกรรม.....	13
2.5 สมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันลินสีด.....	13
2.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัว โดยความร้อน.....	15
2.7 สมบัติของ <i>p</i> -Toluenesulfonic Acid.....	20
2.8 ค่ามุมสัมผัส (Contact Angle) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด.....	22
3.1 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 สูตรฟิล์มที่ศึกษา.....	31
3.2 สูตรฟิล์มที่ศึกษา (ต่อ).....	32
3.3 ระบบเชื่อมโยง.....	32
3.3 ระบบเชื่อมโยง (ต่อ).....	33
4.1 ค่าการทดสอบสมบัติเบื้องต้นในแต่ละสภาวะการจับเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ.....	52
4.2 ค่าการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฟิล์มก่อนและหลังทำความสะอาด.....	53
4.3 ค่าการดูดความชื้นและค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	54
4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของน้ำกลั่น.....	57
4.5 ค่าการทดสอบด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	64
ข-1 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	76
ข-2 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	77
ข-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	77
ข-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ).	78
ข-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	78
ข-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ).....	79
ค-1 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มที่สภาวะต่าง ๆ.....	80
ค-2 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มที่สภาวะต่าง ๆ.....	80
ค-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	80
ค-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	80
ค-5 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด.....	80
ค-5 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด (ต่อ).	81
ค-6 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด.....	81
ค-7 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด.....	81
ค-8 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-1 ค่าการดูดความชื้นของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	82
จ-1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสุตรต่าง ๆ (Water Vapor Permeability, WVP)	83
ฉ-1 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสในแต่ละนาที่ของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	88
ฉ-2 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	88
ฉ-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัส	88
ฉ-4 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	89
ฉ-4 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสุตรต่าง ๆ (ต่อ)	90
ฉ-5 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นด้วยน้ำมันของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	92
ฉ-6 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำมันของฟิล์มสุตรต่าง ๆ	92
ฉ-6 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำมันของฟิล์มสุตรต่าง ๆ (ต่อ)	93
ช-1 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนขึ้นงานฉีกขาดของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %	94
ช-2 ค่ายังมอดูลัสของยังของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %	95
ช-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %	96
ช-4 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนขึ้นงานฉีกขาดของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 %	97
ช-5 ค่ายังมอดูลัสของยังของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 %	98
ช-6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสุตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 %	99



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	5
2.2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต.....	6
2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก	11
2.4 โครงสร้างของน้ำมันลินสีดที่ประกอบด้วย Linoleic Acid, Alpha-Linolenic Acid และ Oleic Acid	12
2.5 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	13
2.6 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดอะซิติกกับเอทานอล	14
2.7 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	14
2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตต	14
2.9 การแตกตัวโดยความร้อนของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นอนุมูลอิสระ.....	15
2.10 ปฏิกิริยาการแตกตัวของ (ก) AIBN และ (ข) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์	16
2.11 ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange).....	19
2.12 การแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของน้ำมันลินสีด และกรดโอเลอิก.....	19
2.13 โครงสร้างของ <i>p</i> -TSA.....	20
2.14 มุมสัมผัส (Contact Angle).....	22
2.15 โครงสร้างออสซิลโลแกรมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับกรดบอริก	24
3.1 อุปกรณ์ฉายแสงระบบช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น.....	28
3.2 กรอบสกรีน.....	28
3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	29
3.4 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตัดแปรด้วยกรดโอเลอิก.....	30
3.5 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	36
4.1 ตัวอย่างลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม (ก) P3*97L3 (ข) P3*97L3RM100(20) (ค) P3*97L3RM60(10) และ (ง) P3*97L3RM30(20).....	39
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง.....	40
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง.....	41
4.4 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต แตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง อัลโลสิทหรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด	42
4.4 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต แตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่ง อัลโลสิทหรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด (ต่อ).....	43
4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลือหลังแช่น้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง.....	44
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่น้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม.....	45
4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง.....	47
4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่น้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง.....	47
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลือหลังแช่น้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม.....	48
4.11 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก.....	49
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง.....	50
4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง.....	50
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง.....	51
4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม.....	52
4.16 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยน้ำกลั่น.....	56
4.17 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงด้วยหยดน้ำกลั่น a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่ แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม c) มุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว.	57
4.18 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยน้ำมัน.....	58
4.19 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงด้วยหยดน้ำมัน a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่ แคบลง เนื่องจากการแผ่อกบนพื้นผิว.....	58
4.20 ความแข็งแรงดึงสูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	59
4.21 ค่ามอดูลัสของยังของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	60
4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	61
4.23 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, กรดโอเลอิก และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 3 pph (P3*).....	62
4.24 อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันลินสีด, P3*, P3*97L3 และ P3*97L3RM100(20).....	63
4.25 ภาคตัดขวางของฟิล์ม (ก) P1*97L3RM100(20), (ข) P3*97L3RM100(20), (ค) P3*97L3 RM60(20) และ (ง) P5*97L3RM100(20).....	65
ก-1 ฟิล์มที่เตรียมได้ที่ความหนา 35±5 ไมโครเมตร.....	74
ก-1 ฟิล์มที่เตรียมได้ที่ความหนา 35±5 ไมโครเมตร (ต่อ).....	75
จ-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(10).....	84
จ-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(20).....	84
จ-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(10).....	85
จ-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20).....	85
จ-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของ None Film Cover.....	86
จ-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของ Poly(vinyl alcohol) Film.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของ Chitosan Film.....	87
จ-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำ ของ Polypropylene Film.....	87
ฉ-1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสในแต่ละนาทียของฟิล์มสูตรต่าง ๆ.....	91
ซ-1 เทอร์โมแกรมของสูตรฟิล์ม P3*.....	100
ซ-2 เทอร์โมแกรมของสูตรฟิล์ม P3*97L3RM100(20).....	100



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
P	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol))
P*	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิก
<i>p</i> -TSA	กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (<i>p</i> -Toluene sulfonic acid)
L	น้ำมันลินสีด (Linseed Oil)
M	สารไวแสง (Photosensitizer) เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange)
I	ตัวริเริ่ม (Initiator)
V	ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible)
R	Redox Catalytic Systems
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
% WC	เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (% Water Content)
% SR	เปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ (% Solid Remain)
% S	เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (% Swelling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดเทอร์โมพลาสติก ที่ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น มีสมบัติในการก่อฟิล์ม การยึดติดที่ดี มีความทนทานต่อน้ำมัน และตัวทำละลายได้ดี สามารถละลายน้ำได้ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นฟิล์มที่ใช้งานทางด้านอุปโภค และบริโภคที่หลากหลายรูปแบบ ซึ่งการใช้งานเป็นพลาสติกในรูปแบบฟิล์มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อทั่วไป และยังสามารถนำไปใช้งานในด้านอื่น ๆ ได้แก่ ด้านการเกษตร ด้านสิ่งทอ ด้านการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นยังมีสมบัติที่เด่นในด้านความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนทานต่อการฉีกขาด การกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง รวมถึงมีสมบัติการป้องกันการระเหยของกลิ่น และน้ำมัน เป็นต้น [1-2]

ทั้งนี้สมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น หากมีปริมาณความชื้นที่สูง ฟิล์มสามารถดูดซับน้ำได้มาก ทำให้ฟิล์มมีความนิ่ม และความเค้นแรงดึงลดลง รวมถึงฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงมีการศึกษาการปรับปรุงสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อลดข้อจำกัดในการใช้งาน โดยงานวิจัยก่อนหน้านี [3] เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง ซึ่งได้นำกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิกมาปรับปรุงสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อเป็นการปรับโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มีความเป็นขั้วน้อยลง และสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงที่พันธะคู่ได้ ทำให้ฟิล์มมีความต้านทานน้ำมากขึ้น รวมถึงการนำน้ำมันละหุ่งมาเป็นส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยการเชื่อมโยงฟิล์มด้วยระบบฉายแสง

อย่างไรก็ตามฟิล์มที่ได้ยังมีความเข้มจากสีของสารไวแสง และกลิ่นจากน้ำมันละหุ่ง รวมถึงยังมีสมบัติในการแห้งตัวที่ช้า ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำที่ยังไม่ดี นอกจากนี้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะมันเนื่องจากการบิดออกของน้ำมัน และกรดโอเลอิกส่วนเกิน ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการลดปริมาณกรดโอเลอิก และนำน้ำมันลินสีดมาเป็นส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก โดยทดแทนน้ำมันละหุ่งเพื่อให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำดีขึ้น เนื่องจากน้ำมันลินสีดมีสมบัติที่แห้งเร็วกว่าน้ำมันละหุ่ง ทำให้ง่ายต่อการเตรียมฟิล์ม โดยโครงสร้างของน้ำมันลินสีดสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่บริเวณพันธะคู่ และยังเกิดอันตรกิริยากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก ทำให้ฟิล์มมีสมบัติต้านทานน้ำมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการพัฒนาฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำดีขึ้น โดยการปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ทำการเชื่อมโยงฟิล์มขณะขึ้นรูปด้วยระบบการฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบการฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นร่วมกับระบบปิดอกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance ศึกษาสัญญาณวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รวมถึงศึกษาสมบัติทางความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting Point Temperature, T_m) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม, ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, สมบัติเชิงกล, มุมสัมผัส, การดูดความชื้น และการซึมผ่านไอน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ให้มีสมบัติในการต้านทานน้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก
 - โดยศึกษาปริมาณกรดโอเลอิกที่ 1, 3 และ 5 ส่วนในร้อยส่วน (pph) ของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
- 2) เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด
 - โดยศึกษาอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิกต่อน้ำมันลินสีดเป็น 99:1, 97:3 และ 95:5 โดยน้ำหนัก
- 3) ศึกษาผลของระบบเชื่อมโยง คือ
 - การเชื่อมโยงระบบฉายแสงโดยใช้ตัวริเริ่มโฟแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
 - การเชื่อมโยงระบบฉายแสงร่วมกับระบบบริดจิ้ง (โฟแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และไซเดียมไทโอซัลเฟต)
 - ปริมาณสารไวแสง (Photosensitizer) ที่อัตราส่วน 1:30, 1:60 และ 1:100 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก
 - เวลาในการฉายแสงเป็น 10 และ 20 นาที
- 4) พิสูจน์เอกลักษณ์ของฟิล์มที่เตรียมได้
 - ตรวจสอบวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance
 - ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) ได้แก่ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting Point Temperature, T_m) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g)
 - ศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- 5) ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (% Water Content)
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (% Swelling)
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ (% Solid Remain)
 - การดูดความชื้น (Moisture Uptake)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability)
 - มุมสัมผัส (Contact Angle)
 - สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)
- 6) ศึกษาผลของการควบคุมสภาวะก่อนการนำฟิล์มมาทำการทดสอบ
- สภาวะควบคุมก่อนการทดสอบ ได้แก่ สภาวะเดซิเคเตอร์ (Desiccator), สภาวะการอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และสภาวะปกติ
 - การทำความสะอาดแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ ได้แก่ การเช็ดฟิล์ม และการจุ่มฟิล์มในอะซิโตน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำได้มากขึ้น
- 2) ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการบวมตัว ความสามารถในการต้านทานน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 फिल्म (Film)

ฟิล์มพลาสติกสามารถผลิตได้จากเม็ดพลาสติกหลายชนิด เช่น พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น โดยฟิล์มที่ผลิตจากพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวตามสมบัติของฟิล์มที่แตกต่างกันออกไป เช่น สมบัติการทนความร้อน การป้องกันการกักความร้อนจากสารเคมี ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ การหดตัวเมื่อโดนความร้อน การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ปัจจุบันฟิล์มพลาสติกได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น นำมาผลิตเป็นถุงพลาสติก ซองพลาสติก หรือ ถูกลำมาทอเป็นกระสอบ เป็นต้น โดยฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์สามารถผลิตได้จากฟิล์มหลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค เช่น ฟิล์มยืด ฟิล์มหด และฟิล์มลามิเนต เป็นต้น [4]

สารเติมแต่งที่จำเป็นในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) เพื่อป้องกันการสลายตัวของพลาสติกในกระบวนการผลิต สารเกาะติด (Cling Agent) เพื่อช่วยให้ฟิล์มยึดติดกันได้ดีเมื่อนำมาใช้ห่อสินค้า และสารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับงานเฉพาะทาง เช่น สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (UV Inhibitor) เพื่อยืดอายุของฟิล์ม สารป้องกันการเกาะติด (Antiblock Agent) เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มเกาะติดกันแน่น เป็นต้น อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่ผู้ใช้งานไม่ควรมองข้าม คือ การเลือกใช้ฟิล์มให้เหมาะสมกับสินค้า หรือ ผลิตภัณฑ์ โดยสมบัติของฟิล์มที่สำคัญในการเลือกใช้โดยส่วนใหญ่ ได้แก่ ความยืดหยุ่น (Elasticity), การต้านทานแรงดึง (Tensile Strength), ความสามารถในการยืดตัว (Stretch Force), อัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม (Gas Transmission Rate) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapors Transmission) โดยตัวอย่างของฟิล์มประเภทต่าง ๆ แสดงดังนี้

2.1.1 ฟิล์มยืดพินพาเลท (LLDPE)

เป็นฟิล์มที่มีลักษณะใส เหนียว ไม่ฉีกขาดง่าย แม้ทำการห่อสินค้าที่มีมุมแหลม และสามารถยืดได้ค่อนข้างมากประมาณ 3 ถึง 4 เท่า เหมาะสำหรับห่อหุ้มสินค้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรวบรวมหน่วยของสินค้าให้สะดวกในการขนย้ายมากขึ้น รวมถึงมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และฝุ่นละอองให้กับสินค้า

2.1.2 ฟิล์มหดพอลิเอทิลีน (PE Shrink Film)

เป็นฟิล์มที่มีลักษณะขุ่น เหนียว แข็งแรงเป็นพิเศษ สามารถรับน้ำหนักสินค้าได้ดี เหมาะสำหรับงานห่อรัดสินค้า หรือ ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

2.1.3 ฟิล์มโอพีพี (Oriented Film)

เป็นฟิล์มใส มีความบาง เป็นชนิดที่ผลิตด้วยความร้อน แต่มีสมบัติที่ทนทานมากกว่าฟิล์มที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอื่น ๆ จึงเหมาะสำหรับเครื่องบรรจุหีบห่อที่มีความเร็วสูง เนื่องจากสามารถทนแรงดึงของเครื่องได้ และไม่เกิดการฉีกขาดง่าย

2.1.4 ฟิล์มเคลือบเมทัลไลซ์ (Metallized Film)

เป็นการนำฟิล์มมาพ่นเคลือบด้วยละอองอะลูมิเนียม โดยระบบสุญญากาศใช้กับบรรจุภัณฑ์งานพิมพ์ระบบกราเวียร์ทั่วไป โดยมีสีเงินซึ่งจะสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ และช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

2.1.5 ฟิล์มฉนวนสุญญากาศ (Skin Vacuum)

เป็นฟิล์มที่มีความใส เหนียว แข็งแรง มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ดี และสามารถแนบติดกับสินค้าที่บรรจุภายในได้ เสมือนเป็นชั้นผิวหนึ่ง เนื่องจากบรรจุด้วยระบบสุญญากาศ จึงสามารถรักษาความสดใหม่ให้กับสินค้าได้ยาวนานมากขึ้น

2.1.6 ฟิล์มป้องกันการขีดข่วน (Protection Film)

เป็นฟิล์มชนิด Tape Based PE ที่มีกาวหนึ่งด้าน โดยสามารถแนบยึดติดกับพื้นผิวได้ทุกชนิด และสามารถลอกออกได้ง่ายโดยไม่ติดคราบกาว ซึ่งใช้สำหรับป้องกันพื้นผิวจากรอยขีดข่วนต่าง ๆ

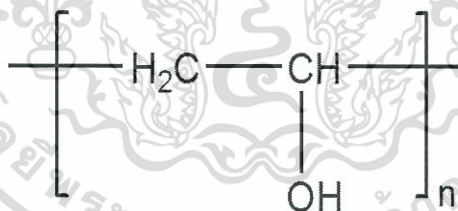
2.1.7 ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(Vinyl Alcohol))

เป็นฟิล์มที่มีความใส ไม่เป็นพิษ มีความแข็งแรงดี และมีความยืดหยุ่นสูง สามารถต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจน และกลิ่นได้ดี รวมถึงมีความโปร่งแสง มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไม่ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม [5]

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(Vinyl Alcohol))

2.2.1 โครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-Crystalline Polymer) มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูป 2.1

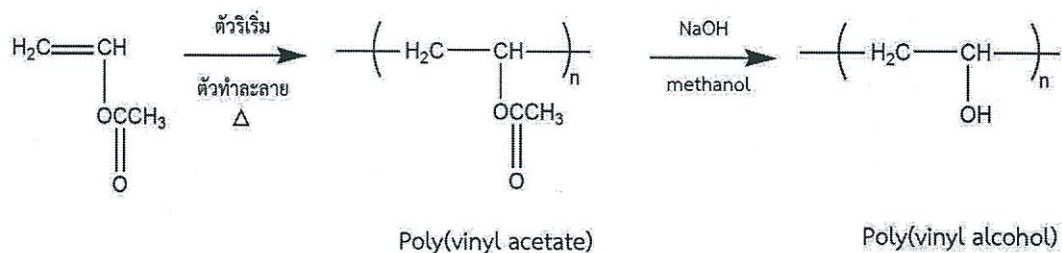


รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.2.2 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถสังเคราะห์ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของไวนิลแอลกอฮอล์ได้ เนื่องจากมอนอเมอร์ดังกล่าวไม่เสถียร มีการเปลี่ยนรูปอยู่ในโครงสร้างไอโซเมอร์ในรูปแบบอื่นที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ซึ่งเกิด Automerized ในรูปของ Acetaldehyde ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เสถียรกว่า ดังนั้นในการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลอะซิเตต จากนั้นนำพอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้ ไปผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ทำปฏิกิริยากับพอลิไวนิลอะซิเตต เพื่อเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่อะซิเตตไปเป็นหมู่ไฮดรอกซี ซึ่งจะส่งผลให้สภาพขี้ของพอลิเมอร์นั้นเพิ่มขึ้น และความ

สามารถในการละลายน้ำดีขึ้น [6-7] การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต

2.2.3 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ ที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ มีการยึดติดที่ดี ทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน สามารถละลายในน้ำได้ นอกจากนี้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังเป็นพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการเข้ากันกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) ได้ดี และไม่เป็นพิษ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีสมบัติทางกายภาพที่ดี เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล และพันธะไฮโดรเจน จึงสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดี มีความโปร่งแสง และทนทานต่อสารเคมีได้ดี มีความแข็งแรงดึง และความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่น และน้ำมัน รวมถึงมีสมบัติในการต้านทานการซึมผ่านของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส และสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพโดยสมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แสดงดังตารางที่ 2.1 [8-12]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [12]

ลักษณะภายนอก	เป็นผงสีขาวหรือเม็ดสีขาวจนถึงครีม
มวลโมเลกุล	120,000 กรัมต่อโมล
Specific Gravity	1.25-1.32
ความหนาแน่น	1.298 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว	80 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว*	180-190 และ 230 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	228 องศาเซลเซียส
ความคงทนต่อน้ำมัน	ไม่ละลายในน้ำมัน
ความคงทนต่อสารละลาย	ไม่ละลายในตัวละลายอินทรีย์
ความคงทนต่อกรด-เบส	อ่อนตัวและละลายได้ในทั้งกรดและเบส
การย่อยสลาย	86.5-89 เปอร์เซ็นต์

*หมายเหตุ : จุดหลอมเหลวที่ 230 องศาเซลเซียส สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์ และที่ 180-190 องศาเซลเซียส ได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ และสามารถติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความหลากหลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) อาศัยสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และแขวนลอยต่าง ๆ ขึ้นขึ้น ใช้เป็นสารยึดติด และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใส เหนียว และทนต่อการขีดข่วน เป็นต้น

2) นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถละลายน้ำได้แล้วจึงนำมาใช้งาน ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูน้ำ และความชื้นได้เป็นอย่างดี สามารถนำมาใช้เป็นเส้นใยแทนเส้นใยฝ้ายได้ โดยผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติสวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสีหรือ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้งานทางด้านอุปโภค และบริโภค เป็นต้น [13]

2.3 กรดไขมัน (Fatty Acid)

2.3.1 ลักษณะของกรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) กรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอย่างน้อย 8 อะตอม และส่วนใหญ่เป็นจำนวนเลขคู่ เพราะกระบวนการชีวสังเคราะห์ของกรดไขมันเป็นการเพิ่มโมเลกุลของอะซิเตต ซึ่งมีคาร์บอนอยู่ 2 อะตอม โดยกรดไขมันมีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไปเป็น $R-COOH$ ลักษณะสูตรโครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียกว่า คาร์บอกซิล ($-COOH$) ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า สายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (R) โดยมีธาตุคาร์บอนทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวกันเป็นสายโซ่ โดยปกติแล้วธาตุคาร์บอนจะมีอยู่ 4 แขน แขนที่เหลือจากการจับธาตุคาร์บอนด้วยกันจะไปจับกับธาตุไฮโดรเจน กรดไขมันมีอยู่หลายชนิด ทุกชนิดจะมีหน่วยคาร์บอกซิลอยู่หนึ่งหน่วยเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะทางเคมีในส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน หรืออะลิฟาติก ทำให้กรดไขมันมีสมบัติที่แตกต่างกันไป ในอุตสาหกรรมกรดไขมันผลิตโดยการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) พันธะเอสเทอร์ในไขมัน หรือ น้ำมันในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ด้วยการกำจัดกลีเซอรอลออกไป กรดไขมันที่พบในไขมัน และน้ำมัน ตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเอสเทอร์ (Ester) ส่วนกรดไขมันที่พบในพลาสติกจะอยู่ในรูปอิสระ โดยจับอยู่กับแอลูมิเนียม กรดไขมันมักมีโครงสร้างเป็นสายตรง ไม่แตกแขนง สายไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันอาจจะมีพันธะคู่ หรือไม่มีก็ได้ ดังนั้นจึงแบ่งกรดไขมันออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid)

2.3.2 สมบัติของกรดไขมัน

1) ลักษณะทางกายภาพของกรดไขมัน ขึ้นอยู่กับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอน และความอิ่มตัว หรือไม่อิ่มตัว โดยปกติแล้วจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะแปรผันตรงตามความยาวของสายไฮโดรคาร์บอน และแปรผกผันกับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน หรืออาจกล่าวได้ว่าในกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีขนาดเล็ก และในกรดไขมันที่อิ่มตัวจะมีจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่มีความบริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น

2) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนมากจะเป็นประเภทที่ไม่อิ่มตัว เนื่องจากในเยื่อหุ้มเซลล์มีความจำเป็นที่จะต้องประกอบด้วยไขมันที่มีสถานะภาพเป็นของเหลว เพื่อทำหน้าที่ทางชีวภาพได้ ในขณะที่ไขมันถูกเก็บสะสมเป็นพลังงานสำรอง จะมีความอิ่มตัวมากกว่าที่พบในเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นต้น

3) กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีการจัดเรียงตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ได้ 2 แบบ คือ แบบซิส และแบบทรานส์ โดยกรดไขมันแบบทรานส์จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าแบบซิส ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกือบทั้งหมดจะมีโครงสร้างเป็นแบบซิส

4) กรดไขมันไม่สามารถดูดแสงในช่วง Visible Light และ Near Ultraviolet Light แต่ถ้าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และให้ความร้อนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ สามารถเปลี่ยนพันธะคู่ให้เป็นแบบคอนจูเกต (Conjugated Double Bond) ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงคลื่นแสง 230-260 นาโนเมตร จึงใช้เป็นวิธีในการหาปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะได้

5) กรดไขมันสามารถเติมธาตุหมู่ฮาโลเจน (Halogen) เช่น ไอโอดีน หรือคลอรีน ลงในพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ และสามารถใช่วิธีนี้ในการหาจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมัน

6) โครงสร้างของกรดไขมันมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ บริเวณหมู่คาร์บอกซิล และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ส่วนของสายไฮโดรคาร์บอน เมื่อนำกรดไขมันมาเขย่ากับน้ำกรด ไขมันจะกระจายตัวเป็นหยดน้ำมันเล็ก ๆ ในน้ำ โดยกรดไขมันจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำไว้ข้างใน และเอาส่วนที่ชอบน้ำไว้ด้านนอกเพื่อสัมผัสกับน้ำ การฟอร์มตัวแบบนี้เรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle)

2.3.3 การทำปฏิกิริยาของกรดไขมัน

1) ปฏิกิริยากับด่าง กรดไขมันสามารถเกิดปฏิกิริยากับด่างเรียกว่า ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification) ได้เกลือของกรดไขมันใช้ชำระล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เรียกว่า สบู่ (Soap) ดังที่ใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะได้สบู่ที่เป็นเกลือโซเดียม และโพแทสเซียมของกรดไขมันที่มีสมบัติละลายน้ำได้ แต่ถ้าเป็นเกลือของกรดไขมันพวกแคลเซียม (Ca^{2+}) หรือ แมกนีเซียม (Mg^{2+}) จะไม่ละลายน้ำ

2) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ โดยออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ พวกอัลดีไฮด์ คีโตน และเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดการเหม็นหืน (Rancidity) และถ้ากรดไขมันนั้นไม่อิ่มตัวมาก จะเกิดปฏิกิริยานี้ได้ดี ทำให้เกิดสารที่มีความเหนียวเมื่อทดลองไปบนพื้นผิวใดจะติดเป็นแผ่นขาว ซึ่งน้ำไม่สามารถผ่านได้ จึงนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น น้ำมันลินสีด (Linseed Oil) หรือ น้ำมันทัง (Tung Oil) ซึ่งเป็นพวกที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งเคลือบบนไม้ ซึ่งทนน้ำได้ดี

3) ปฏิกิริยากับไฮโดรเจน กรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน โดยมีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้กรดไขมันที่มีแต่พันธะเดี่ยว วิธีการนี้เป็นวิธีการสำคัญในการหาปริมาณพันธะคู่ในกรดไขมัน และเป็นวิธีการเปลี่ยนไขมันจากพืช ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในสภาพไขมันเหลว หรือน้ำมันให้เป็นไขมันแข็ง เช่น ในอุตสาหกรรมทำเนยเทียมใช้ในการประกอบอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเหม็นหืนอีกด้วย

2.3.4 การจำแนกชนิดของกรดไขมัน

กรดไขมันสามารถจำแนกตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด

2.3.4.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acids)

เป็นกรดไขมันที่มีโครงสร้างอะตอมคาร์บอน และไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวตลอดสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอน เป็นกรดไขมันที่โมเลกุลมีคาร์บอนกับไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับไฮโดรเจนหรือธาตุอื่นเข้าไปในโมเลกุลได้อีก โดยที่สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเท่ากับ C_nH_{2n+1} และ n เป็นตัวเลขที่แสดงถึงจำนวนคาร์บอนอะตอม กรดไขมันชนิดนี้พบมากในไขมันสัตว์ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวมีความเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้ไม่เกิดการเหม็นหืนจากออกซิเจน (Lipid Oxidation) มีจุดหลอมเหลว (Melting Point) สูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) ที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน [14] ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว และแหล่งอาหาร [14]

ชื่อกรดไขมันอิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	แหล่งอาหาร	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดบิวไทริก	$CH_3(CH_2)_2COOH$	เนย และไขมันเนย	-7.9
กรดคาโปรอิก	$CH_3(CH_2)_4COOH$	เนย และไขมันเนย	-3.4
กรดคาโปรลิก	$CH_3(CH_2)_6COOH$	น้ำมันมะพร้าว และไขมันนม	16.7
กรดคาปริก	$CH_3(CH_2)_8COOH$	น้ำมันปาล์ม	31.3-31.6
กรดลอริก	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	น้ำมันมะพร้าว	44.0-44.2
กรดไมริสติก	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	น้ำมันมะพร้าวไขมันสัตว์	53.9-54.4
กรดปาล์มติก	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	น้ำมันพืช และไขมันสัตว์	62.7-63.1
กรดสเตียริก	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	น้ำมันพืช และไขมันสัตว์	69.6
กรดอะราซิกติก	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	75.4-76.5
กรดปีอินิก	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	80.0-81.5
กรดลิโนซีริก	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	84.2-86.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acids)

เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่บนสายโซ่โครงสร้างคาร์บอน ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบซิส และแบบทรานซ์ โดยส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่อยู่ในรูปแบบซิส ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด และมักพบว่าพันธะคู่จะอยู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10 โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของโครงสร้างและจำนวนพันธะคู่ ดังนี้

1) กรดไขมันที่มี 1 พันธะคู่ (Monounsaturated Fatty Acids) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่เพียง 1 พันธะ โดยกรดไขมันที่มีมากที่สุดในร่างกาย คือ กรดพาล์มิโทเลอิก (Palmitoleic, C16:1) และกรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1)

2) กรดไขมันที่มีมากกว่า 1 พันธะคู่ (Polyunsaturated Fatty Acids) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะขึ้นไป โดยปกติพันธะคู่ของกรดไขมันจะไม่อยู่ในตำแหน่งที่ติดกันจะมีหมู่ Methylene (-CH₂-) คั่นกลาง ตัวอย่างเช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic, C18:2) กรดลิโนเลนิก (Linolenic, C18:3) และกรดอะราชีดิก (Arachidonic, C20:4) เป็นต้น ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จำนวนพันธะคู่ และแหล่งอาหาร [14-16]

ชื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	จำนวนพันธะคู่	แหล่งอาหาร	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดพาล์มิโทเลอิก (Palmitoleic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1	เนย	0-0.5
กรดโอเลอิก (Oleic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1	น้ำมันมะกอก	10.5-16.0
กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	2	น้ำมันลินสีด	-5.0
กรดลิโนเลนิก (Linolenic Acid)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	3	น้ำมันลินสีด	-11.0
กรดอะราชีดิก (Arachidonic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=(\text{CHCH}_2\text{CH})_3=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	4	เลซิทิน	-49.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ชนิดของน้ำมันตามสมบัติการแห้งตัว

การแบ่งชนิดของน้ำมันอาจแบ่งได้ตามสมบัติในการแห้งตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ โดยแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

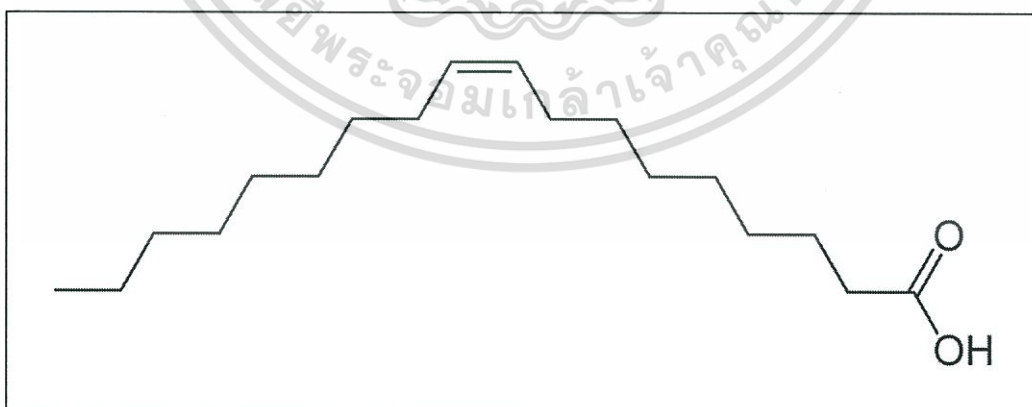
1) น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เป็นน้ำมันที่แห้งตัวได้เร็วที่สุด สามารถดูดออกซิเจนในอากาศแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำมันได้ รวมถึงไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้ และมีความทนทานต่อสารเคมี น้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ 3 พันธะต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน 1 สายโซ่ ตัวอย่างน้ำมันแห้งเร็ว เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง เป็นต้น

2) น้ำมันแห้งช้า (Semi-Drying Oil) จะดูดออกซิเจนจากอากาศได้น้อย และเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งได้ช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว โดยกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ 2 พันธะต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน 1 สายโซ่ น้ำมันชนิดนี้นำมาใช้เป็นสารประกอบในอัลคิลเรซินที่ไม่ขึ้นเหลือง (Non-Yellowing Alkyl) ตัวอย่างของน้ำมันแห้งช้า เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกคำฝอย เป็นต้น

3) น้ำมันไม่แห้ง (Non-Drying Oil) เป็นน้ำมันที่ไม่สามารถแห้งตัวได้ โดยน้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ หรือมีพันธะคู่ต่อสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนน้อย มักใช้ประโยชน์เป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดติดในแลกเกอร์ ตัวอย่างของน้ำมันไม่แห้ง เช่น น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น [17]

2.3.6 กรดโอเลอิก (Oleic Acid)

กรดโอเลอิกมีโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.3 มีชื่อทางเคมีว่า Octadecenoic Acid สูตรโมเลกุล คือ $C_{18}H_{34}O_2$ มีความหนาแน่นเท่ากับ 895 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลวประมาณ 13-14 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 360 องศาเซลเซียส เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 จัดเป็น Monounsaturated Fatty Acid ดังนั้นรูปร่างของโมเลกุล Oleic Acid จึงไม่ได้เป็นเส้นตรง แต่จะมีลักษณะหักมุมที่ตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งกรดโอเลอิกมักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสารหล่อลื่น และอุตสาหกรรมเคลือบเงา เป็นต้น



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก [19]

กรดโอเลอิกจัดเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวที่พบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะกอก ซึ่งมีปริมาณกรดโอเลอิกที่สูง นอกจากนี้ยังพบในน้ำมันพีแคนคาโนลา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันแมคาเดเมีย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำมันดอกทานตะวัน และยังพบในไขมันไก่ และมันหมู กรดไขมันชนิดนี้ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิสูง เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นของเหลวคล้ายกับน้ำมัน มีสีน้ำตาลอมเหลือง กลิ่นเหมือนน้ำมัน จึงเหมาะแก่การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก [18-19]

2.3.7 ลินสีด (Linseed)

ลินสีดเป็นพืชในสกุล *Linum* จัดอยู่ในวงศ์ *Linaceae* ได้มาจากเมล็ดของต้นปอ เรียกว่า เมล็ดลินสีด หรือ เมล็ดลินิน มีปริมาณน้ำมันประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ซึ่งปริมาณขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และฤดูกาลในการเจริญเติบโต โดยลินสีดจัดเป็นพืชน้ำมันหลักที่มีปริมาณกรดไขมันลิโนเลนิก (C18:3) สูง และมีสมบัติว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันลินสีดมีสมบัติแห้งเร็ว [4] มีจุดเดือด 343 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว -24 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันลินสีดมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ลิโนเลนิก (C18:3) ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการเหม็นหืน (Rancidity) ได้ง่าย และมีอายุเก็บรักษาสั้น (Short Shelf-Life) ทั้งการผลิตในเชิงการค้ามีน้อยเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ น้ำมันลินสีดจึงถูกใช้ในแง่บริโภคที่น้อย จึงได้มีความพยายามที่จะลดปริมาณของกรดลิโนเลนิกลง ซึ่งช่วยให้น้ำมันมีคุณภาพในการบริโภคดีขึ้นได้ ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันลินสีดแสดงดังรูปที่ 2.4 และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันลินสีดแสดงในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันลินสีดที่ประกอบด้วย Linoleic Acid, Alpha-Linolenic Acid และ Oleic Acid

โดยเมล็ดลินินประกอบไปด้วยกรดแอลฟาไลโนเลนิก (Alpha-Linolenic Acid; ALA) ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นชนิด Omega-3 และประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นชนิด Omega-6 ในรูปของกรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid; LA) นอกจากนี้แล้วยังเป็นแหล่งของสารลิกแนน (Lignans) ที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย ลินสีดในกรณีที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปใช้ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมัน สมบัติของน้ำมันที่ได้มีลักษณะแห้งเร็ว หรืออาจเรียกว่า น้ำมันซักแห้ง (Drying Oil) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำสี น้ำมันชักเงา น้ำมันเคลือบไม้ หมึกพิมพ์ ผ้าพลาสติก น้ำมันพอกหนัง จารบี (Grease) และสารหล่อลื่น (Lubricants) เป็นต้น [20-22] โดยสมบัติบางประการของน้ำมันลินสีดแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันลินสีดในทางอุตสาหกรรม [21-22]

กรดไขมัน	เปอร์เซ็นต์
Palmitic Acid (C16:0)	5
Stearic Acid (C18:0)	2.5
Arachidic Acid (C20:0)	5
Oleic Acid (C18:1)	19
Linoleic Acid (C18:2)	13
Linolenic Acid (C18:3)	40-65

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันลินสีด [21-22]

สมบัติทางเคมี และทางกายภาพ	น้ำมันลินสีดดิบ	น้ำมันลินสีดที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์
ค่าไอโอดีน	170	170
ค่าของกรด	3.5	0.5
ความถ่วงจำเพาะ, 25 องศาเซลเซียส	0.9201	0.9184
ดัชนีหักเห, 25 องศาเซลเซียส	1.4780	1.4784

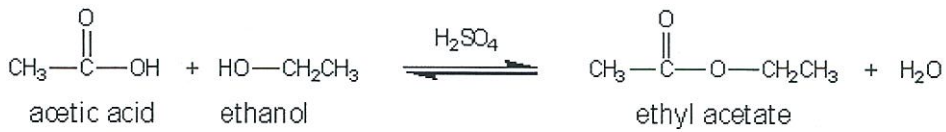
2.4. ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification Reaction)

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) กับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทเอสเทอร์ และน้ำ โดยสามารถเขียนสมการทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังสมการในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน [23]

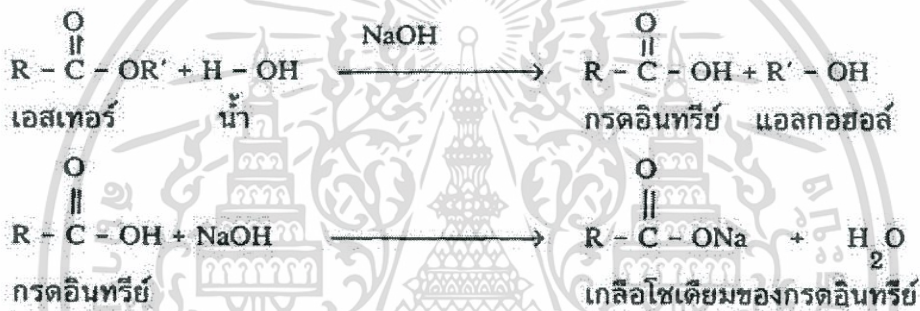
ตัวอย่างปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดแอสติคกับเอทานอลที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังสมการในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดอะซิติกกับเอทานอล [24]

เอสเทอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ทั้งในสารละลายเบส และสารละลายกรดเมื่อให้ความร้อน ดังนี้

1) ในสารละลายเบส เอสเทอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้กรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับเบสต่อไปในทันที ซึ่งได้เกลือของกรดอินทรีย์ และน้ำ ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงไม่เกิดการผันกลับ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ เกลือของกรดอินทรีย์ และแอลกอฮอล์ เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ [25]

2) ในสารละลายกรด เอสเทอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงได้กรดคาร์บอกซิลิก และแอลกอฮอล์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตต แสดงดังสมการในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตต [24]

2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาผ่านกลไกอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นได้โดยอาศัยตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ เช่น ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยความร้อน (Thermal Initiator) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยใช้แสง (Photo Initiator) และตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Initiator) นอกจากนั้นในบางกรณีสารตั้งต้น

บางชนิด เช่น มอนอเมอร์บางชนิดอาจจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้นได้ด้วยตัวเอง (Self-Initiation) ซึ่งจะนำไปสู่ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเมอร์ได้ [26]

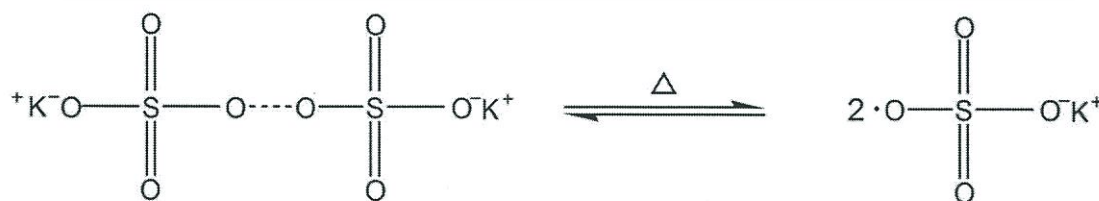
2.5.1 ระบบความร้อน (Thermal)

การแตกตัวโดยอุณหภูมิหรือความร้อนของตัวริเริ่มมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ในการผลิตอนุมูลอิสระสำหรับการเริ่มต้นของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยตัวริเริ่มต่างกันจะให้อนุมูลที่ต่างกันออกไป ในระบบความร้อนตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะมีการแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งมักเป็นสารประกอบประเภทเปอร์ออกไซด์ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide), ไดอะเซทิลเปอร์ออกไซด์ (Diacetyl Peroxide) และไดเทอร์เทียริบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Di-t-butylperoxide) รวมถึงโพแทสเซียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต (Potassium Peroxydisulfate) หรือ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulfate) และกรดเปอร์อะซิติก (Peracetic Acid) เป็นต้น โดยสารเปอร์ออกไซด์จะเกิดการแตกตัวได้ที่ตำแหน่งพันธะระหว่างอะตอมออกซิเจนกับออกซิเจน ซึ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแตกตัวที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัวโดยความร้อน [27-28]

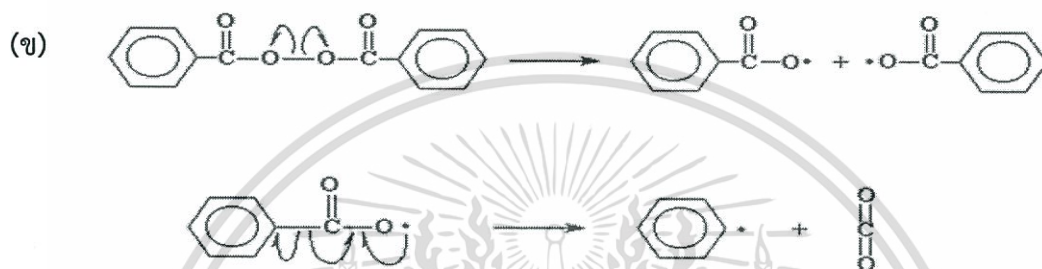
ชื่อ	อุณหภูมิที่แตกตัว (องศาเซลเซียส)
Azo-bisisobutyronitrile (AIBN)	20-100
Hydrogen Peroxide	30-80
Dibenzoyl Peroxide	40-90
Cumene Hydroperoxide	50-100
Di-t-butyl Peroxide	80-150
Potassium Persulfate ($K_2S_2O_8$)	50-90

ตัวอย่าง เช่น โพแทสเซียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต หรือ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ซึ่งจัดเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ที่มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว สามารถละลายในน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุล 270.322 กรัมต่อโมล ความหนาแน่นเท่ากับ 2.477 กรัมต่อมิลลิลิตร และจุดหลอมเหลวน้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เกิดการแตกตัวโดยความร้อนระหว่างอะตอมของออกซิเจนกับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ตำแหน่งอะตอมของออกซิเจน แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแตกตัวโดยความร้อนของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นอนุมูลอิสระ

ตัวอย่างการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มจำพวกสารประกอบเอโซ เช่น เอโซบิสไอโซบิวทิลไนไตรล์ (Azo-bisobutyronitrile) หรือ AIBN ที่เกิดการแตกตัวที่พันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนให้อนุมูลอิสระดังสมการ (ก) แสดงในรูปที่ 2.10 และตัวอย่างการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มจำพวกสารเปอร์ออกไซด์ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แสดงดังสมการ (ข) ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาการแตกตัวของ (ก) AIBN และ (ข) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ [24]

การแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้มีข้อสังเกตที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก การแตกตัวไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันทุกโมเลกุล แต่ปริมาณการแตกตัวจะเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยมีค่าครึ่งชีวิต (Half-Life) ของการแตกตัวเป็นดัชนีในการบ่งชี้ว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดใดแตกตัวได้เร็วหรือช้ากว่ากัน โดยถ้าหากค่าครึ่งชีวิตมีค่าน้อยก็แสดงว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้น ๆ สามารถแตกตัวได้เร็วจนมีความเข้มข้นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่ใส่ลงไปตอนเริ่มต้นภายในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ค่าครึ่งชีวิตของตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาด้วย กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการแตกตัวได้มากขึ้น และทำให้ค่าครึ่งชีวิตมีค่าลดลง

ข้อสังเกตประการที่สอง อนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้ จะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ทำหน้าที่กระตุ้นสารตั้งต้นให้เกิดปฏิกิริยา โดยอนุมูลอิสระบางส่วนอาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ทำให้สูญเสียความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งปฏิกิริยาข้างเคียงเหล่านี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Wastage Reaction เช่น สารประกอบเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.10 (ข) โดยอนุมูลอิสระของเบนโซอิลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกสามารถแตกตัวต่อได้เป็นอนุมูลอิสระของฟีนิลและโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอนุมูลอิสระของฟีนิลที่เกิดขึ้นอาจเกิดการรวมตัวกันเอง หรือรวมตัวกับอนุมูลอิสระของเบนโซอิลซึ่งทำให้ได้โมเลกุลที่แตกตัวได้ยาก ในทำนองเดียวกันสาร AIBN แสดงดังรูปที่ 2.10 (ก) จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้เช่นกัน โดยอนุมูลอิสระคาร์บอนที่เกิดขึ้น 2 ตัวจะจับกันเองได้เป็นโมเลกุลที่แตกตัวได้ยากในสภาวะที่ทำปฏิกิริยาสำหรับกรณีของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ชนิดอื่น ๆ เช่น ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ พบว่าอนุมูลอิสระบิวทิลที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวครั้งแรกจะค่อนข้างเสถียร และมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่น้อย โดยอาจกล่าวได้ว่า ตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทที่แตกตัวโดยความร้อนอาจไม่ได้มีประสิทธิภาพใน

การทำหน้าที่กระตุ้นสารตั้งต้นได้ทั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพที่มีนั้นขึ้นอยู่กับความเสถียรของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [27-28]

2.5.2 ระบบรีดอกซ์ (Redox)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้ และรับอิเล็กตรอน ที่ประกอบด้วย 2 ครึ่งปฏิกิริยา (Half-Reaction) เกิดขึ้นพร้อมกันดังนี้ [29]

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน ซึ่งสารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกว่า เกิดออกซิเดชัน เช่น Zn เป็นสารที่ให้อิเล็กตรอน เกิดเป็น Zn^{2+} สารที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) แสดงดังสมการที่ 2.1

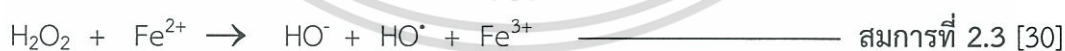


2) ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน ซึ่งสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า เกิดรีดักชัน เช่น Cu^{2+} เป็นสารที่รับอิเล็กตรอน เกิดเป็น Cu สารที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) แสดงดังสมการที่ 2.2



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน สามารถให้อนุมูลอิสระที่สามารถริเริ่มปฏิกิริยาได้ ซึ่งข้อดีของการริเริ่มด้วยระบบรีดอกซ์ คือ การผลิตอนุมูลอิสระที่สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิในช่วงที่กว้าง ทำให้สามารถที่จะเลือกอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิในการสลายตัวของตัวริเริ่ม โดยปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์จะประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ และ/หรืออนินทรีย์ บางระบบมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงกับตัวออกซิไดซ์ และตัวรีดิวซ์ ในขณะที่บางระบบเกิดเป็นสารประกอบระหว่างตัวรีดิวซ์กับตัวออกซิไดซ์ ซึ่งจะแตกตัวให้อนุมูลอิสระต่อไป ตามชนิดตัวริเริ่มแบบรีดอกซ์ ดังนี้ [31]

1) เปอร์ออกไซด์ที่ร่วมกับสารรีดิวซ์ เช่น ปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) กับ เฟอร์รัส อีออน (Ferrous Ion) แสดงดังสมการที่ 2.3



2) การรวมกันของสารรีดิวซ์อนินทรีย์ และสารออกซิไดซ์อินทรีย์ แสดงตัวอย่างดังสมการที่ 2.4



3) คู่รีดอกซ์อินทรีย์-อนินทรีย์ หรือรีดอกซ์คู่อื่น ๆ เช่น การออกซิเดชันของแอลกอฮอล์กับ Ce^{4+} แสดงดังสมการที่ 2.5

เอกสาร R-CH₂-OH + Ce⁴⁺ → Ce³⁺ + H⁺ + R-CH₂-OH[•] นั้น ไม่อนุญัตให้หน้า **สมการที่ 2.5 [30]** การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) มีระบบสารเริ่มต้นบางระบบที่สารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยากันเสมือนกับเป็นสารหนึ่งในคู่รีดอกซ์ เช่น ไทโอซัลเฟต (Thiosulfate) ร่วมกับอะคริลาไมด์ เป็นต้น

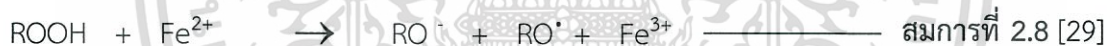
ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทนี้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ซึ่งสามารถแตกตัวได้เองที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ ไบซัลไฟต์ แอนไอออน (Bisulfite Anion) แสดงดังสมการที่ 2.6



โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการนำสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และสารโซเดียมไทโอซัลเฟตมาใช้เป็นสารก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และสารโซเดียมไทโอซัลเฟตพอสังเขปดังสมการที่ 2.7



ในกรณีที่ใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยใช้ตัวรีดิวซ์ เช่น Fe^{2+} ร่วมด้วย ปฏิกิริยาจะเกิดผ่านการถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก Fe^{2+} ไปยังสารประกอบเปอร์ออกไซด์ และทำให้สารประกอบดังกล่าวแตกออกที่พันธะเปอร์ออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระ สารประกอบไอออนลบ และ Fe^{3+} แสดงดังสมการที่ 2.8



มีข้อสังเกตว่า ตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ส่วนใหญ่จะสามารถละลายได้ในน้ำ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านวิธีแบบอิมัลชันได้ดี [29]

2.5.3 ระบบฉายแสง (Photochemical)

ในระบบฉายแสงจะเกิดปฏิกิริยาเคมีทางแสง (Photochemical Reaction) ที่สภาวะกระตุ้น (Excited State) โดยมีเพียงบางโมเลกุลเท่านั้นที่ได้รับพลังงาน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีทางแสงจะเกิดเฉพาะกับโมเลกุลที่ได้รับแสงแล้วจึงเกิดสารผลิตภัณฑ์ อะตอมหรือโมเลกุลที่ได้รับแสงในช่วง Ultraviolet (UV) หรือช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การคายพลังงานออกมาในรูปแสงฟลูออเรสเซนซ์ หรือ เปลี่ยนเป็นพลังงานภายในเพื่อเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น แสดงดังสมการที่ 2.9



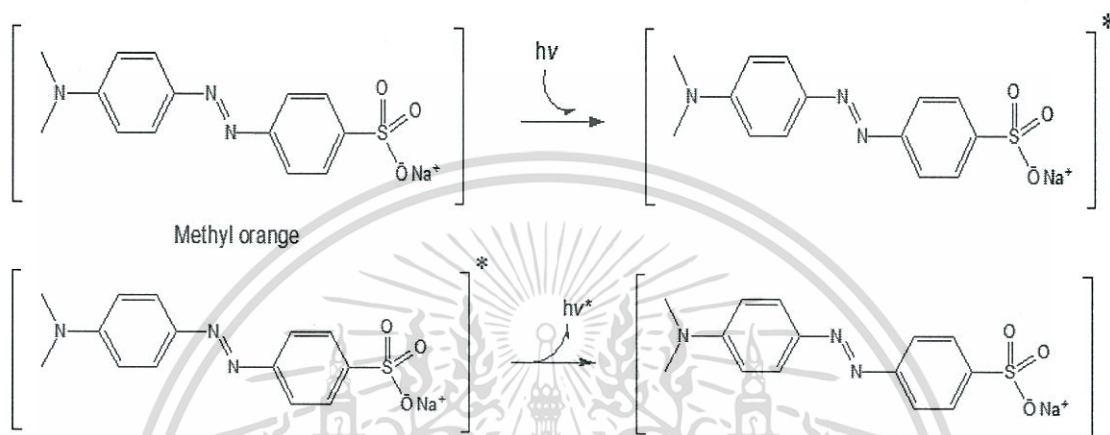
แสงที่ความยาวคลื่นช่วง : UV – VIS (200-800 nm)

เมื่อ M : อะตอมหรือโมเลกุลในสภาวะพื้น (Ground State)

M* : อะตอมหรือโมเลกุลในสภาวะกระตุ้น (Excited State)

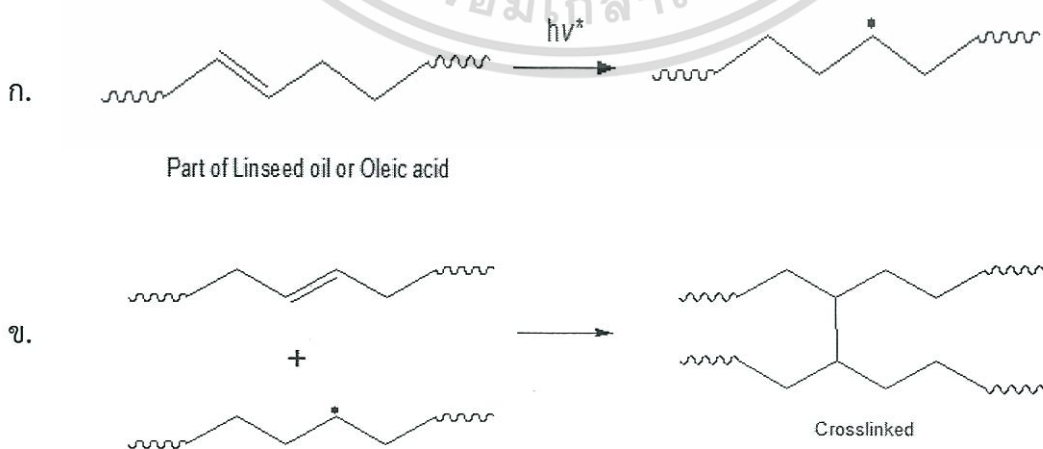
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทนี้ ได้แก่ เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) ซึ่งนิยมใช้เป็น Photosensitizer ในปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นซึ่งสามารถให้อนุมูลอิสระได้ โดยสารดังกล่าวเมื่อได้รับแสงจะถูกกระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลเปลี่ยนจากสถานะพื้น (Ground State) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited State) ซึ่งไม่เสถียรจึงคายพลังงานออกมาอยู่ในรูปพลังงานแสง และจะกลับคืนสู่สถานะพื้นในรูปของอนุมูลอิสระ โดยเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) สามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยงานวิจัยนี้ใช้เมทิลออเรนจ์ในการศึกษา



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) [32]

ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง เช่น การฉายแสงให้กับกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด โดยระหว่างขั้นตอนการฉายแสง อิเล็กตรอนในโมเลกุลของน้ำยาไวแสง (เมทิลออเรนจ์) ได้รับพลังงานจากภายนอก ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้น (Ground State) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited State) ซึ่งไม่เสถียร จึงคายพลังงานออกมาอยู่ในรูปพลังงานแสง โดยพลังงานจะไปกระตุ้นที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เกิดการแตกออกของพันธะไพเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่อื่น เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล



รูปที่ 2.12 การแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของน้ำมันลินสีด และกรดโอเลอิก [3]

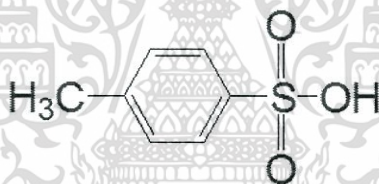
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้ คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์อาจจะสามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ในการใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านมอนอเมอร์บางชนิดที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น ไอโซพรีน (จุดเดือดประมาณ 30 องศาเซลเซียส) เป็นต้น [32]

2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.6.1 หน้าที่ และหลักการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เติมลงไปในปฏิกิริยาแล้วทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว หรือ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาดำเนินไปหรือไม่ก็ได้ แต่เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ตัวเร่งจะต้องมีปริมาณเท่าเดิม และมีสมบัติเหมือนเดิม การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาให้ต่ำลง ทำให้โมเลกุลมีพลังงานสูง หรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดได้เร็ว แต่ไม่ทำให้พลังงานของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้งานวิจัยนี้ได้แก่ *p*-Toluenesulfonic Acid (*p*-TSA) ซึ่งเป็นกรดแก่ชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง สามารถละลายได้ในน้ำ, แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด โดยโครงสร้างและสมบัติบางประการของ *p*-TSA แสดงดังรูปที่ 2.13 และตารางที่ 2.7 [33-34]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ *p*-TSA

ตารางที่ 2.7 สมบัติของ *p*-Toluenesulfonic Acid [33-34]

สูตรโมเลกุล	$C_7H_8O_3S$
น้ำหนักโมเลกุล	172.20 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดเดือด	116 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	Anhydrous 38 องศาเซลเซียส Monohydrate 103-106 องศาเซลเซียส
ค่าดัชนีหักเห	1.38325-1.3845

2.7 สารไวแสง (Photosensitizer)

เป็นสารชนิดหนึ่งที่สามารถทำปฏิกิริยากับแสงได้ โดยอะตอมหรือโมเลกุลของสารไวแสงได้รับแสงยูวี (Ultraviolet) หรือแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่งผลให้บริเวณที่โดนแสงแข็งตัว หรือ หายไปเมื่อโดนล้างในน้ำยาเคมี (Developer) การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานสารไวแสง เช่น เป็นสารผสมในกาวยาล็อกเพื่อให้กาวยาล็อกที่ฉายจากเครื่องถ่ายภาพ ล็อก เป็นต้น ตัวอย่างปฏิกิริยาของสารไวแสง เช่น Photopolymerization, Photocrosslinking และ Photodegradation เป็นต้น

ปัจจุบันสารไวแสงที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปมีหลายประเภทดังนี้

1) สารไวแสงประเภทไดโครเมต (Dichromate) สารไวแสงประเภทนี้มีส่วนประกอบของธาตุ โลหะหนัก (Heavy Metal) คือ โครเมียม (Chromium) ซึ่งเป็นสารพิษต่อร่างกาย ทำให้ในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เป็นต้น ได้มีคำสั่งห้ามใช้โดยเด็ดขาด เนื่องจากมีความเป็นพิษ ต่อร่างกาย และสร้างมลภาวะทำให้น้ำเป็นพิษอีกด้วย แต่ในประเทศไทยมีการใช้สารไวแสงประเภทนี้ อยู่ เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถรับคลื่นแสงที่ใช้ในการถ่ายภาพไม่นานมากนัก งานพิมพ์สกรีนที่ได้ จึงมีคุณภาพดีพอสมควร

2) สารไวแสงประเภทไดอาโซ (Diazo) สารไวแสงประเภทนี้มีลักษณะเป็นผงสีเขียวแก่ มีคุณภาพดีกว่าสารไวแสงประเภทไดโครเมต นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีความปลอดภัย ย่อยสลายได้ตาม ธรรมชาติ (Biodegradable) จึงนิยมใช้กันมากในต่างประเทศ การเก็บรักษาสารไวแสงทั้งสองชนิดนี้ ควรเก็บไว้ในสถานที่ปราศจากความร้อน อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเก็บในที่มืดจะสามารถเก็บได้นานถึง 1 ปี เมื่อสารไวแสง ชนิดนี้หมดอายุ สารจะเปลี่ยนสีเป็นสีดำ

3) สารไวแสงประเภทเอสบีคิว (SBC) สารไวแสงประเภทนี้เป็นสารจำพวก Styrylhyridonium หรือ SBC มีราคาแพงแต่ในปัจจุบันได้มีผู้นิยมใช้กันมากขึ้นจึงทำให้สามารถปรับราคา ลดลงได้ สารไวแสงชนิดนี้สามารถรับแสงได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร ซึ่งรับแสงได้ เร็วกว่าสารไวแสงประเภทไดอาโซถึง 5 เท่า การเก็บรักษาเหมือนไดอาโซโดยมีอายุการใช้งาน ประมาณ 2 ปี

4) สารไวแสงเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) เป็นสารเคมีที่มีลักษณะเป็นผงสีส้มเหลือง ใช้ เป็นตัวบ่งชี้พีเอชในการไทเทรต เนื่องจากให้สีที่ชัดเจน เมทิลออเรนจ์มีค่า pH 3.47 ในน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สูตรเคมี คือ $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ [35]

2.8 ภาวะการเปียก (Wetting)

ภาวะการเปียก (Wetting) คือ ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิว ของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล โดยระดับขั้นของภาวะการเปียกขึ้นกับความสมดุล ระหว่างแอดฮีชัน (Adhesion) และโคฮีชัน (Cohesion) ซึ่งรูปร่างของหยดของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง จะมีรูปร่างเป็นรูปทรงหยดน้ำค้าง โดยแรงแอดฮีชันระหว่างของเหลวและของแข็ง จะทำให้ของเหลว กระจายตัวไปทั่วพื้นผิว ส่วนแรงโคฮีชันภายในของเหลวจะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลม และ ไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง มุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับ ระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงแอดฮีชันกับแรง โคฮีชัน ซึ่งสามารถบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวในพื้นที่ผิวเรียบของของแข็ง โดยมุม สัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว



รูปที่ 2.14 มุมสัมผัส (Contact Angle) [36]

มุมสัมผัสน้อยกว่า 90° หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง

มุมสัมผัสมากกว่า 90° หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของเหลวเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง

สำหรับกรณีถ้าของเหลวนั้นเป็นน้ำ พื้นผิวที่มีการกระจายตัวได้ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophobic พื้นผิวที่มีการกระจายตัวไม่ดียิ่งยวด (Superhydrophobic) จะให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมาก ๆ ซึ่งกรณีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า "Lotus Effect" หรือ "ปรากฏการณ์ใบบัว" [37]

ตารางที่ 2.8 ค่ามุมสัมผัส (Contact Angle) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด [38]

พอลิเมอร์	Water Contact Angle ($^\circ$)
Poly(vinyl alcohol) (PVA)	51
Polypropylene (PP)	102.1
Polyethylene (PE)	96
Polyethylene Terephthalate (PET)	72.5
Polystyrene (PS)	87.4
Poly(vinyl acetate) (PVAc)	60.6

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กณิกนันท์ จันทรประดิษฐ์ และคณะ [3] ศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยนำเนื้อสารสูตรต่าง ๆ ที่เตรียมได้มาผสมน้ำยาไวแสง แล้วนำมาขึ้นรูปฟิล์มบนกรอบสกรีน ทำการฉายแสงเพื่อเชื่อมโยงฟิล์มซึ่งมี 3 ระบบ คือ ระบบที่ไม่ฉายแสง, ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่มีน้ำมันละหุ่งเป็นองค์ประกอบ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำพบว่าฟิล์มทุกสูตรมีค่าการซึมผ่านไอน้ำที่ต่ำ รวมถึงปริมาณน้ำมันละหุ่ง และระบบเชื่อมโยงไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำ ซึ่งฟิล์มที่มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดีที่สุด คือ ฟิล์มสูตรที่มีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 97 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำมันละหุ่ง 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. Riyajan และคณะ [39] ศึกษาการเชื่อมโยงทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้สารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต พบว่าโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เชื่อมโยงด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ได้มีการเชื่อมโยง ซึ่งสามารถยืนยันได้จากการใช้เทคนิค FT-IR ในโหมด ATR และ Solid State NMR เมื่อนำมาทดสอบการบวมตัว พบว่าอัตราการบวมตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต นอกจากนี้เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เชื่อมโยงด้วยสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น โดยสามารถยืนยันได้จากการใช้เทคนิค TGA

A. Jianprasert และคณะ [40] ศึกษาการเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันหัง โดยวิธีการ Coating ซึ่งทำการศึกษาค่าผลของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ Thermal Catalytic System (Potassium persulfate) และ Redox Catalytic System (Potassium persulfate, Sodium thiosulfate) ด้วยการให้ความร้อนในการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 25, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าในระบบ Redox Catalytic System สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าระบบ Thermal Catalytic System จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเวลาในการเชื่อมโยงที่เท่ากัน และทำให้มีสมบัติในการต้านทานน้ำที่ดีขึ้น เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหังมี Conjugate Double Bond จึงทำให้สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ชมพูนุช ฉันทะจรัสศิลป์ และคณะ [41] ศึกษาและพัฒนาการอัด โดยมีองค์ประกอบหลักของเนื้อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซิเตตที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของกาวอัด โดยนำเนื้อกาวที่เตรียมได้มาผสมน้ำยาไวแสง แล้วปาดลงบนแม่พิมพ์สกรีน ทำการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นที่เวลาต่าง ๆ และนำแม่พิมพ์ไปล้างด้วยน้ำจะปรากฏภาพถ่ายออกมา เมื่อนำมาทดสอบความคงทนเบื้องต้นและความคงทนในสภาวะใช้งาน พบว่ากาวอัดสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ กาวอัดที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเนื้อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก 5 pph ต่อ พอลิไวนิลอะซิเตต เท่ากับ 4:6 และทำการปรับปรุงสมบัติของกาวอัดด้วยน้ำมันลินสีด 4 pph โดยใช้เวลาในการฉายแสงอยู่ในช่วงเวลา 2.5-3.5 นาที พบว่ากาวอัดมีสมบัติในการต้านทานน้ำที่ดีขึ้น และสามารถเก็บรายละเอียดของลวดลาย และมีความทนทานต่อแรงเสียดสีจากยางปาดได้ดีเทียบเท่ากับกาวอัดทางการค้าที่มีคุณภาพสูง

C. Birck และคณะ [42] ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ทำการเชื่อมโยงโดยกรดซิตริกในอัตราส่วนต่าง ๆ และเพิ่มสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเบตาไฮโคลเดกซ์ทริน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยการเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการ Casting และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง รวมถึงเพิ่มเวลาการเชื่อมโยงจาก 0 นาที จนถึง 960 นาที และนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปทดสอบ โดยจากการทดลองพบว่าฟิล์มที่มีปริมาณกรดซิตริก 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความเปราะที่มาก เมื่อเทียบกับฟิล์มที่มีกรดซิตริก 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความใสและเหนียว และที่สภาวะก่อนการทดสอบสมบัติโดยการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะการจัดเก็บที่ความชื้น 58 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงพบว่ามีปริมาณของไฮดรอกซีโพรพิลเบตาไฮโคลเดกซ์ทรินนั้นไม่มีอิทธิพลในการต้านเชื้อแบคทีเรีย และไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดโอเลอิก:กรดลิโนเลอิกเป็น 90:5:5 ตามลำดับ พบว่าความต้านทานน้ำสำหรับไม่มีค่าเพิ่มขึ้น รวมถึงค่าความแข็งแรงเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 12.52 MPa เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ระหว่าง Carboxylic Acid และหมู่ Hydroxyl นอกจากนี้ยังมีการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่ตำแหน่งพันธะคู่ในกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก

ภคพล ลัคนาพรวิศิษฐ์ [46] ศึกษาการนำน้ำมันลินสีด และน้ำมันทัง มาปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติต้านทานน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเตรียมกาวไม้ที่ปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์ สำหรับงานพาร์ทิเคิลบอร์ด โดยใช้ปริมาณของน้ำมันลินสีด และน้ำมันทังในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการใช้น้ำมันทังช่วยให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้น้ำมันลินสีด เนื่องจากน้ำมันทังมีพันธะคู่เป็นระบบคอนจูเกต ขณะที่น้ำมันลินสีดมีพันธะคู่ที่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต โดยพันธะคู่ระบบคอนจูเกตจะมีอัตราในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าพันธะคู่ที่ไม่เป็นระบบคอนจูเกต เป็นเหตุให้น้ำมันทังมีความแข็งแรงมากกว่าน้ำมันลินสีด จากการทดสอบการหาค่าการบวมตัวของฟิล์มกาว โดยการนำฟิล์มกาวไปแช่น้ำ และวัดค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของฟิล์มที่เวลาในการแช่น้ำเป็นเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มกาวเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของกาวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีสมบัติต้านทานน้ำ ส่งผลให้ค่าการบวมตัวของฟิล์มกาวในน้ำลดลง

รักษุศดา สวรรค์ดอน และคณะ [47] ศึกษาการเตรียมฟิล์มกาวอัดที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซิเตต โดยปรับปรุงโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เพื่อเพิ่มสมบัติของฟิล์มกาวอัดในด้านต่าง ๆ ให้ดีขึ้น ได้แก่ ด้านการยึดติด ความคมชัด ความคงทน และสมบัติการต้านทานน้ำสำหรับงานพิมพ์ที่ใช้หมึกพิมพ์ใช้น้ำ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้สารดูดซับออกซิเจนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3), โซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) และไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) เพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น โดยเตรียมแผ่นฟิล์มจากการผสมกาวอัดกับสารไวแสงแล้วปาดลงแผ่นใส จากนั้นนำฟิล์มไปทำแม่พิมพ์สกรีนแล้วนำมาตรวจสอบความคมชัดของลวดลายหลังการถ่ายแบบ และทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มกาวอัด จากการทดลอง พบว่าฟิล์มกาวอัดที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก 5 pph :พอลิไวนิลอะซิเตต เท่ากับ 4:6 ที่ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มกาวอัดด้วยน้ำมันลินสีด 4 pph ผสมกับสารดูดซับออกซิเจนโซเดียมซัลไฟต์ และโซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้น 500 ppm และใช้เวลาถ่ายแบบด้วยแสง 2.5 นาที สามารถเก็บรายละเอียดของลวดลายได้คมชัด, ชะล้างลวดลายได้ง่าย และเนื้อของฟิล์มกาวอัดมีความแข็งแรงสามารถทนแรงปาดของยางได้ดี เนื่องจากสูตรฟิล์มกาวอัดมีส่วนผสมของน้ำมันลินสีด และกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบซึ่งมีโครงสร้างของพันธะคู่ สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้เมื่อถ่ายแบบด้วยแสง รวมถึงสารดูดซับออกซิเจนยังช่วยยืดอายุการใช้งานของฟิล์มกาวอัดได้อีกด้วย

นาถลดา มหาเรือนลาภ และคณะ [48] ศึกษาการเตรียมฟิล์มกาวอัดสำหรับงานพิมพ์สกรีน โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิกผสมกับพอลิไวนิลอะซิเตตในอัตราส่วน 4:6 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำมันลินสีดกับน้ำมันละหุ่งในอัตราส่วน 4:0, 3:1 และ 2:2 โดยน้ำหนัก รวมถึงใส่สารดูดซับออกซิเจน ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) และโซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ในปริมาณ 1000 ppm เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของฟิล์มกาวอัด และยืดอายุการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สารไวแสงชนิดไดอาโซ (Diazo) โดยฉายแสงช่วงคลื่นที่ตามองเห็นเป็นเวลา 5 นาที และช่วงยูวีเป็นเวลา 3.30 นาที จากการทดลอง พบว่าสูตรฟิล์มกาวอัดจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกรดโอเลอิก และพอลิไวนิลอะซิเตดในอัตราส่วน 4:6 ปรับปรุงสมบัติการอัดด้วยน้ำมันลินสีดกับน้ำมันละหุ่งในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก และโซเดียมเมทาไบซัลไฟต์ในปริมาณ 1000 ppm พบว่ามีสมบัติการใช้งานใกล้เคียงกับฟิล์มการอัดเกรดการค้า แม้เก็บไว้ 45 วัน เนื่องจากมีองค์ประกอบของน้ำมันละหุ่ง ซึ่งเป็นน้ำมันประเภทไม่แห้งตัวเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ จึงสามารถเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ฟิล์มการอัดในขณะจัดเก็บได้ รวมถึงระยะเวลาในการฉายแสงไม่นานเกินไป เนื่องจากมีน้ำมันลินสีดที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา อัตราส่วนน้ำมันลินสีดกับน้ำมันละหุ่งที่ 3:1 โดยน้ำหนัก จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของภคินันท์ จันทร์ประดิษฐ์ และคณะ [3] โดยนำมาปรับปรุงโครงสร้างร่วมกับน้ำมันลินสีด จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [41] และทำการเชื่อมโยงฟิล์มด้วยระบบการฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบการฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นร่วมกับระบบรีดอกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยปรับจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [46], [47] และ [48] จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance ศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รวมถึงศึกษาสมบัติทางความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting Point Temperature, T_m) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม, ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, สมบัติเชิงกล, มุมสัมผัส, การดูดความชื้น, การซึมผ่านไอน้ำ และศึกษาผลการควบคุมสถานะของฟิล์มก่อนนำฟิล์มมาทดสอบ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) : เกรด JP-27 บริษัท ไรส์ซิ่ง ซัน อินเตอร์เนชั่นแนล เทรดดิ้ง จำกัด

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	JP-27	หน่วย
มวลโมเลกุล	120,000	กรัมต่อโมล
ความหนืด	48-56	mPa.s
ไฮโดรไลซิส	85.0-87.0	โมลเปอร์เซ็นต์
ปริมาณการระเหยสูงสุด	5	เปอร์เซ็นต์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5-7	-
ปริมาณเถ้าสูงสุด	0.5	เปอร์เซ็นต์

2. กรดโอเลอิก (Oleic Acid) : เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTS จำกัด
3. กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (p-TSA) : เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENTS จำกัด
4. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) : บริษัท CARLO ERBA REAGENTS จำกัด
5. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) : เกรดวิเคราะห์ บริษัท Quality Reagent Chemical จำกัด
6. น้ำมันลินสีด : บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
7. น้ำยาไวแสง Methyl Orange : เกรดการค้า บริษัท TWINS จำกัด

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น SI-234 บริษัท Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co., Ltd
3. เครื่องให้ความร้อน (Heater) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG H 57 บริษัท Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co., Ltd
4. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ยี่ห้อ Peacock รุ่น G-7C บริษัท Ozaki MFG Co., Ltd
5. เครื่องทดสอบมุมสัมผัส : รุ่น Contact Angle System OCA, Dataphysics Co., Ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) รุ่น LR-5K : LLOYD Instrument Co., Ltd
7. เครื่องทดสอบ Fourier Transform Infrared Spectrometer รุ่น FTIR Spectrum GX
8. เครื่องทดสอบ Differential Scanning Calorimeter รุ่น DSC 204 F1 Phoenix®, NETZSCH Co., Ltd
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น EVO®MA10
10. โต๊ะปรับระดับ
11. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermostat)
12. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
13. อุปกรณ์ฉายแสงระบบช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (รูปที่ 3.1)
14. กรอบสกรีนขนาด $10.8 \times 17 \text{ cm}^2$ และมีความหนาของขอบสกรีนที่ 620 ไมโครเมตร (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ฉายแสงระบบช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น



รูปที่ 3.2 กรอบสกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% W/V)

1. ชั่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 60 กรัม จากนั้นค่อย ๆ ใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 540 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
2. เมื่อละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หมดแล้ว ให้เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรสุทธิ 600 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ จนสารละลายเย็นตัว และไม่มีฟองอากาศ
4. ได้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดใส



รูปที่ 3.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.4 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตัดแปร

1. นำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากข้อ 3.3 ปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบที่ 700-800 รอบต่อนาที พร้อมกับให้ความร้อน โดยตั้งอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส
2. ระหว่างที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นใส่กรดโอเลอิก 1, 3 และ 5 ส่วนในร้อยส่วน (pph) ของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้สัญลักษณ์เป็น P1*, P3* และ P5* ตามลำดับ
3. ใส่กรดพาราโทลูอินซิลโฟนิค 1 ส่วนในร้อยส่วน (pph) ของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พร้อมปั่นกวน
4. เมื่อค่าอุณหภูมิที่เครื่องวัดอุณหภูมิถึง 90 องศาเซลเซียส ให้ปั่นสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ควรห่อด้วยกระดาษฟอยล์ และพันด้วยผ้าเพื่อป้องกันการระเหยของสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดัดแปรด้วยกรดโอเลอิก

3.5 การเตรียมสูตรสำหรับขึ้นฟิล์ม

1. ชั่งส่วนผสมสูตรฟิล์มตามสัดส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2
2. ผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดให้เข้ากัน โดยปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 700-800 รอบต่อนาที
3. จากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดัดแปร และโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดัดแปร ตามตารางที่ 3.3 ลงไปในสารผสม จากนั้นปั่นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ตั้งสารผสมทิ้งไว้รอจนฟองหาย จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยเติมสารละลาย Methyl Orange (M) ในแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.2 และ 3.3 จากนั้นค่อย ๆ กวนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว (ระวังอย่าคนแรงเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ) และนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

ตารางที่ 3.2 สูตรฟิล์มที่ศึกษา

สูตร ที่	ชื่อสูตร	P*(g)	L (g)	ระบบเชื่อมโยง	M (v/w)	เวลาฉาย แสง (นาที)
1	P1*97L3	97	3	None	-	-
2	P3*97L3	97	3		-	-
3	P1*97L3(10)	97	3	Direct	-	10
4	P1*97L3(20)	97	3	Photochemical	-	20
5	P1*97L3M60(10)	97	3	Photochemical with Photosensitizer	1:60	10
6	P1*97L3M60(20)	97	3		1:60	20
7	P1*97L3M100(10)	97	3		1:100	10
8	P1*97L3M100(20)	97	3		1:100	20
9	P1*97L3I(10)	97	3	Direct Photochemical with Initiator	-	10
10	P1*97L3IM30(10)	97	3	Photochemical with Initiator and Photosensitizer	1:30	10
11	P1*97L3IM30(20)	97	3		1:30	20
12	P1*97L3IM60(10)	97	3		1:60	10
13	P1*97L3IM60(20)	97	3		1:60	20
14	P1*97L3IM100(10)	97	3		1:100	10
15	P1*97L3IM100(20)	97	3		1:100	20
16	P1*97L3R(10)	97	3		Direct Photochemical with Redox	-
17	P1*97L3RM60(10)	97	3	Photochemical with Redox and Photosensitizer	1:60	10
18	P1*97L3RM60(20)	97	3		1:60	20
19	P1*99L1RM100(10)	99	1		1:100	10
20	P1*99L1RM100(20)	99	1		1:100	20
21	P1*97L3RM100(10)	97	3		1:100	10
22	P1*97L3RM100(20)	97	3		1:100	20
23	P1*95L5RM100(10)	95	5		1:100	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สูตรฟิล์มที่ศึกษา (ต่อ)

สูตร ที่	ชื่อสูตร	P* (g)	L (g)	ระบบเชื่อมโยง	M (v/w)	เวลาฉาย แสง (นาที)
24	P1*95L5RM100(20)	95	5	Photochemical with Redox and Photosensitizer	1:100	20
25	P3*97L3RM60(10)	97	3		1:60	10
26	P3*97L3RM60(20)	97	3		1:60	20
27	P3*97L3RM100(10)	97	3		1:100	10
28	P3*97L3RM100(20)	97	3		1:100	20
29	P5*97L3RM60(10)	97	3		1:60	10
30	P5*97L3RM60(20)	97	3		1:60	20
31	P5*97L3RM100(10)	97	3		1:100	10
32	P5*97L3RM100(20)	97	3		1:100	20

หมายเหตุ :

P1* = พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 1 pph

P3* = พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 3 pph

P5* = พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 5 pph

L = น้ำมันลินสีด (Linseed Oil)

I = Initiator ($K_2S_2O_8$)R = Redox Catalytic System ($K_2S_2O_8$, $Na_2S_2O_3$)

M = Photosensitizer (Methyl Orange)

() = เวลาในการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น

ตารางที่ 3.3 ระบบเชื่อมโยง

ระบบเชื่อมโยง	$K_2S_2O_8$	$Na_2S_2O_3$	M	ฉายแสง
None	-	-	-	-
Direct Photochemical	-	-	-	/
Photochemical with Photosensitizer	-	-	/	/
Direct Photochemical with Initiator	/	-	-	/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ระบบเชื่อมโยง (ต่อ)

ระบบเชื่อมโยง	K ₂ S ₂ O ₈	Na ₂ S ₂ O ₃	M	ฉายแสง
Photochemical with Initiator and Photosensitizer	/	-	/	/
Direct Photochemical with Redox	/	/	-	/
Photochemical with Redox and Photosensitizer	/	/	/	/

3.6 การขึ้นรูปฟิล์ม

- เตรียมกรอบสกรีน โดยวางไว้บนขาตั้งปรับระดับ
- นำสารละลายที่เตรียมไว้ มาขึ้นรูปฟิล์มบนกรอบสกรีน โดยใช้รางปาด ปาดฟิล์มจำนวน 1 รอบ แล้วตั้งทิ้งไว้ 10-15 นาที จากนั้นใช้ลมเย็นเป่าฟิล์มจนแห้ง
- เมื่อฟิล์มแห้งจะได้ความหนาของฟิล์มอยู่ที่ 35±5 ไมโครเมตร แล้วนำไปฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ปรับเปลี่ยนเวลาเชื่อมโยงในแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.2 จากนั้นนำแผ่นฟิล์มเก็บในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ
- แผ่นฟิล์มสูตรที่ 28 มีการจัดเก็บก่อนการทดสอบที่ 3 สภาวะ ได้แก่
 - จัดเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
 - ทำการอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
 - วางแผ่นฟิล์มไว้ในสภาวะปกติ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
 จากนั้นนำฟิล์มไปทำการทดสอบในข้อที่ 3.7.1-3.7.3
- แผ่นฟิล์มสูตรที่ 27 และ 28 ที่จัดเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำมาทำความสะอาด 2 วิธี ได้แก่
 - นำแผ่นฟิล์มมาเช็ดด้วยอะซิโตน
 - นำแผ่นฟิล์มมาจุ่มลงในอะซิโตนเป็นเวลา 1 นาที
 จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ทำความสะอาดด้วย 2 วิธีข้างต้น และแผ่นฟิล์มที่เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ โดยไม่ต้องทำความสะอาด มาทดสอบในข้อที่ 3.7.1-3.7.3

3.7 การทดสอบ (Testing)

- 3.7.1 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง (% Water Content, % WC)
 - นำฟิล์มที่มีความหนา 35±5 ไมโครเมตร มาตัดเป็นชิ้นงานตัวอย่างขนาด 2x2 cm² จากนั้นชั่งน้ำหนักของตะแกรงลวด (Sieve) และตะแกรงลวดที่ห่อชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำมาแช่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง นำตะแกรงลวดมาซับน้ำจนแห้ง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกผลการทดลอง
3. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น} = \frac{W_w - W_{sd}}{W_{sd}} \times 100$$

โดยที่ W_{sd} = น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำกลั่น
 W_w = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น

3.7.2 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ (% Solid Remain, % SR)

นำฟิล์มหลังจากการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากข้อ 3.7.1 มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำฟิล์มแห้งที่ได้จากการอบมาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่จากสูตร

$$\text{ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่} = \frac{W_{fd}}{W_{sd}} \times 100$$

โดยที่ W_{sd} = น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำกลั่น
 W_{fd} = น้ำหนักฟิล์มหลังจากอบแห้ง

3.7.3 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (% Swelling, % S)

เป็นการทดสอบเพื่อดูปริมาณน้ำที่มีอยู่ในฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่นเมื่อเทียบกับฟิล์มหลังอบแห้งที่เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มสุดท้าย} = \frac{W_w - W_{fd}}{W_{fd}} \times 100$$

โดยที่ W_w = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น (24 ชั่วโมง)
 W_{fd} = น้ำหนักฟิล์มหลังจากอบแห้ง

3.7.4 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture Uptake)

เตรียมชิ้นงานฟิล์มขนาดกว้าง 2x2 cm² เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และนำไปชั่งน้ำหนักเป็น m_0 จากนั้นนำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมตัวโซเดียมคลอไรด์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักเป็น m_t

คำนวณค่าการดูดความชื้นได้จากสมการ

$$\text{Moisture uptake} = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ m_0 = น้ำหนักหลังเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ (g)
 m_t = น้ำหนักหลังเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์ (g)

3.7.5 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP)

1. นำแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในเดซิเคเตอร์
2. นำฟิล์มที่ต้องการทดสอบไปคลุมด้านบนปากแก้วรีซีมียังน้อย 3.2 เซนติเมตร โดยภายในแก้วบรรจุด้วยแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม (ความชื้นสัมพัทธ์ 5±5 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นเก็บในเดซิเคเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์)
3. นำฟิล์มมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน แล้วบันทึกผล และทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งสำหรับฟิล์มแต่ละสูตร
4. นำผลการทดสอบมาพลอตกราฟเป็นฟังก์ชันของเวลา และหาความชันจากกราฟ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$WVTR = \frac{G}{tA}$$

โดยที่ G = น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (g)
 t = เวลา (day)
 G/t = ความชันของกราฟ (g/day)
 A = พื้นที่ปากแก้ว (m²)
 $WVTR$ = อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/day*m²)

5. นำค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำไปแทนค่า เพื่อคำนวณหาค่าการซึมผ่านไอน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Water vapor permeability} = \frac{WVTR}{S(R_1 - R_2)} \times L$$

โดย $WVTR$ = อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/day*m²)
 S = ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิในเดซิเคเตอร์ (Pa)
 R_1 = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในโถที่ 75±5 เปอร์เซ็นต์
 R_2 = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในขวดที่ 5±5 เปอร์เซ็นต์
 L = ความหนาเฉลี่ยแผ่นฟิล์ม (m)

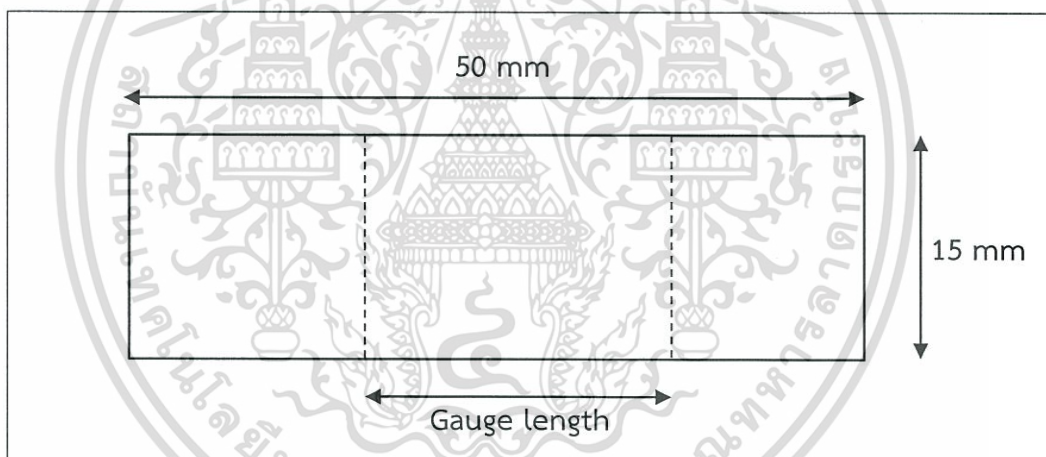
3.7.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Initial Contact Angle)

นำแผ่นฟิล์มมาทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกลั่นบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยหยดน้ำกลั่นปริมาณ 2 μL บนที่กค่ามุมสัมผัส เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที วัดมุมที่หยดน้ำกลั่นกระทำกับผิววัสดุด้วยเครื่อง Contact Angle System OCV ตามมาตรฐาน ASTM D 5946 [49]

3.7.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เก็บในเดซิเคเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ และ 75 \pm 5 เปอร์เซ็นต์) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D-882 [50] ที่มีสภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

ลักษณะชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด	:	50x15 mm ²
อัตราเร็วในการดึง	:	50 mm/min
Load Cell	:	100 N
ความยาวระยะจับชิ้นงาน (Gauge length)	:	30 mm
จำนวนชิ้นงาน	:	5-9 ชิ้นงาน



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 \pm 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเตรียมได้โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ 34.9 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ และนำฟิล์มที่เตรียมได้มาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำไปทดสอบ

ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ค่ามอดุลัสของยัง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile strength)} = \frac{F}{A} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

$$\text{มอดุลัสของยัง (Young's modulus)} = \frac{\text{ความเค้น (Stress)}}{\text{ความเครียด (Strain)}} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุด (% Elongation at Maximum Load) = $\frac{L-L_0}{L_0} \times 100$ สมการที่ 3.3

เมื่อ F = แรงดึงยืดขึ้นงาน ณ จุดขาด
 A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)
 L = ระยะห่างระหว่างหัวจับขึ้นงานหลังทำการดึงขึ้นงานตัวอย่าง ณ จุดที่รับแรง
 ได้สูงสุด
 L_0 = ระยะห่างระหว่างหัวจับขึ้นงานก่อนดึงขึ้นงาน (Gauge length) 30 mm

3.7.8 การวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

นำฟิล์มหลังเก็บในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance ที่เลขคลื่น 4000 ถึง 400 cm^{-1}

3.7.9 การวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยนำชิ้นงานตัวอย่างฟิล์ม หลังจากเก็บในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง มาทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter ที่อัตราการให้ความร้อน และอัตราการให้ความเย็นเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ -50 ถึง 300 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

3.7.10 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เตรียมชิ้นงานเป็นฟิล์มสำหรับส่งทดสอบ โดยทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิก โดยการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และน้ำมันลินสีด ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณกรดโอเลอิก, ปริมาณน้ำมันลินสีด และผลของระบบเชื่อมโยง คือ การเชื่อมโยงระบบฉายแสงด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และการเชื่อมโยงโดยระบบฉายแสง ร่วมกับระบบปรีด็อกซ์โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยศึกษาปริมาณสารไวแสงที่อัตราส่วน 1:30, 1:60 และ 1:100 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก และเวลาในการฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นเป็นเวลา 10 และ 20 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance ศึกษาสัญญาณวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รวมถึงศึกษาสมบัติทางความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (Melting Point Temperature, T_m) และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม, ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, สมบัติเชิงกล, มุมสัมผัส, การดูดความชื้น, การซึมผ่านไอน้ำ และศึกษาผลของการควบคุมสภาวะก่อนนำฟิล์มมาทำการทดสอบ เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานน้ำของฟิล์ม โดยแสดงหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม

ทำการผสมสูตรฟิล์มตามสูตรที่ศึกษาในตารางที่ 3.2 และทำการขึ้นรูปฟิล์มบนกรอบสกรีน ดังรูปที่ 3.2 โดยฟิล์มที่ได้ในทุกสูตรมีการควบคุมความหนาที่ 35 ± 5 ไมโครเมตร ซึ่งลักษณะทางกายภาพของฟิล์มในแต่ละสูตรมีความใสแตกต่างกันแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังนี้

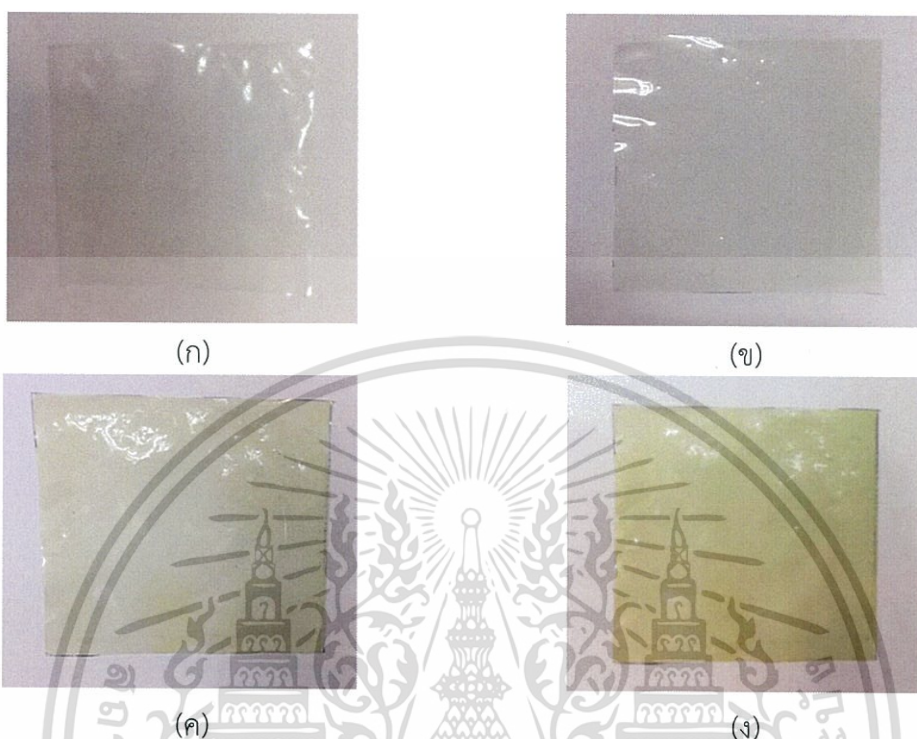
- กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่น และโปร่งแสง ได้แก่ สูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3I(10) และ P1*97L3R(10)

- กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่นอมเหลืองเล็กน้อย เนื่องจากการเติมสารไวแสง (เมทิล-ออเรนจ์) ในอัตราส่วนปริมาตรต่อน้ำหนัก 1:100 ลงไปในสูตรฟิล์ม และมีความโปร่งแสง ได้แก่ P1*97L3M100(10), P1*97L3M100(20), P1*97L3IM100(10), P1*97L3IM100(20), P1*99L1RM100(10), P1*99L1RM100(20), P1*97L3RM100(10), P1*97L3RM100(20), P1*95L5RM100(10), P1*95L5RM100(20), P3*97L3RM100(10), P3*97L3RM100(20), P5*97L3RM100(10) และ P5*97L3RM100(20)

- กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่นอมเหลือง เนื่องจากการเติมสารไวแสง ในอัตราส่วนปริมาตรต่อน้ำหนัก 1:60 ลงไปในสูตรฟิล์ม และมีความโปร่งแสง ได้แก่ P1*97L3M60(10), P1*97L3M60(20), P1*97L3IM60(10), P1*97L3IM60(20), P1*97L3RM60(10), P1*97L3RM60(20), P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20), P5*97L3RM60(10) และ P5*97L3RM60(10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีสีเข้มขุ่นอมเหลือง เนื่องจากการเติมสารไวแสงในอัตราส่วน ปริมาตรต่อน้ำหนัก 1:30 ลงในสูตรฟิล์ม และมีความโปร่งแสง ได้แก่ P1*97L3IM30(10) และ P1*97L3IM30(20)



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม (ก) P3*97L3 (ข) P3*97L3RM100(20) (ค) P3*97L3RM60(20) และ (ง) P1*97L3IM30(20)

4.2 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของฟิล์ม

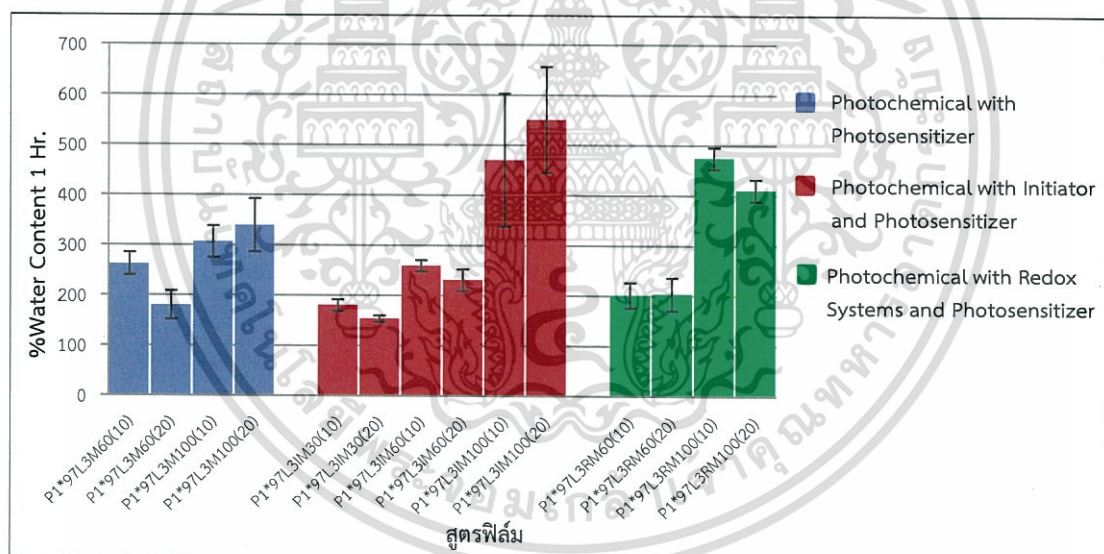
สูตรฟิล์มที่ศึกษาปรับปรุงและพัฒนาจากงานวิจัย [3] โดยเริ่มศึกษาจากสูตรฟิล์มที่มีอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 1 pph ต่อน้ำมันลินสีด 97:3 โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ผลของระบบเชื่อมโยง ผลของปริมาณน้ำมันลินสีด และผลของปริมาณกรดโอเลอิก ซึ่งในแต่ละปัจจัยได้ทำการทดสอบหาปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์ม เริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง (% Water Content, % WC), การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ (% Solid remain, % SR) และการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (% Swelling, % S) ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลของระบบเชื่อมโยง

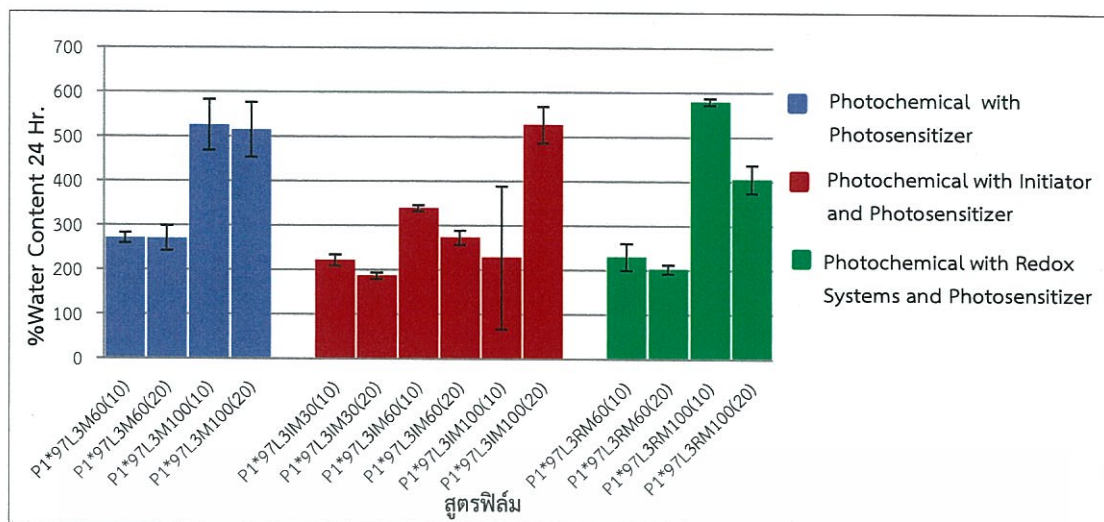
การทดลองในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของการใช้ระบบเชื่อมโยงแบบต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.3 โดยขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มและตรวจสอบสมบัติดังนี้

4.2.1.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น

จากการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น โดยนำฟิล์มไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง และวัดค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น พบว่าฟิล์มในสูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่สามารถคงรูปเป็นฟิล์มอยู่ได้ และฟิล์มละลายน้ำทันทีเมื่อทำการทำสอบ เนื่องจากฟิล์มในสูตร P1*97L3, P3*97L3 ไม่มีระบบเชื่อมโยง และฟิล์มสูตร P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่มีการใช้สารไวแสง จึงทำให้ไม่มีพลังงานเพียงพอที่ไปกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ตำแหน่งอัลไลคิก (Allylic) หรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงค่อนข้างต่ำ ฟิล์มจึงไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ แม้ในบางสูตรฟิล์มมีการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นโดยตรง แต่พลังงานที่เกิดขึ้นอาจไม่เพียงพอที่ไปกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ฟิล์มสูตรที่ใช้การเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใช้สารไวแสง (Photochemical with Redox Systems and Photosensitizer), ระบบฉายแสงที่มีการใส่สารไวแสง (Photochemical with Photosensitizer) และระบบฉายแสงที่มีการใส่ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสารไวแสง (Photochemical with Initiator and Photosensitizer) เนื้อฟิล์มสามารถคงสภาพอยู่ได้ โดยข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



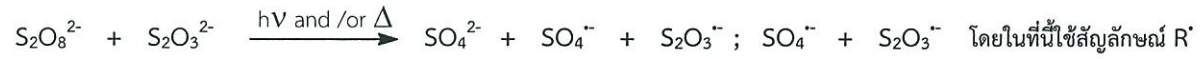
รูปที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง

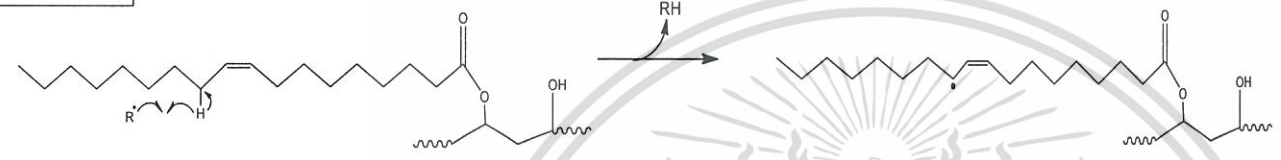
จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 สูตรฟิล์มมีค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นในช่วงประมาณ 200-600 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าปริมาณของสารไวแสงมีผลต่อค่าดังกล่าวมาก กล่าวคือการใช้ปริมาณสารไวแสงในอัตราส่วนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นมีค่าต่ำแสดงถึงโมเลกุลภายในโครงสร้างฟิล์มเกิดการเชื่อมโยง ส่วนปัจจัยในเรื่องการใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ และระยะเวลาในการฉายแสงไม่เห็นผลที่ชัดเจน จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถระบุได้ว่า พลังงานที่ได้จากการฉายแสงสามารถทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของสารไวแสง (เมทิลลอเรนจ์) เกิดการเปลี่ยนจากสถานะพื้น (Ground State) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited State) ซึ่งไม่เสถียร จึงคายพลังงานออกมาอยู่ในรูปพลังงานแสง โดยพลังงานสามารถไปกระตุ้นที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดได้โดยตรง เกิดการแตกออกของพันธะคู่เป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่อื่น เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล อย่างไรก็ตามพบว่าฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใช้สารไวแสง สามารถคงสภาพของรูปร่างฟิล์มได้ดีกว่า ฟิล์มสูตรที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงโดยใช้สารไวแสงร่วมกับตัวริเริ่มโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และฟิล์มสูตรที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงที่ใช้เฉพาะสารไวแสง แสดงถึงประสิทธิภาพของการเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้นของระบบ โดยพลังงานแสงสามารถกระตุ้นให้ตัวริเริ่มโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่าง $K_2S_2O_8$ (ตัวออกซิไดซ์) และ $Na_2S_2O_3$ (ตัวรีดิวซ์) เกิดการกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 4.4

อย่างไรก็ตามการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นเพียงอย่างเดียวในการเปรียบเทียบผลการต้านทานน้ำนั้นยังมีข้อจำกัด เนื่องจากสูตรฟิล์มที่เตรียมได้มีการละลายออกของเนื้อฟิล์มบางส่วน ทำให้ปริมาณเนื้อฟิล์มคงเหลือในแต่ละสูตรไม่เท่ากัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำในเนื้อฟิล์มมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองหาค่าปริมาณของแข็งคงเหลือหลังการแช่น้ำที่ 24 ชั่วโมง และนำค่าดังกล่าวไปหาค่าปริมาณน้ำเทียบกับเนื้อฟิล์มคงเหลือ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



กรดโอเลอิก

- เกิดที่ตำแหน่งอัลไลลิก

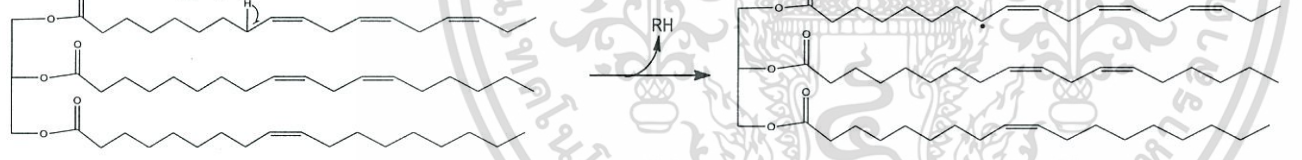


- เกิดที่ตำแหน่งพันธะคู่

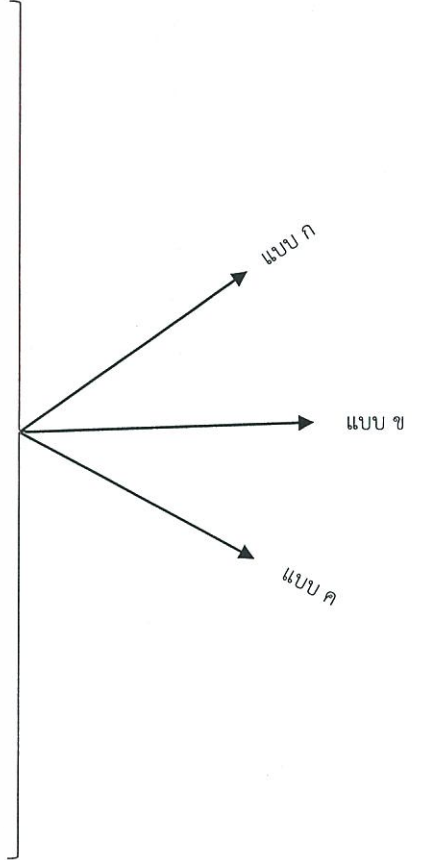


น้ำมันลินสีด

- เกิดที่ตำแหน่งอัลไลลิก

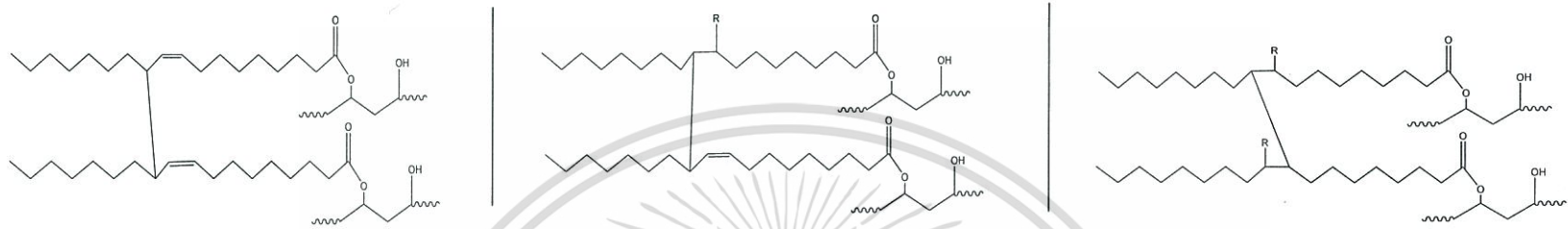


- เกิดที่ตำแหน่งพันธะคู่

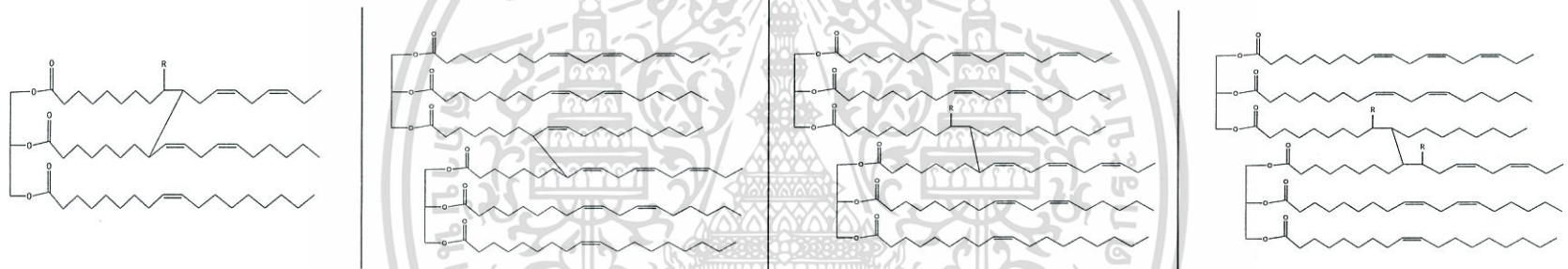


รูปที่ 4.4 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และโซเดียมไทโอซัลเฟต แตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งอัลไลลิกหรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด

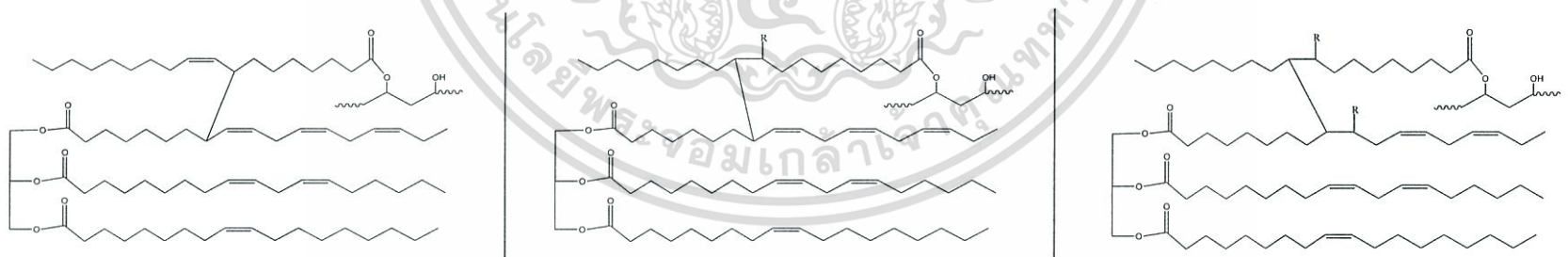
แบบ ก กรดโอเลอิกเชื่อมโยงกัน



แบบ ข น้ำมันลินสีดเชื่อมโยงกัน



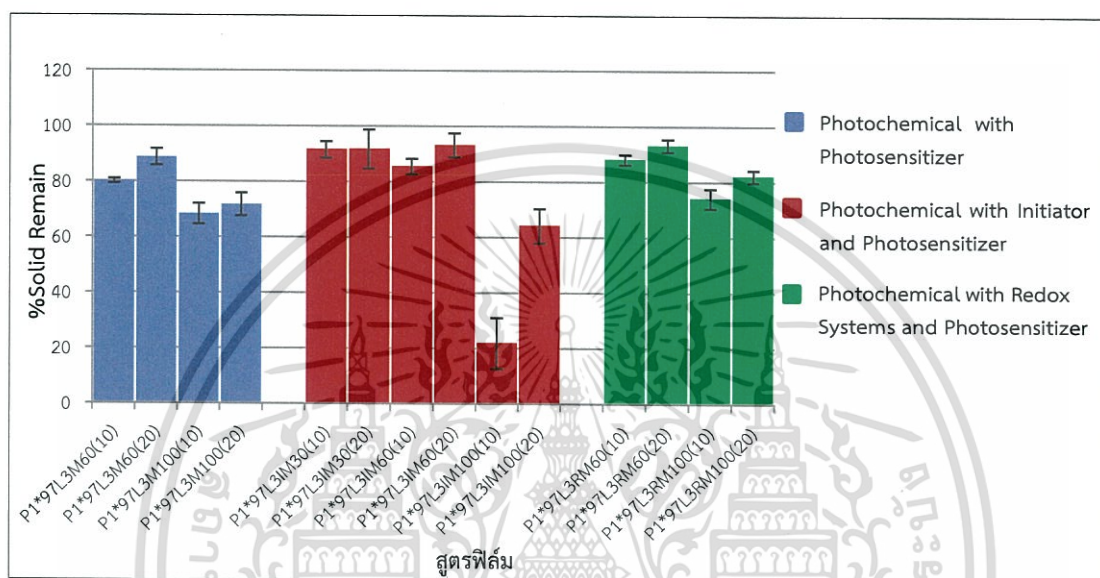
แบบ ค กรดโอเลอิกกับน้ำมันลินสีดเชื่อมโยงกัน



รูปที่ 4.4 (ต่อ)

4.2.1.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ

ปริมาณของแข็งคงเหลือสามารถหาได้โดยนำสูตรฟิล์มต่าง ๆ ไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปอบจนน้ำหนักฟิล์มคงที่ จากนั้นคำนวณผลโดยใช้สูตร ดังแสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7.2 การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ คำนวณค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ โดยพบว่าฟิล์มสูตรที่ใช้ระบบเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบปรีด็อกซ์ และมีการใช้สารไวแสง, ระบบฉายแสงที่มีการใส่สารไวแสง และระบบฉายแสงที่มีการใส่ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสารไวแสงสามารถหาค่าได้ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5

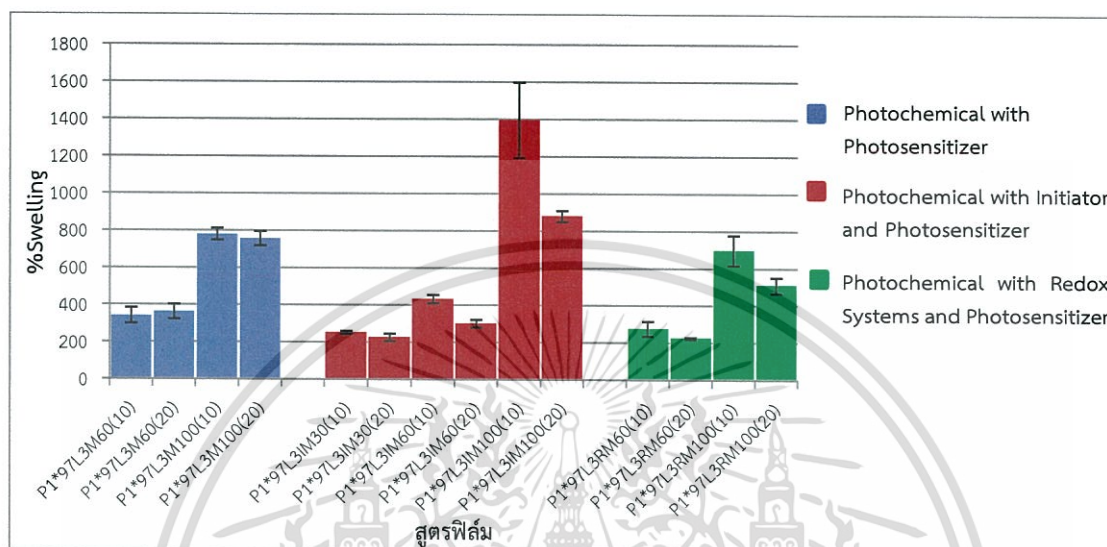


รูปที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.5 พบว่าถ้าอัตราส่วนการใช้สารไวแสงมีค่ามาก (1:30 และ 1:60) ค่าประมาณของแข็งคงเหลือมีค่าสูงและใกล้เคียงกันที่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้สารไวแสงในอัตราส่วนที่ต่ำลง (1:100) พบว่าระบบเชื่อมโยงที่มีปริมาณของแข็งคงเหลือมากที่สุดเป็นฟิล์มในระบบฉายแสงร่วมกับระบบปรีด็อกซ์ โดยมีค่าประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่สามารถรักษาเนื้อฟิล์มให้คงสภาพอยู่ได้ รวมถึงมีการละลายออกของเนื้อฟิล์มน้อยที่สุดหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง สำหรับในระบบฉายแสง ที่มีการใส่ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสารไวแสง (Photochemical with Initiator and Photosensitizer) ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือมีค่าน้อยกว่า ระบบฉายแสงร่วมกับระบบปรีด็อกซ์ โดยจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในสูตร P1*97L3M100(10) มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ (ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์) น้อยกว่า P1*97L3RM100(10) (ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์) แสดงถึงประสิทธิภาพการเชื่อมโยงไม่ดีพอ อาจเนื่องมาจากปริมาณสารไวแสงที่น้อยลง (1:100) และเวลาในการเชื่อมโยงไม่เพียงพอ (10 นาที) ที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์ หรืออาจเกิดข้อบกพร่องจากการเตรียมฟิล์ม ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ง่าย เกิดการละลายของเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือที่ได้มีค่าน้อย

4.2.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

จากข้อมูลปริมาณของแข็งคงเหลือนำมาคำนวณ เพื่อหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในฟิล์ม หลังแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับฟิล์มหลังอบแห้งที่เวลา 24 ชั่วโมง นำฟิล์มที่ได้มาคำนวณ ผลโดยใช้สูตร ดังแสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

จากรูปที่ 4.6 ให้ผลสอดคล้องกับค่าปริมาณของแข็งคงเหลือ โดยฟิล์มสูตรที่ใช้ อัตราส่วนสารไวแสงที่มีค่ามาก (1:30 และ 1:60) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ต่ำ โดยอยู่ในช่วง 200-400 เปอร์เซ็นต์ แต่ฟิล์มสูตรที่ใช้สารไวแสงอัตราส่วน 1:100 พบว่า ระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มน้อยกว่าอีก 2 ระบบ แสดงถึงระบบเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพที่ดี น้ำจึงแพร่เข้าไปในโครงสร้างของฟิล์มได้ยากขึ้น กลไกการเชื่อมโยงเกิดขึ้นโดยระบบจะใช้พลังงานแสงที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลของสารไวแสงเป็นตัวกระตุ้นให้ตัวริเริ่มเกิดการแตกตัวของโครงสร้างเป็นอนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดโอเลอิกและน้ำมันลินสีด เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ฟิล์มสามารถต้านทานน้ำได้ โดยจากการทดลองจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในสูตรฟิล์มที่มีปริมาณสารไวแสงในปริมาณน้อย (1:100) เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลของสารไวแสงมีปริมาณน้อย จึงทำให้โอกาสที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานมีน้อย ส่งผลให้พลังงานที่จะไปกระตุ้นตัวริเริ่มปฏิกิริยา, ตำแหน่งพันธะคู่ และอัลโลลิกไฮโดรเจนของกรดโอเลอิก หรือน้ำมันลินสีดน้อย ทำให้มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงค่อนข้างต่ำ ฟิล์มจึงมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะต้านทานน้ำไม่ให้แทรกเข้าไปในโครงสร้างได้เท่ากับสูตรฟิล์มที่มีปริมาณสารไวแสงในปริมาณมาก

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.1.1 - 4.2.1.3 ทีมวิจัยจึงเลือกระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใส่สารไวแสง (Photochemical with Redox and Photosensitizer) สำหรับปริมาณสารไวแสง แม้ว่าผลการทดลองจะพบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารไวแสงที่มากขึ้น จะได้ฟิล์มที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

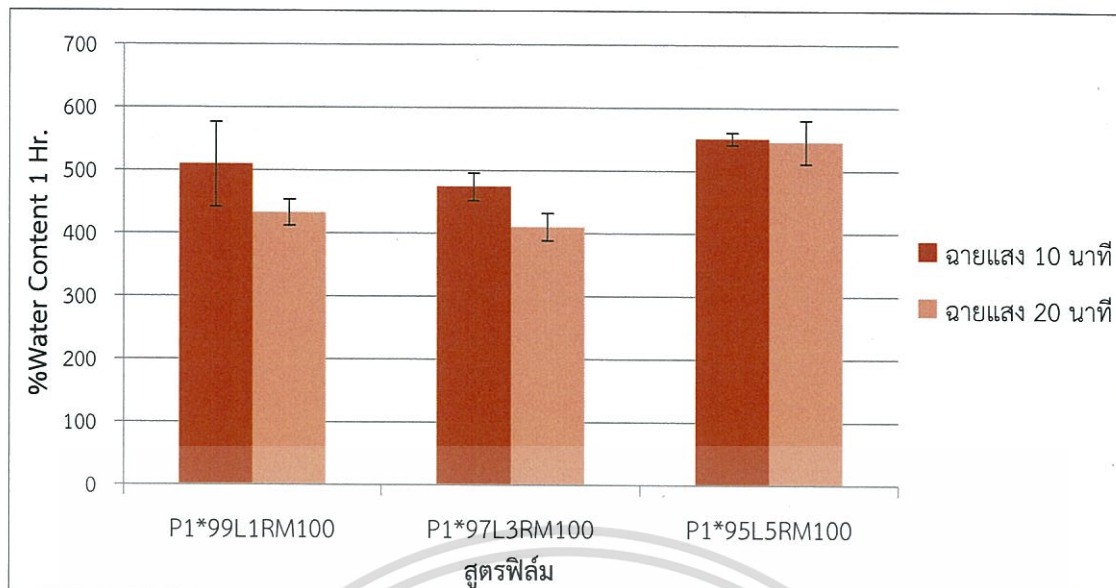
การต้านทานน้ำที่ดีขึ้นก็ตาม แต่เนื่องจากหัวข้อที่ 4.1.2 พบว่าความใสของแผ่นฟิล์มแปรผกผันกับปริมาณสารไวแสงที่ใสในฟิล์ม โดยสูตรฟิล์มที่มีปริมาณสารไวแสงที่ 1:30 และ 1:60 ให้สีของฟิล์มที่ออกเหลืองและขุ่น ดังนั้นการศึกษาต่อในหัวข้อถัดไป จึงเลือกศึกษาระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใส่สารไวแสง (Photochemical with Redox and Photosensitizer) ในปริมาณ 1:100 เพื่อศึกษาตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด โดยหัวข้อถัดไปเป็นการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันลินสีดที่มีต่อสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์ม

4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันลินสีด

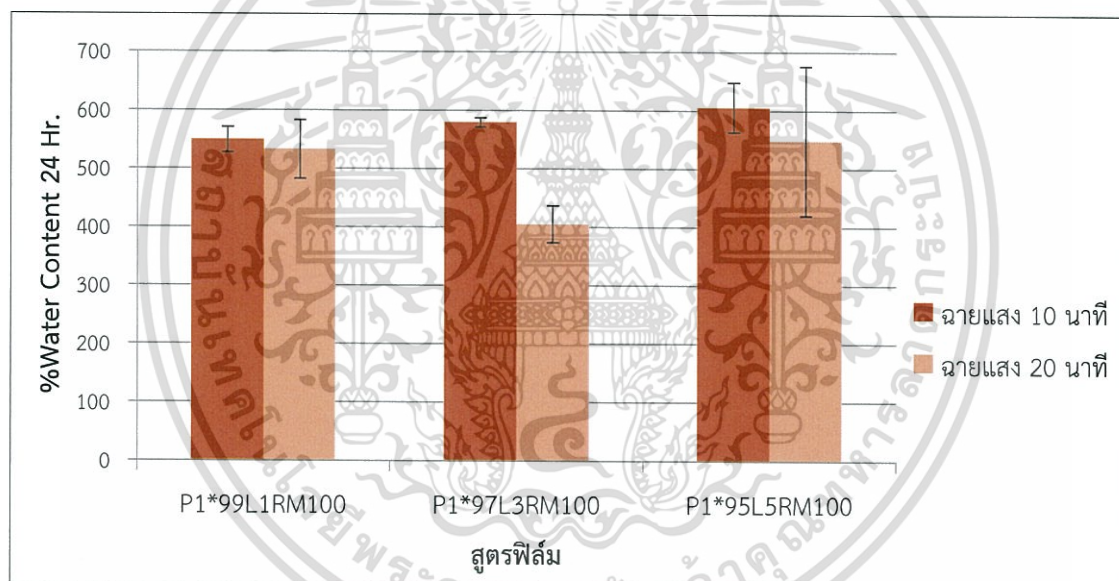
การทดสอบในส่วนนี้ ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันลินสีดในสูตรฟิล์มที่มีต่อสมบัติการต้านทานน้ำ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกต่อน้ำมันลินสีด (P1*:L) เป็น 99:1, 97:3 และ 95:5 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2.2.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ปริมาณ P1* ต่อน้ำมันลินสีดเป็น 97:3 และที่เวลาฉายแสง 20 นาที (P1*97L3RM100(20)) มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง น้อยที่สุด เนื่องจากมีเวลาในการฉายแสงที่นานพอให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีปริมาณน้ำมันลินสีดที่เหมาะสม เนื้อฟิล์มจึงมีความเข้ากันได้ ซึ่งน้ำมันลินสีดมีองค์ประกอบที่มาจาก Linolenic Acid (C18:3) ในปริมาณมาก ซึ่งพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง มีสมบัติที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ดี โดยน้ำมันลินสีดสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ตำแหน่งอัลไลลิก หรือพันธะคู่กับกรดโอเลอิกหรือน้ำมันลินสีดด้วยตัวเอง ดังรูปที่ 4.4 (แบบ ข และ ค) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันลินสีดจาก 99:1 เป็น 97:3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 และ 24 ชั่วโมง มีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันลินสีดเป็น 95:5 (P1*95L5RM100) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าปริมาณน้ำมันลินสีดในเนื้อสารมีมากเกินไป ทำให้การผสมเข้ากันกับเนื้อฟิล์มไม่ดีพอ จึงเกิดการแยกวัฏภาค และเกิดจุดบกพร่องภายในเนื้อฟิล์ม ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของฟิล์มได้ง่าย เกิดการบวมตัวของแผ่นฟิล์ม ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 และ 24 ชั่วโมง จึงมีค่ามาก ซึ่งจะยืนยันผลการทดลองได้ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง

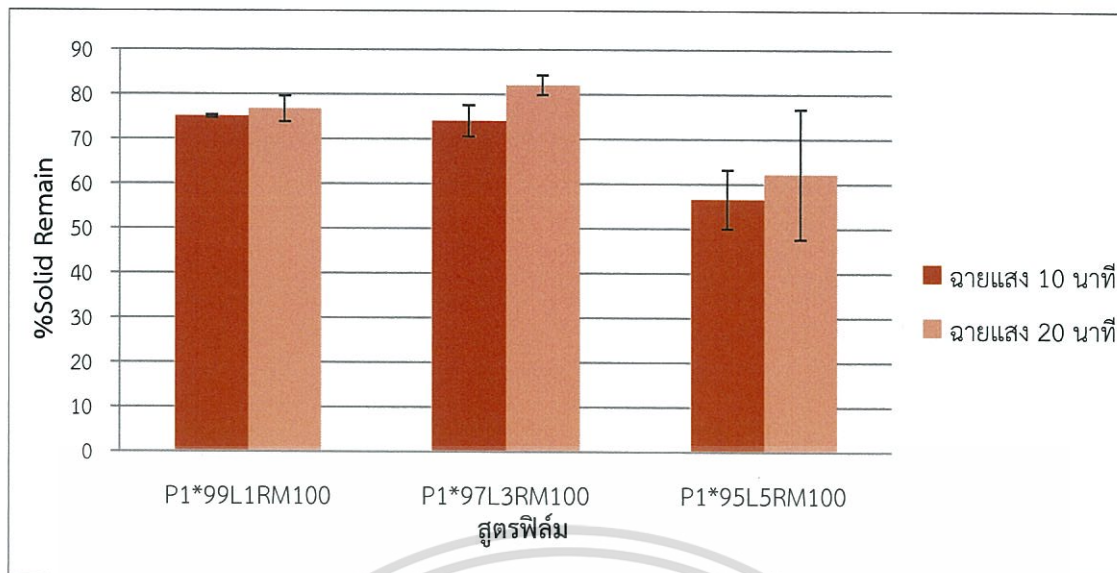


รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง

4.2.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าสูตรที่ปริมาณน้ำมันลินสีดเท่ากับ 5 ส่วน (P1*95L5RM100) มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง น้อยที่สุด (ประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าเกิดการละลายออกของเนื้อฟิล์ม บริเวณที่เกิดจุดบกพร่อง และเกิดการชะล้างของน้ำมันส่วนเกินที่ไม่ทำปฏิกิริยา ในขณะที่สูตร P1*99L1RM100 และ P1*97L3RM100 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 75-82 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตามพบว่าสูตร P1*97L3RM100(20) ซึ่งมีสัดส่วนของน้ำมันลินสีดเป็น 3 ส่วน และฉายแสงเป็นเวลา 20 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง มากที่สุด แสดงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการฉายแสงมีผลต่อมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยง

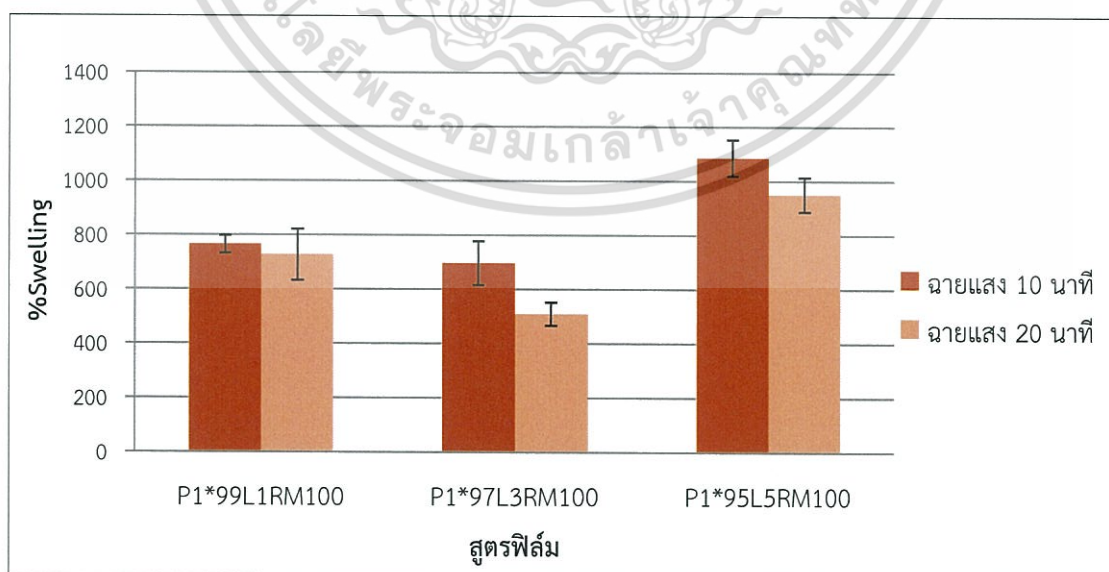
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง

4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

จากรูปที่ 4.10 พบว่าสูตรฟิล์ม P1*97L3RM100 มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มน้อยที่สุด แสดงถึงโครงสร้างมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงกว่าฟิล์มสูตรอื่น ๆ และฟิล์มสูตร P1*95L5RM100 มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มมากที่สุด ซึ่งเกิดจากมีปริมาณน้ำมันลินสีดที่มากเกินไป เกิดความไม่เข้ากันของเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ง่าย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น และค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ โดยสูตรฟิล์ม P1*97L3RM100 ซึ่งมีสัดส่วนของ P1* ต่อน้ำมันลินสีดเป็น 97:3 และฉายแสงที่เวลา 20 นาที มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดีที่สุด

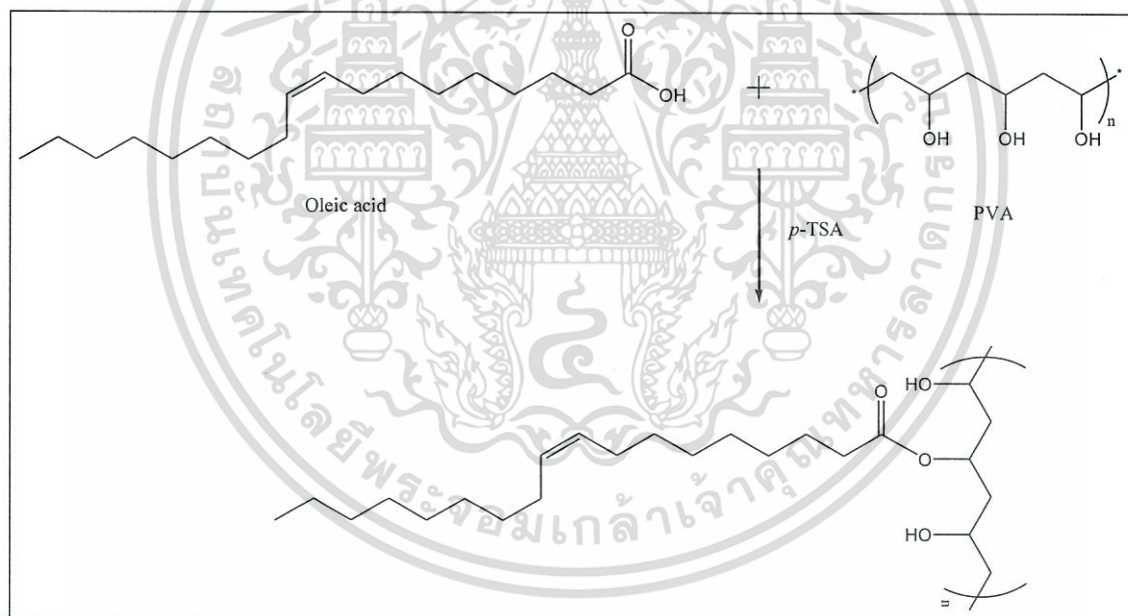


รูปที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลของปริมาณกรดโอเลอิก

กรดโอเลอิกที่ใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทดสอบ ช่วงต้นได้กำหนดไว้ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เหตุผลของการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างจำนวนมาก ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำ ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานน้ำต่ำ ดังนั้นจึงปรับปรุงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดีขึ้นด้วยกรดโอเลอิก โดยการทำให้ปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดโอเลอิกด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งในโครงสร้างของกรดโอเลอิกมีพันธะคู่ 1 ตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติได้ และมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งทำให้ความมีขั้วลดลง ส่งผลให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดีขึ้น โดยยืนยันได้จากการทดสอบเบื้องต้นที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งการศึกษาผลของปริมาณกรดโอเลอิกที่มีต่อการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกรดโอเลอิกเป็น 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และได้ทำการเลือกในอัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 97 ส่วน ต่อน้ำมันลินสีด 3 ส่วน จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 ผลของปริมาณน้ำมันลินสีด

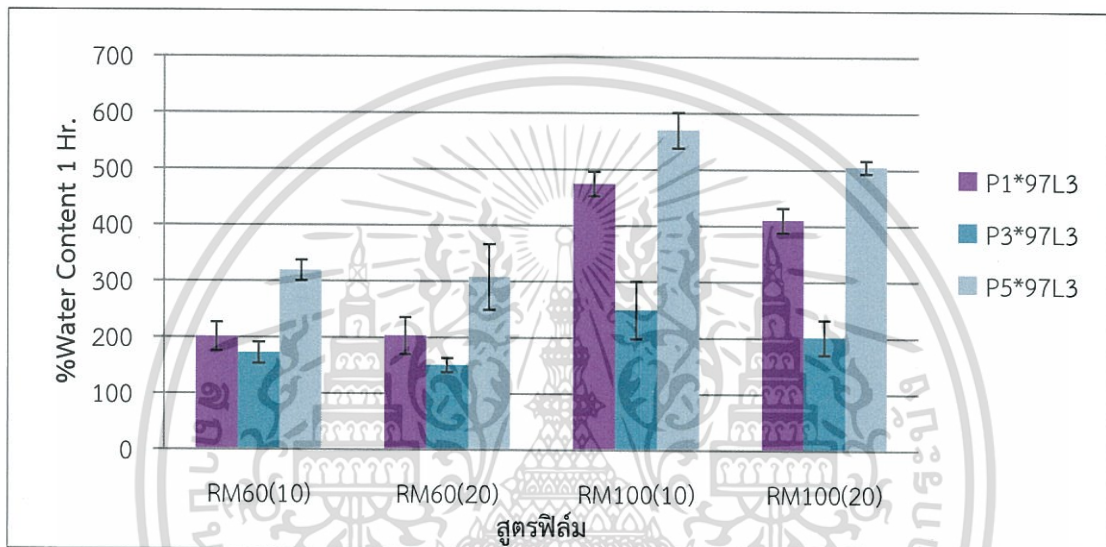


รูปที่ 4.11 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก

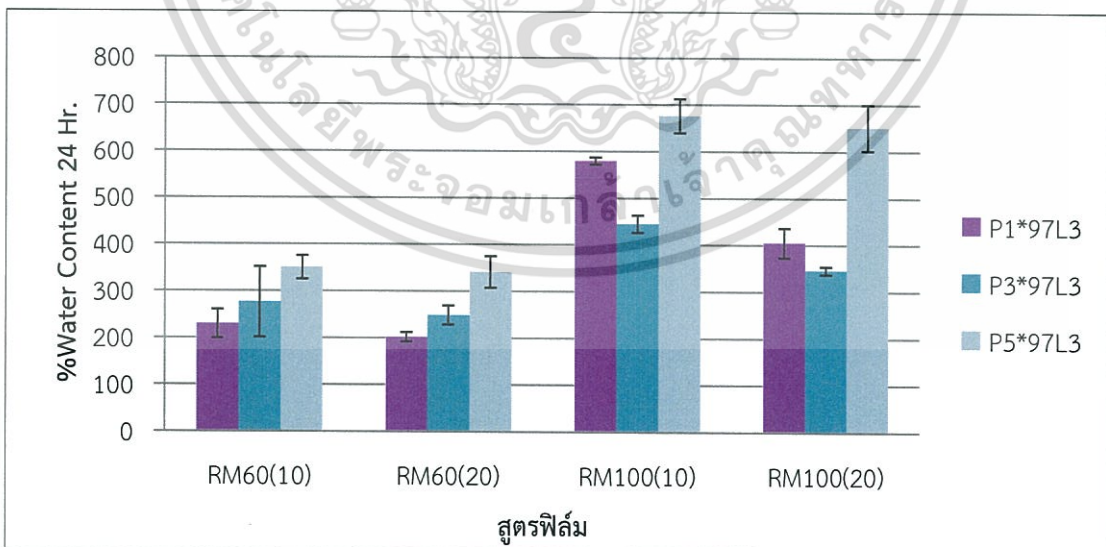
4.2.3.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าปริมาณกรดโอเลอิกมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 และ 24 ชั่วโมง ของฟิล์ม โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิก จาก 1 เปอร์เซ็นต์ (P1*97L3) เป็น 3 เปอร์เซ็นต์ (P3*97L3) โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้สารไวแสงในปริมาณที่น้อย (1:100) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ (P5*97L3) พบว่าให้ผลตรงกันข้าม โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นสูงกว่าสูตรฟิล์มที่มีปริมาณกรดโอเลอิก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่า (P1*97L3 และ P3*97L3) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกรดโอเลอิกในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มได้ โดยการลดสภาพขั้วของพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ และเกิดการเชื่อมโยงฟิล์มที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดโอเลอิก แต่การเพิ่มปริมาณของกรดโอเลอิกที่มากเกินไป คาดว่าทำให้การกระจายตัวของกรดโอเลอิกในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ดีพอ เมื่อทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จึงมีกรดโอเลอิกอิสระตกค้างในฟิล์มในปริมาณที่มาก เกิดการแยกวัฏภาคออกจากเนื้อฟิล์ม ซึ่งสังเกตได้จากความมันของผิวฟิล์ม เมื่อนำไปทดสอบโดยการแช่น้ำ กรดโอเลอิกจึงหลุดออกและทำให้เกิดจุดบกพร่องของเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้น้ำแทรกตัวเข้าไปในเนื้อฟิล์มได้ง่ายขึ้น ซึ่งเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 และ 24 ชั่วโมงของฟิล์มมีค่าสูงกว่าฟิล์มสูตรอื่น



รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง

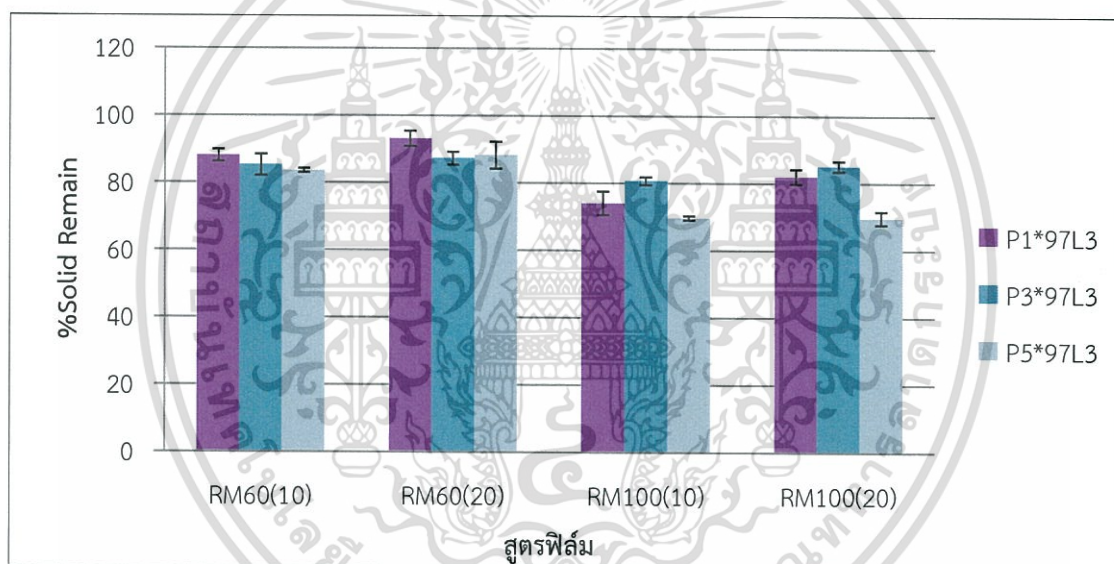


รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือ

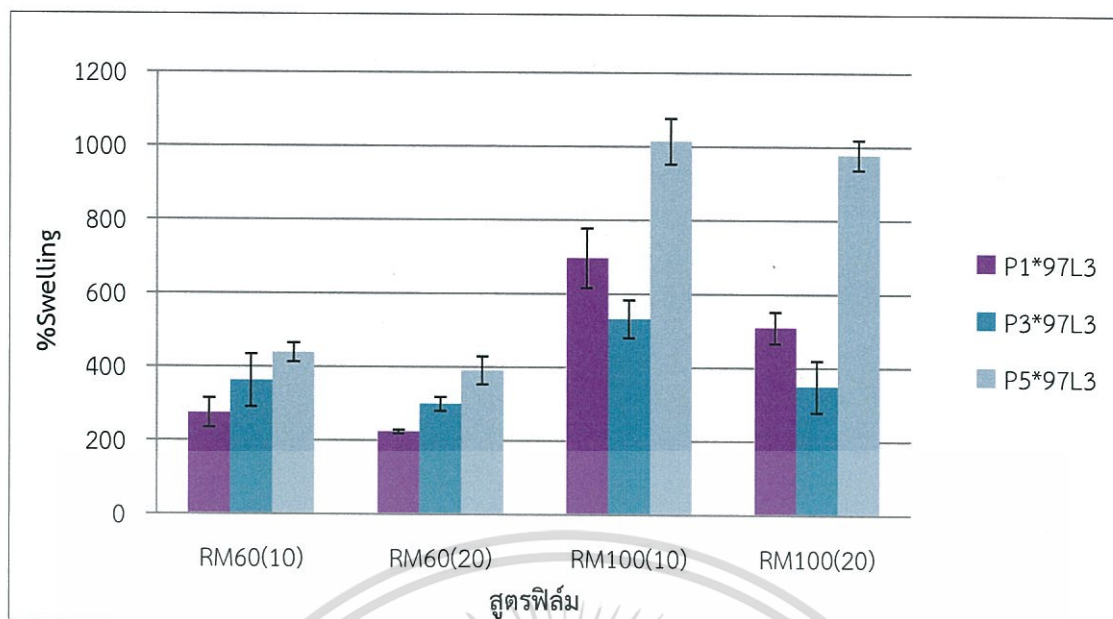
จากรูปที่ 4.14 พบว่าฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในช่วงประมาณ 70-90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก ส่งผลให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีขั้วต่ำลง และผลจากการเชื่อมโยงของน้ำมันลินสีด โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของสารไวแสง (จาก 1:100 เป็น 1:60) ทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งอัลโลลิก หรือพันธะคู่ของน้ำมันลินสีด หรือกรดโอเลอิก ดังรูปที่ 4.4 สำหรับการเพิ่มเวลาการฉายแสงจาก 10 นาที เป็น 20 นาที ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับฟิล์มสูตร P5*97L3RM100(10) และ P5*97L3RM100(20) เป็นฟิล์มที่มีปริมาณกรดโอเลอิกมากกว่าสูตรอื่น และใช้ปริมาณของสารไวแสงที่น้อย ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ซึ่งเป็นเพราะปริมาณของน้ำมัน หรือกรดโอเลอิกที่มากเกินไป ทำให้กรดโอเลอิกบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดการเคลื่อนย้ายออกมาบนเนื้อฟิล์ม เมื่อทำการแช่น้ำโมเลกุลเหล่านั้นจึงถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง มีค่าน้อยลง



รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่น (% Solid Remain, % SR) ที่ 24 ชั่วโมง

4.2.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

จากรูปที่ 4.15 เมื่อใช้ปริมาณสารไวแสงในอัตราส่วนที่ (1:60) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อใช้สารไวแสงในอัตราส่วนที่ต่ำลง (1:100) พบว่าสูตรฟิล์ม P1*97L3RM100(10), P1*97L3RM100(20), P5*97L3RM100(10) และ P5*97L3RM100(20) มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่สูงกว่าฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(10), P3*97L3RM100(20) ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับค่าการทดสอบเบื้องต้นของฟิล์มในหัวข้อ 4.2.3.1 และ 4.2.3.2



รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม

จากผลการทดสอบข้างต้น พบว่าฟิล์มสูตร P3*97L3 ให้ผลการทดสอบที่ดี กล่าวคือ มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดี ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มสูตรดังกล่าวสำหรับการทดสอบในหัวข้อถัดไป

4.3 ศึกษาผลของการควบคุมสภาวะก่อนการนำฟิล์มมาทำการทดสอบ

4.3.1 การจัดเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ

เนื่องจากต้องการศึกษาสภาวะการจัดเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ ว่ามีผลต่อสมบัติเบื้องต้นของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดหรือไม่ โดยทำการเลือกฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) (สูตรฟิล์มที่มีสมบัติเบื้องต้นที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาเรื่องสีของแผ่นฟิล์มร่วมด้วย) มาจัดเก็บก่อนทำการทดสอบที่ 3 สภาวะ ได้แก่

1. จัดเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
2. ทำการอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. วางแผ่นฟิล์มไว้ในสภาวะปกติ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากนั้นนำฟิล์มไปทำการทดสอบในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7.1-3.7.3 ค่าที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการทดสอบสมบัติเบื้องต้นในแต่ละสภาวะการจัดเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ

สูตร	สภาวะ	% WC 1 hr	% WC 24 hr	% SR	% S
P3*97L3RM100(20)	Desiccator	201	346	85	349
	อบ 40 °C	239	467	79	457
	ปกติ	442	563	73	621

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการเก็บฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ให้ค่าการทดสอบเบื้องต้นดีกว่าการอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และวางแผ่นฟิล์มไว้ในสภาวะปกติ เนื่องจากการการเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นการรักษาสภาวะความชื้นทำให้ฟิล์มคงสภาพอยู่ได้ ขณะที่การอบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อาจไม่ได้ช่วยให้แผ่นฟิล์มเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น ในทางกลับกันอาจทำให้โครงสร้างฟิล์มเกิดการสูญเสีย น้ำ ส่งผลให้มีการหดตัวของฟิล์มไม่เท่ากันทุกทิศทาง ทำให้ฟิล์มอาจเกิดการเสียสภาพบางส่วน ในขณะที่การวางไว้ในสภาวะปกติ ให้ค่าการทดสอบเบื้องต้นที่แสดงถึงการต้านทานน้ำที่ต่ำกว่าสภาวะอื่น ซึ่งเป็นเพราะความชื้นในอากาศเข้าไปแทรกในโครงสร้างของฟิล์ม ดังนั้นการทดลองในหัวข้อต่อ ๆ ไป จึงยังคงเก็บฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ก่อนการทดสอบ

4.3.2 การทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยอะซิโตน

เป็นการศึกษาการทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยอะซิโตน เพื่อกำจัดสิ่งตกค้างในฟิล์ม และศึกษาว่าการทำความสะอาดแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบมีผลต่อค่าการทดสอบเบื้องต้นหรือไม่ โดยทำการเลือกแผ่นฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) (สูตรฟิล์มที่มีสมบัติเบื้องต้นที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาเรื่องสีของแผ่นฟิล์มร่วมด้วย) ที่จัดเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำมาทำความสะอาด 2 วิธี ได้แก่

1. นำแผ่นฟิล์มมาเช็ดด้วยอะซิโตน
2. นำแผ่นฟิล์มมาจุ่มลงในอะซิโตนเป็นเวลา 1 นาที

จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ทำความสะอาดด้วย 2 วิธีข้างต้น และแผ่นฟิล์มที่เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ โดยไม่ต้องทำความสะอาด มาทดสอบในข้อที่ 3.7.1-3.7.3

ตารางที่ 4.2 ค่าการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของแผ่นฟิล์มก่อนและหลังทำความสะอาด

สูตร	การทำความสะอาด	% WC 1 hr	% WC 24 hr	% SR	% S
P3*97L3RM100(10)	ไม่ทำความสะอาด	250	445	81	532
	เช็ดด้วย Acetone	411	487	79	645
	จุ่มใน Acetone	366	494	82	564
P3*97L3RM100(20)	ไม่ทำความสะอาด	201	346	85	349
	เช็ดด้วย Acetone	305	352	84	437
	จุ่มใน Acetone	284	291	87	348

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าการทดสอบเบื้องต้นที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยการทำความสะอาดด้วยวิธีการเช็ดด้วยอะซิโตน มีค่าการทดสอบต่อยกกว่าเล็กน้อย ซึ่งการเช็ดแผ่นฟิล์มเป็นการใช้แรงเชิงกล อาจทำให้เกิดจุดบกพร่องบนแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาแช่ในน้ำกลั่น เนื้อฟิล์มอาจเกิดการหลุดออกได้ง่ายขึ้น และน้ำสามารถเข้าไปในโครงสร้างได้ง่ายขึ้นในบริเวณที่เกิดจุดบกพร่อง แต่การทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยการจุ่มในอะซิโตนก่อนการทดสอบให้ค่าการทดสอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ทำความสะอาด ดังนั้นการศึกษาในหัวข้อต่อไป จะทำการทดสอบโดยไม่ทำความสะอาดแผ่นฟิล์มก่อนการทดสอบ

4.4 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture Uptake)

การทดสอบหาค่าการดูดความชื้นได้ทำการเลือกสูตรฟิล์ม P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20), P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นเป็นสูตรฟิล์มที่มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดี มาทำการเปรียบเทียบค่าการดูดความชื้นกับฟิล์มที่มีความชอบน้ำ (Poly(vinyl alcohol) Film และ Chitosan Film) และไม่ชอบน้ำ (Polypropylene Film และ Polyethylene Film) โดยนำฟิล์มเก็บในเดซิเคเตอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ฟิล์มแห้งจนน้ำหนักฟิล์มคงที่ จากนั้นนำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมัลชันโซเดียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75±5 เปอร์เซ็นต์ ค่าการดูดความชื้นคำนวณได้จากสูตรที่แสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.7.4 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดความชื้นและค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ค่าการดูดความชื้น (Moisture Uptake) (%)	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (WVP) (g*m/day*m ² *Pa)
P3*97L3RM60(10)	10.00	3.77×10 ⁻⁷
P3*97L3RM60(20)	9.68	3.19×10 ⁻⁷
P3*97L3RM100(10)	9.92	3.29×10 ⁻⁷
P3*97L3RM100(20)	9.80	2.86×10 ⁻⁷
Chitosan Film	23.55	14.6×10 ⁻⁷
Poly(vinyl alcohol) Film	15.20	4.37×10 ⁻⁷
Polypropylene Film	1.66	1.13×10 ⁻⁷
Polyethylene Film	1.32	N/A
None Film cover	-	15.10×10 ⁻⁷

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดความชื้นของฟิล์มทั้ง 4 สูตรที่เตรียมขึ้น ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการดูดความชื้นอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยฟิล์มทั้ง 4 สูตรนี้ มีค่าการดูดความชื้นอยู่ระหว่างค่าของฟิล์มประเภทที่ไม่มีขั้วที่ผลิตมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum Based) เช่น พอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน ที่มีสมบัติในการดูดความชื้นได้ต่ำมากกับฟิล์มประเภทที่มีขั้ว เช่น ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มไคโตซาน และไม่ได้ทำการเชื่อมโยง เนื่องจากฟิล์มที่มีการเชื่อมโยงนั้นมีลักษณะโครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติ ส่งผลให้ความชื้นผ่านเข้าสู่เนื้อฟิล์มได้ยากขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มทั้ง 4 สูตร มีองค์ประกอบของโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย จากส่วนของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดจึงทำให้ความเป็นขั้วของฟิล์มทั้ง 4 สูตร น้อยกว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

4.5 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability, WVP)

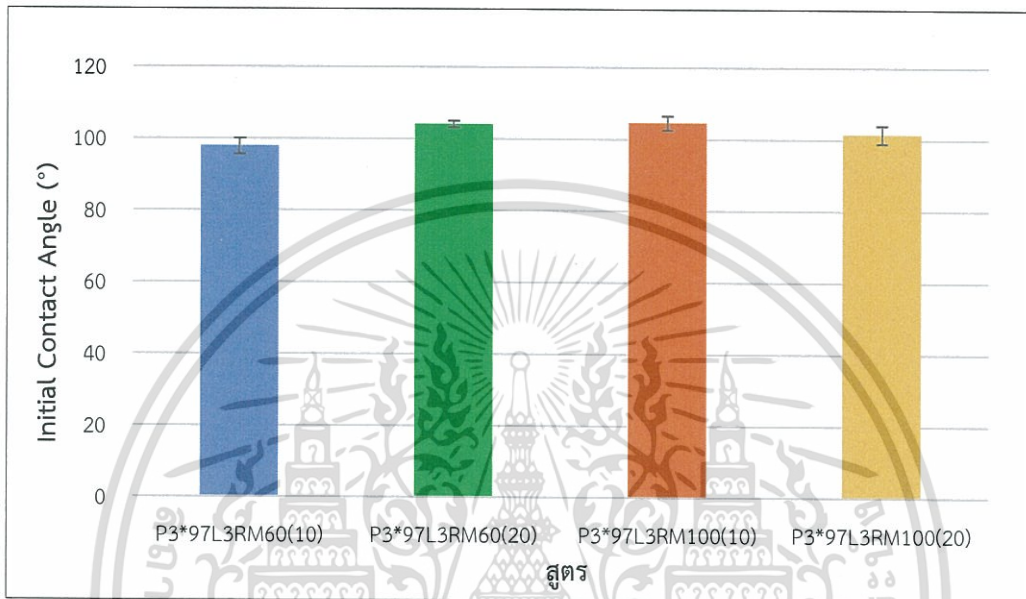
การทดสอบหาค่าการซึมผ่านไอน้ำได้ทำการเลือกสูตรฟิล์ม P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20), P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) เช่นเดียวกับการทดสอบหัวข้อ 4.4 มาทดสอบโดยเปรียบเทียบค่าการซึมผ่านไอน้ำกับ None Film Cover, Poly(vinyl alcohol) Film, Chitosan Film และ Polypropylene Film โดยนำฟิล์มที่ต้องการทดสอบไปคลุมด้านบนปากแก้วรศมีอย่างน้อย 3.2 เซนติเมตร โดยภายในแก้วบรรจุด้วยแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม (ความชื้นสัมพัทธ์ 5 ± 5 เปอร์เซ็นต์) เก็บในเดซิเคเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์) นำฟิล์มมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน คำนวณค่าการซึมผ่านไอน้ำได้จากสูตรที่แสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.7.5 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20), P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการซึมผ่านไอน้ำอยู่ในช่วง $(2.86 - 3.77) \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{m} / \text{day} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เล็กน้อย เนื่องจากฟิล์มทั้ง 4 สูตร มีองค์ประกอบของโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำจากส่วนของกรดโอเลอิกและน้ำมันลินสีด นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงของโครงสร้างโมเลกุล จึงทำให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำลดต่ำลง และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มไคโตซาน พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มทั้ง 4 สูตร มีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากไคโตซานมีสภาพขั้วที่สูง และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลไม่ชิดกันเท่ากับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามฟิล์มทั้ง 4 สูตร มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่าฟิล์มที่ผลิตมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum Based) เช่น พอลิพรอพิลีน ที่มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำที่ตีมาก

4.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Initial Contact Angle)

การทดสอบหาค่ามุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่น และน้ำมันได้ทำการเลือกสูตรฟิล์ม ดังนี้ P3*97L3 RM60(10), P3*97L3RM60(20), P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) ซึ่งเป็นสูตรฟิล์มที่มีความต้านทานน้ำที่ดีมาทำการทดสอบ ผลของการทดสอบค่ามุมสัมผัสแสดงดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.19

4.6.1 การทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 4.16 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยน้ำกลั่น

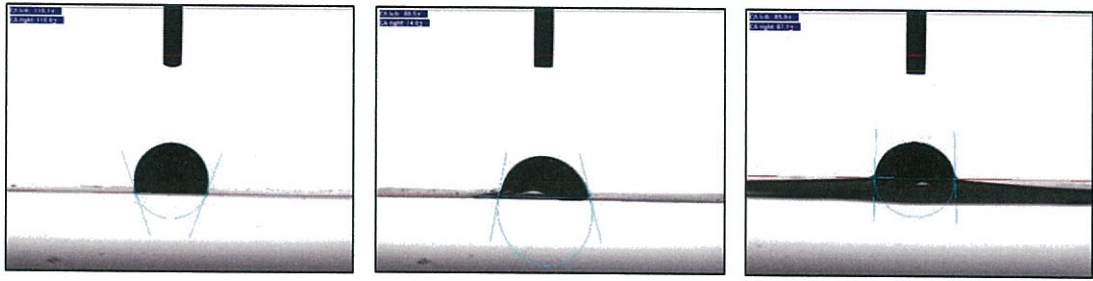
รูปที่ 4.16 เป็นการวัดค่ามุมสัมผัสที่น้ำที่เริ่มต้นของฟิล์มแต่ละสูตร พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่ามุมสัมผัสเกิน 90 องศา (ประมาณ 98-104 องศา) ซึ่งหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับที่ไม่ดี และฟิล์มแต่ละสูตรสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้ถึง 5 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดีของฟิล์ม ทำให้หยดน้ำสามารถก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้างได้ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ทำให้ความมีขี้ต่ำลง และเมื่อเวลาผ่านไปค่ามุมสัมผัสที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากแรงยึดติด (Adhesive Force) ของสารต่างอนุภาคมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น (Cohesive Force) ของอนุภาคเดียวกัน ทำให้หยดน้ำแตกออกจากกัน กระจายแนบไปบนพื้นผิวของฟิล์ม และพื้นผิวเปียกบางส่วน ซึ่งแสดงถึงฟิล์มบางส่วนที่ยังมีสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) เนื่องจากฟิล์มยังคงมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความขี้ จึงทำให้ฟิล์มดูดซึมน้ำได้ และอาจเกิดการบวมตัวขึ้น แม้ว่าฟิล์มจะมีความเป็นขี้ลดลง

โดยการวัดค่ามุมสัมผัสเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสที่วัดหลังจากเวลาเริ่มต้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงไป 2 กรณี (รูปที่ 4.17) ดังนี้

1. มุมสัมผัสมีขนาดมุมที่แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม (รูปที่ 4.17 b)
2. มุมสัมผัสมีขนาดมุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว (รูปที่ 4.17 c)

ซึ่งทั้ง 2 กรณี แสดงถึงความสามารถในการต้านทานน้ำของฟิล์มยังมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงด้วยหยดน้ำกลั่น a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม c) มุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว

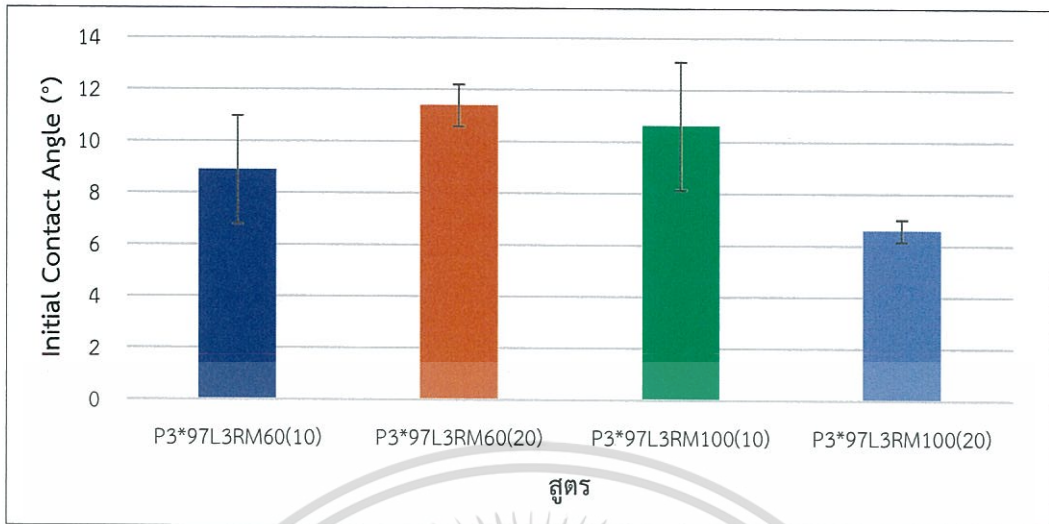
เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสกับฟิล์มทั่ว ๆ ไปที่นิยมใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ฟิล์มพอลิเอทิลีน, ฟิล์มพอลิพรอพิลีน และฟิล์มพอลิโวลีแอลกอฮอล์ทั่วไป [39] พบว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง มีค่ามุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นสูงกว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทั่วไปที่มีค่ามุมสัมผัส 51 องศา และมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิเอทิลีน และฟิล์มพอลิพรอพิลีน ที่มีค่ามุมสัมผัสอยู่ในช่วง 96-102.6 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฟิล์มแต่ละชนิด เช่น ฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวที่มีขั้วต่ำ ทำให้ฟิล์มมีความไม่ชอบน้ำสูง และมีความต้านทานน้ำที่ดี

ตารางที่ 4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของน้ำกลั่น

สูตร	k (°/s)	R^2
P3*97L3RM60(10)	0.072	0.9976
P3*97L3RM60(20)	0.113	0.9979
P3*97L3RM100(10)	0.074	0.9247
P3*97L3RM100(20)	0.052	0.9706

จากตารางที่ 4.4 สูตรฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของหยดน้ำกลั่นในช่วง 0.052-0.113 k (°/s) โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญ (ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัสได้ เนื่องจากหยดน้ำซึมลงในเนื้อฟิล์มค่อนข้างรวดเร็ว) แสดงให้เห็นถึงสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ที่มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงค่อนข้างสูง ทำให้น้ำกลั่นสามารถซึมผ่านพื้นผิวของตัวฟิล์มได้ช้าลง

4.6.2. การทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำมัน



รูปที่ 4.18 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยน้ำมัน

รูปที่ 4.18 แสดงค่ามุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นของฟิล์มแต่ละสูตรที่ทดสอบด้วยหยดน้ำมัน พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6 ถึง 11 องศา (ตัวอย่างการวัดมุมสัมผัสแสดงดังรูปที่ 4.19 (a)) เนื่องจากมีน้ำมันลินสีด และส่วนของกรดโอเลอิกเป็นส่วนประกอบในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ฟิล์มมีสมบัติของความชอบน้ำมัน (Oil Affinity) หยดน้ำมันจึงเกิดการแผ่อกเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวของฟิล์ม ส่งผลให้การวัดค่ามุมสัมผัสบางค่าไม่สามารถทำการตรวจวัดได้ เนื่องจากมุมสัมผัสที่เล็กจนเกินไปดังรูป 4.19 (b) และที่เวลาผ่านไปค่ามุมสัมผัสมีค่าไม่ค่อยแตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมสัมผัสได้



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงด้วยหยดน้ำมัน a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่แคบลง เนื่องจากการแผ่อกบนพื้นผิว

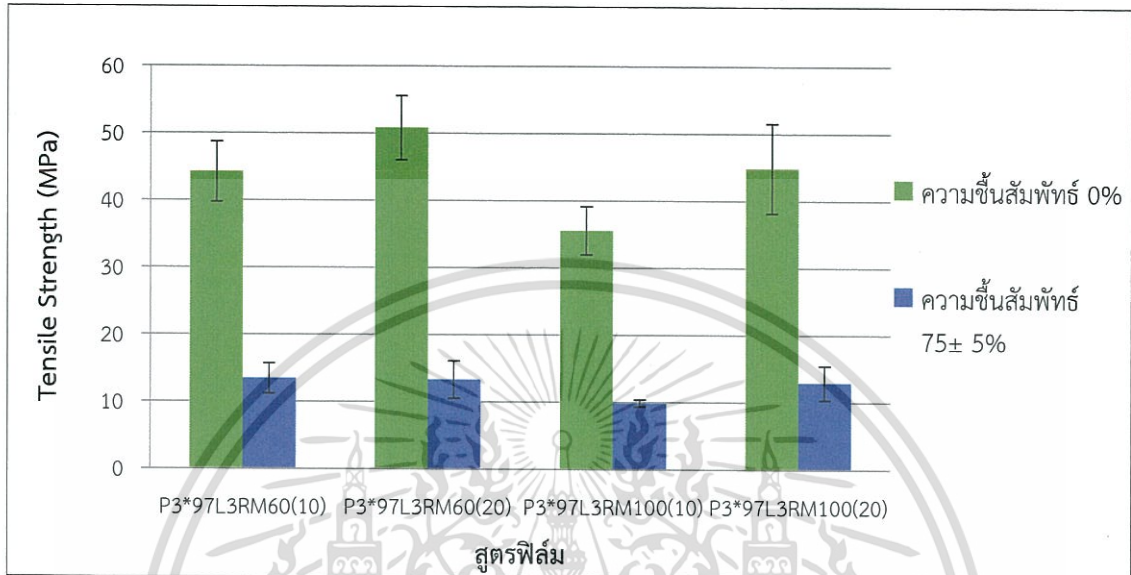
4.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม (Mechanical Properties)

นำฟิล์มไปทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D-882 ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด, ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุด และค่ามอดุลัสของยัง โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 สภาวะ คือ ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูตรฟิล์มที่นำมาทำการทดสอบ ได้แก่ P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) เนื่องจากเป็นสูตรฟิล์มที่มีความสามารถในการต้านทานน้ำได้ดี จากผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้น

4.7.1 ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์

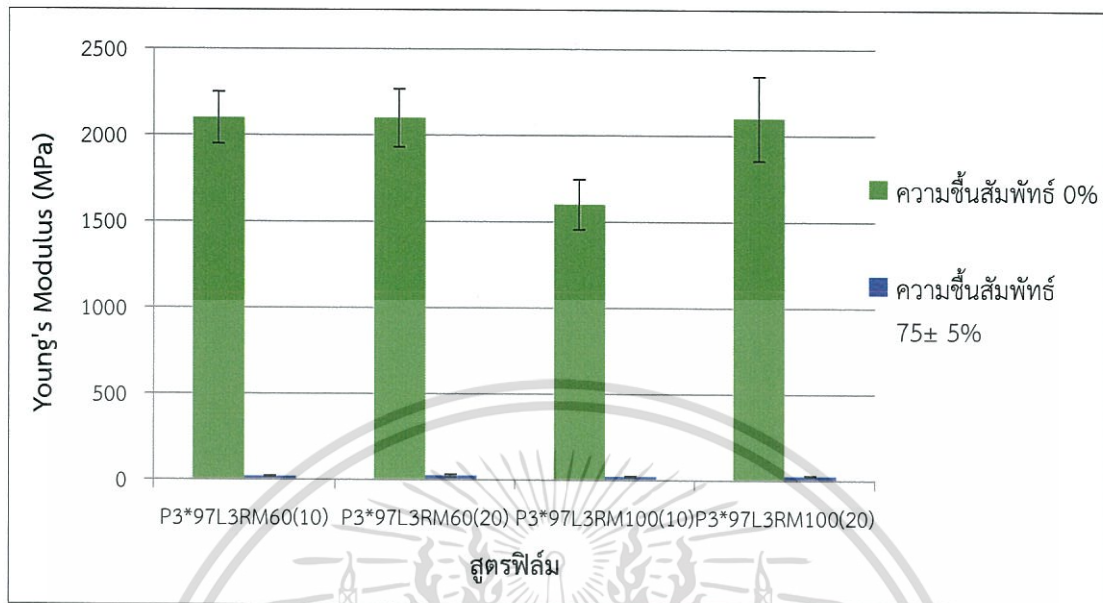


รูปที่ 4.20 ความแข็งแรงดึงสูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของฟิล์มทั้ง 4 สูตร พบว่าสูตรฟิล์มทุกสูตรที่เก็บฟิล์มไว้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการทดสอบมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 35-50 MPa อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการลดปริมาณของสารไวแสง หรือลดเวลาในการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น เนื่องจากการลดพลังงานที่จะไปกระตุ้นตำแหน่งพันธะคู่ และตำแหน่งอัลโลสิคของกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลในเนื้อฟิล์มลดลง ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มจึงลดลง

แต่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าต่ำลงในทุกสูตร เมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9-14 MPa โดยที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดลดลง เนื่องจากภายในฟิล์มมีน้ำที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของเนื้อฟิล์มทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มยังคงสามารถดูดความชื้นเข้าไปในโครงสร้างได้

4.7.2 ค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.21 ค่ามอดุลัสของยังของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

รูปที่ 4.21 แสดงค่ามอดุลัสของยังของฟิล์มทั้ง 4 สูตร พบว่าที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่ามอดุลัสของยังของฟิล์มทุกสูตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 2,100 MPa) ยกเว้น P3*97L3RM100(10) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (1,600 MPa) เนื่องจากมีการเชื่อมโยงของโมเลกุลในเนื้อฟิล์มที่ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ และที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ค่ามอดุลัสของยังของฟิล์มทุกสูตรมีค่าลดลงอย่างมากโดยไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (20-25 MPa) เมื่อเทียบกับที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.7.1 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สภาวะความชื้นที่สูงขึ้นมีผลอย่างมากกับค่ามอดุลัสของยังของฟิล์มทั้ง 4 สูตร

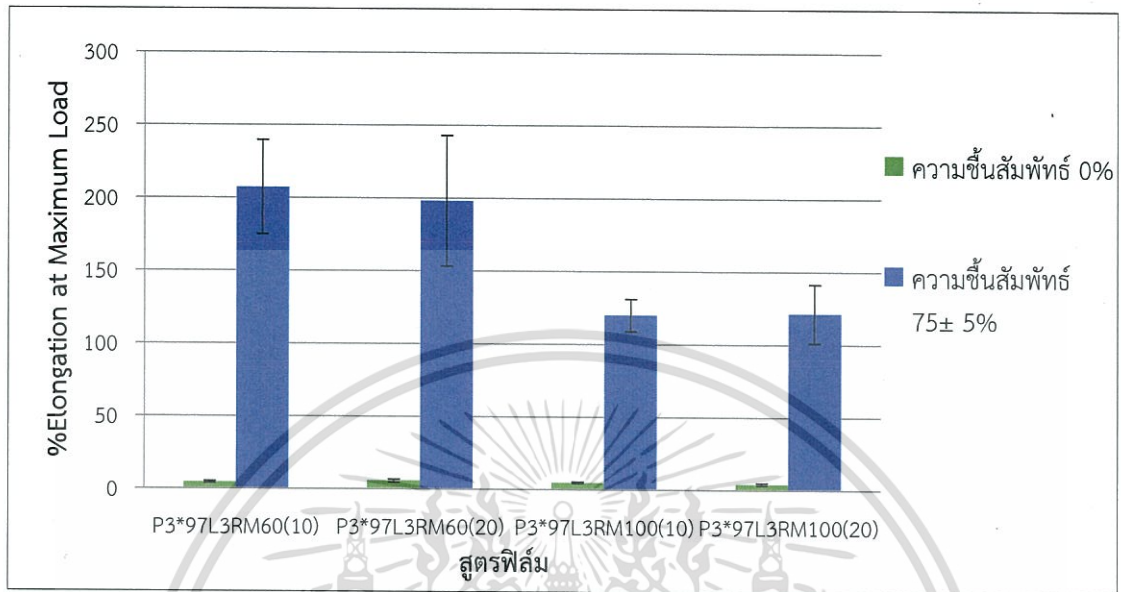
4.7.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุด (% Elongation at Maximum Load) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75±5 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มทั้ง 4 สูตร พบว่าสูตรฟิล์มทุกสูตรที่เก็บไว้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดค่อนข้างต่ำประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงสมบัติที่ค่อนข้างเปราะของฟิล์ม เนื่องมาจากผลของการเชื่อมโยงที่มาก ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่เมื่อถูกแรงกระทำถูกจำกัดมากขึ้น

แต่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ฟิล์มทุกสูตรมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 120-207 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำที่แทรกอยู่ภายในเนื้อฟิล์มทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์จึงทำให้เนื้อฟิล์มมีความยืดหยุ่น โมเลกุลภายในเนื้อฟิล์มเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อมีการลดปริมาณของสารไวแสงในสูตรฟิล์ม โดยอาจเป็นเพราะผลของการเชื่อมโยงในเนื้อฟิล์มที่น้อยกว่าเมื่อน้ำแทรกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปภายในโมเลกุลอาจทำให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำบางส่วนที่อาจเคลื่อนที่ได้อิสระ เคลื่อนที่ไปรวมตัวกันเกิดเป็นจุดบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงกระทำ โดยส่งผลถึงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดลดลง



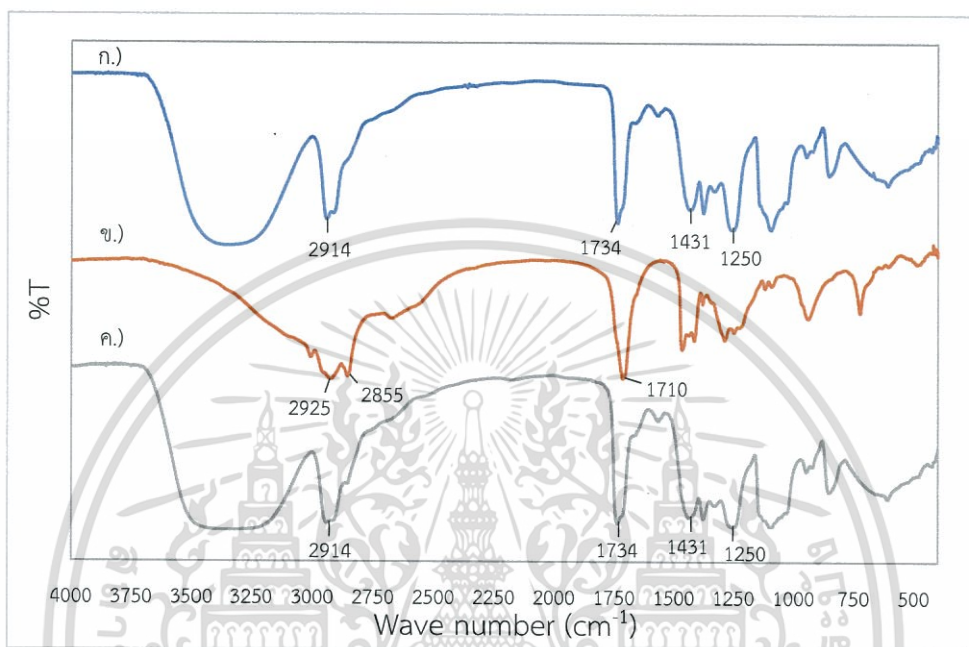
รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของฟิล์ม

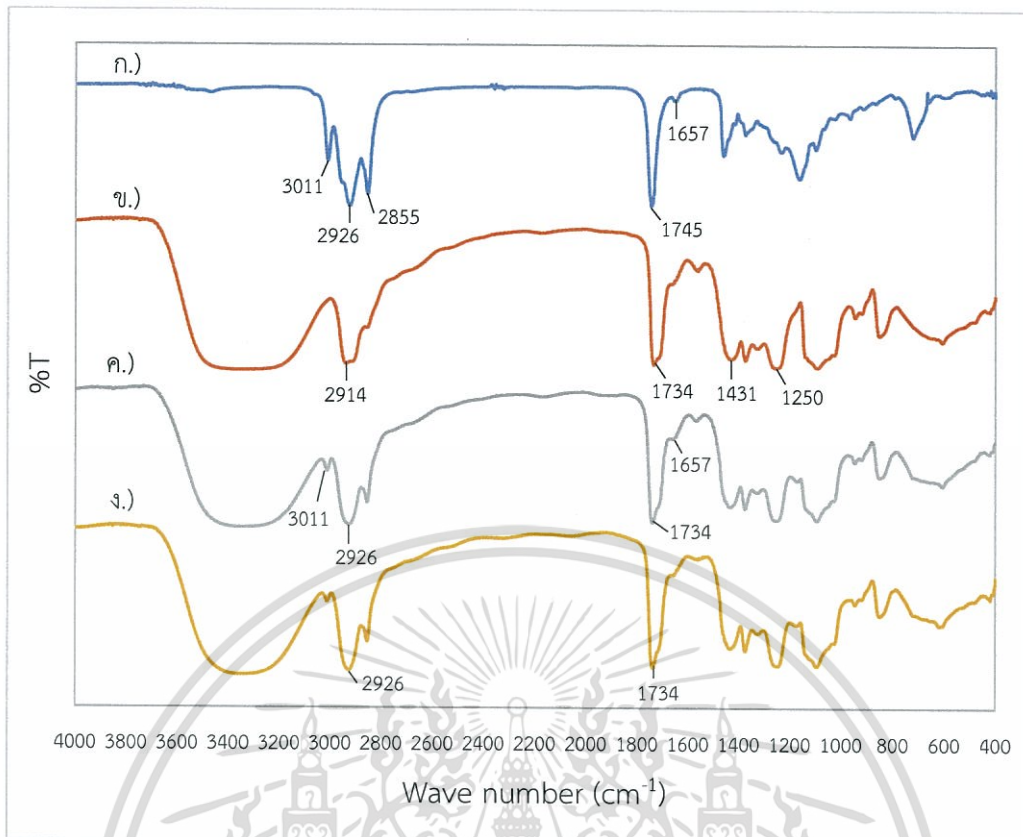
4.8.1. การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ในโหมด Transmittance

การพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิกด้วยเทคนิค FT-IR แสดงผลดังรูป 4.23



รูปที่ 4.23 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, (ข) กรดโอเลอิก และ (ค) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 3 pph (P3*)

เมื่อพิจารณาสัญญาณ IR ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก 3 pph (P3*) พบว่าเป็นสัญญาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เช่น ในช่วงเลขคลื่น 3600 ถึง 3100 cm^{-1} เป็นสัญญาณของ $-\text{OH}$ Stretching ที่เลขคลื่น 2914 cm^{-1} เป็นสัญญาณของ $-\text{CH}_2$ Stretching ซึ่งเป็นพีคช่วงกว้าง และพีคที่เลขคลื่น 1734 cm^{-1} เป็นสัญญาณ $\text{C}=\text{O}$ Stretching โดยไม่สามารถยืนยันสัญญาณของกรดโอเลอิกได้ เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก (P3*) สูตรนี้มีปริมาณของกรดโอเลอิกเพียง 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่จากงานวิจัย [51] ซึ่งเป็นการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกเช่นเดียวกันกับงานวิจัยนี้ แต่มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูงกว่าที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถพบสัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งหมู่ $\text{C}=\text{O}$ จาก 1734 cm^{-1} เป็น 1710 cm^{-1} ซึ่งอาจเป็นพีคของ $\text{C}=\text{O}$ ในหมู่เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซ้อนทับกับพีค $\text{C}=\text{O}$ ของกรดโอเลอิก และที่ตำแหน่งหมู่ $\text{C}-\text{O}$ จากช่วง 1250 cm^{-1} เป็น 1215 cm^{-1} ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งพีคของพันธะ $\text{C}-\text{O}$ Stretching ของกรดโอเลอิกเป็นโพลิเอสเตอร์



รูปที่ 4.24 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) น้ำมันลินสีด, (ข) P3*, (ค) P3*97L3 และ (ง) P3*97L3RM100(20)

เมื่อพิจารณาสัญญาณ IR ของสูตรฟิล์ม P3*97L3 ที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดเป็นองค์ประกอบหลัก จากรูปที่ 4.24 พบพีกสำคัญในช่วงเลขคลื่น 3600–3100 cm^{-1} เป็นสัญญาณของ –OH Stretching ที่มาจากส่วนของ P3* พีกที่ช่วง 1734 cm^{-1} มีลักษณะพีกกว้างเป็นสัญญาณของ C=O ของ P3* และน้ำมันลินสีด และพีกที่เลขคลื่น 2926 cm^{-1} เป็นสัญญาณของหมู่เมทิลีน ($-\text{CH}_2-$) ในโครงสร้างของ P3* ซ้อนทับกับของกรดโอเลอิก สำหรับพีกจากตำแหน่งพันธะคู่ส่วนของน้ำมันลินสีดที่เลขคลื่น 3011 cm^{-1} เป็นสัญญาณ cis-(C-H)=CH Stretching และ 1657 cm^{-1} เป็นสัญญาณ cis-(C=C) Stretching [52] ซึ่งที่เลข 1657 cm^{-1} ปรากฏขึ้นเล็กน้อยในสเปกตรัมของสูตรฟิล์ม P3*97L3 แสดงให้เห็นว่าพันธะคู่ของน้ำมันลินสีดยังคงอยู่โดยอาจถูกกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงบางส่วน โดยน้ำมันลินสีดสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ตำแหน่งอัลไลลิก หรือพันธะคู่ ของกรดโอเลอิกหรือน้ำมันลินสีดด้วยตัวเอง ดังรูปที่ 4.4 (แบบ ข และ ค)

ในกรณีของสูตรฟิล์ม P3*97L3RM100(20) ซึ่งมีการเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรฟิล์ม P3*97L3 ที่ไม่มีการใช้ระบบเชื่อมโยง จากรูปที่ 4.24 พบว่าสัญญาณพีกส่วนใหญ่ขึ้นตรงกัน ยกเว้น พีกที่เลขคลื่น 3011 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณของ cis-(C-H)=CH Stretching และ 1657 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณ cis-(C=C) Stretching มีสัญญาณลดลงในสูตรฟิล์ม แสดงว่าพันธะคู่ของน้ำมันลินสีดเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้นเมื่อมีการใช้ระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์

4.8.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

การทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยนำชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) และ P3* หลังจากเก็บในเดซิเคเตอร์เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง มาทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter ที่อัตราการให้ความร้อน และอัตราการให้ความเย็นเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที อุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ -50 ถึง 300 องศาเซลเซียส ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน โดยเทอร์โมแกรมของฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) และ P3* แสดงในภาคผนวก ข และค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิจุดหลอมเหลว (T_m) ที่ได้สรุปดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าการทดสอบด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

สูตร	Glass Transition Temperature (T_g) ($^{\circ}\text{C}$)	Melting Point Temperature (T_m) ($^{\circ}\text{C}$)
P3*	23.2	214.4
P3*97L3RM100(20)	29.3	225.0

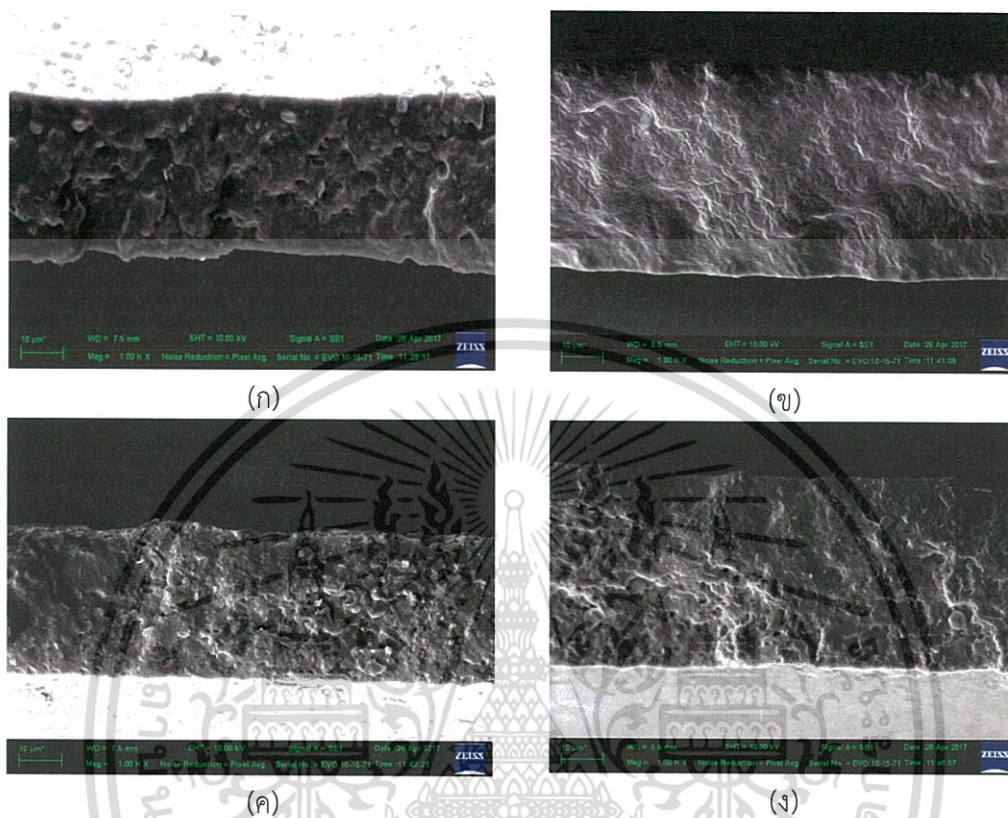
จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนพบว่าฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) มีค่า T_g และ T_m เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร P3* ที่ไม่ได้ทำการเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง การเพิ่มขึ้นของค่า T_g และ T_m เนื่องจากสูตร P3*97L3RM100(20) มีการใช้ระบบเชื่อมโยงเป็นระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใส่สารไวแสง (Photochemical with Redox and Photosensitizer) ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงของน้ำมันลินสีด โดยมี P3* สอดแทรกอยู่ในโครงสร้างร่างแห และอาจมีบางส่วน ของ P3* เกิดการเชื่อมโยงด้วย จึงทำให้ P3* เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ส่งผลให้ค่า T_g สูงขึ้น และการหลอมเหลวผลึกยากขึ้น

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ P3* และ P3*97L3RM100(20) มีค่าน้อยกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (80 องศาเซลเซียส) [13] เนื่องจากมีการใส่กรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดซึ่งสามารถแทรกเข้าไปในระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลได้ ทำให้สายโซ่อยู่ห่างกันมากขึ้น และลดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ส่งผลให้สายโซ่เกิดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ค่า T_g จึงลดต่ำลง

4.9 การศึกษาสัณฐานวิทยาของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การศึกษาความเข้ากันได้ของฟิล์ม ทำได้โดยนำฟิล์มมาตรวจสอบสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า โดยฟิล์มสูตรที่เลือกศึกษาสัณฐานวิทยาเป็นสูตรฟิล์มที่มีความแตกต่างของกรดโอเลอิก และสารไวแสง ได้แก่ P1*97L3 RM100(20), P3*97L3RM100(20), P3*97L3RM60(20) และ P5*97L3RM100(20) แสดงภาคตัดขวางของฟิล์มดังรูปที่ 4.25

จากรูปที่ 4.25 ภาคตัดขวางของฟิล์มแต่ละสูตรไม่แตกต่างกันมาก แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัว และความเข้ากันระหว่างสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีดที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.25 ภาคตัดขวางของฟิล์ม (ก) P1*97L3RM100(20), (ข) P3*97L3RM100(20), (ค) P3*97L3RM60(20) และ (ง) P5*97L3RM100(20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ผลของระบบเชื่อมโยง, ปริมาณน้ำมันลินสีด และปริมาณกรดโอเลอิก ด้วยการทดสอบสมบัติเบื้องต้นคือ ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม และปริมาณของแข็งคงเหลือพบว่าฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก 3 pph ของเนื้อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อน้ำมันลินสีด 97:3 โดยน้ำหนัก เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงร่วมกับระบบรีดอกซ์ และมีการใช้สารไวแสง (Photochemical with Redox Systems and Photosensitizer) ให้สมบัติการต้านทานน้ำที่ดี นอกจากนี้การเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงและปริมาณสารไวแสง ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านทานน้ำสูงขึ้น แต่การใช้สารไวแสงในอัตราส่วน 1:30 มีข้อเสียคือทำให้สีของฟิล์มเข้มขึ้น โครงการพิเศษนี้จึงเลือกสูตรฟิล์มที่ใช้สารไวแสงในอัตราส่วน 1:60 และ 1:100 มาทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(10), P3*97L3RM60(20), P3*97L3RM100(10) และ P3*97L3RM100(20) และเมื่อพิจารณาจากสมบัติเบื้องต้นและสีของฟิล์ม พบว่าฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) เป็นสูตรฟิล์มที่ดีที่สุด สำหรับการศึกษาศสมบัติต่าง ๆ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

- ผลของการควบคุมสภาวะการจัดเก็บแผ่นฟิล์ม และการทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยอะซิโตนก่อนทำการทดสอบ พบว่าให้ค่าผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นไม่แตกต่างกัน จึงเลือกการจัดเก็บแผ่นฟิล์มไว้ในเดซิเคเตอร์ และไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดฟิล์มด้วยอะซิโตนก่อนทำการทดสอบ
- ผลการทดสอบการดูดความชื้น และการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มพบว่าให้ค่าการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการดูดความชื้นอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และค่าการซึมผ่านไอน้ำในช่วง $(2.86-3.77) \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{m} / \text{day} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$ ซึ่งมีค่าการดูดความชื้น และค่าการซึมผ่านไอน้ำอยู่ระหว่างค่าของฟิล์มประเภทที่ไม่มีขี้ (ฟิล์มพอลิพรอพิลีน และฟิล์มพอลิเอทิลีน) และฟิล์มประเภทที่มีขี้ (ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และฟิล์มไคโตซาน)
- ผลการทดสอบมุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่นและน้ำมัน พบว่ามุมสัมผัสด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มแต่ละสูตรมีค่ามุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 98-104 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิพรอพิลีน และฟิล์มพอลิเอทิลีน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดีของฟิล์ม สำหรับการวัดค่ามุมสัมผัสด้วยน้ำมัน พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีสมบัติของความชอบน้ำมัน (Oil Affinity)
- ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 และ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด, ค่ามอดุลัสของยัง และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มแต่ละสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และค่ามอดูลัสของยังที่ต่ำ แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดที่สูง เมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าสภาวะความชื้นที่สูงขึ้นมีผลต่อสมบัติเชิงกล

- ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์หาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้เกิดการเชื่อมโยง โดยยืนยันผลด้วยเทคนิค FT-IR
- ผลของการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20) มีค่า T_g และ T_m เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับฟิล์มสูตร P3* เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหที่มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น
- ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มแต่ละสูตรมีการกระจายตัว และความเข้ากันของเนื้อฟิล์มระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับกรดโอเลอิก และน้ำมันลินสีด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาระบวนการขึ้นรูปฟิล์มให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การควบคุมความหนาของฟิล์ม และการลดฟองอากาศ เป็นต้น
2. พัฒนาสูตรฟิล์มให้มีสมบัติการต้านน้ำที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเติมสารที่มีขั้วต่าอื่น ๆ เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอื่น หรือใช้สารเชื่อมโยงชนิดอื่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดารณี ชันเพชร และปิยะนุช รสเครือ. 2557. การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พี วี เอ)/โซเดียมคาร์บอกซี เมทิลเซลลูโลส (โซเดียม-ซี เอ็ม ซี) สำหรับประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์แอกทีฟ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 (20-21 มีนาคม 2557). หน้า 447-455.
- [2] บริษัท เวสเซล เคมีเคิล. โพลีไวนิลแอลกอฮอล์. [Online]. Available: <http://www.vessel-chemical.com/Default.aspx?pageid=25>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [3] กณิกนันต์ จันท์ประดิษฐ์, กนกวรรณ ไชยนิสงค์ และนิภาพร ศรีพรประเสริฐ. 2558. การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-66.
- [4] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2553. รู้จักกับฟิล์มลามิเนต (Laminated Films). Plastics Intelligence Update ปีที่ 2, ฉบับที่ 1 (1 พฤศจิกายน 2553). หน้า 1-9.
- [5] สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. 2554. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก. [Online]. Available: <http://oknation.nationtv.tv/blog/gift2say/2012/09/18/entry-1>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [6] A.Finne Wistrand. 2012. Synthesis and characterization of 2-methylene-1,3-dioxepane and copolymerization thereof with vinyl acetate followed by polymer characterization and hydrolysis. KTH Chemical Science and Engineering: 1-24.
- [7] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ปฏิบัติการดัดแปรโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์. คณะพลังงาน และวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 177-196.
- [8] Polymer Science Learning Center. 2016. Poly(vinyl acetate). [Online]. Available: <http://pslc.ws/macrog/pva.htm>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59
- [9] บริษัท เค เอส คอสมิทอลโลจี (ประเทศไทย) จำกัด. 2556. พอลิไวนิลแอสีเตต (Poly(vinyl acetate): PVA). [Online]. Available: <http://siammetalliczone.com>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [10] บริษัท ไทยโพลีเคมีคอล จำกัด. 2557. Polyvinyl alcohol, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์. [Online]. Available: <http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/polyvinyl-alcohol.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [11] Amalia I. Cano, Maite Cháfer, Amparo Chiralt and Chelo González-Martínez. 2015. Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. Journal of Food Engineering: 59-64.
- [12] S.K.Saxena. 2004. POLYVINYL ALCOHOL (PVA). Chemical and Technical Assessment (CTA): 1-3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2553. เปิดตัวฟิล์ม PVA ที่มีความใสและละลายน้ำได้. [Online]. Available: <http://plastic.oie.go.th/ReadArticle.aspx?id=3323>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59.
- [14] ไม่ปรากฏชื่อ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ลิพิด (lipid). [Online]. Available: <http://www.ipesp.ac.th/learning/biocheme/html/bt4.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [15] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2558. กรดไขมัน. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/กรดไขมัน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [16] อนุสรณ์ เชิดทอง. 2554. ลิพิด และกรดไขมัน. [Online]. Available: <http://ag2.kku.ac.th/eLearning/137748/Doc%5CChapter%204%20Lipid%20and%20fatty%20acid.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [17] รติกร อลงกรณ์โชติกุล และธีระ ตั้งวิชาชาญ. 2539. หมึกพิมพ์...น่ารู้. [Online]. Available: <http://www.greenplastchem.com/index.php/th-th/knowledge/24-/24-หมึกพิมพ์-น่ารู้>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [18] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2553. Oleic acid/กรดโอเลอิก. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 59.
- [19] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2559. กรดโอเลอิก. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/โอเลอิก>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [20] รัฐกร มิรัตน์ไพร. 2555. ผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำมัน และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันของโคนม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 1-103.
- [21] วิชาการคอม. 2549. Linseed oil. [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/vc-afe/62564>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [22] M. Zuk, D. Richter, J. Matuła and J. Szopa. 2015. Linseed, the multipurpose plant. Industrial Crops and Products: 165–177.
- [23] ชลาชัย ปลื้ม. 2557. การทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดคาร์บอกซิลิกกับแอลกอฮอล์. [Online]. Available: <https://my.dek-d.com/mypomsic15142/writer/viewlongc.php?id=1264762&chapter=4>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [24] Topeng. 2558. เอสเทอร์. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/topengpjack/reiyn-khemi-xxnlin/sarprakxb-hidork-harbxn/prop-heth-kh-xng-sar-xinthriy/xs-the-xr-ester>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ธ.ค. 59.
- [25] ทัพพสาร กุลานูวัตติ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สมบัติทางเคมี. [Online]. Available: http://www.geocities.ws/scipromma/student/52_7/chemprop.htm. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ธ.ค. 59.
- [26] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. บทที่ 1 กลไกการสังเคราะห์พอลิเมอร์เบื้องต้น. [Online]. Available: <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/Chapter%201.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 59.
- [27] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. บทที่ 2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ. [Online]. Available: <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] ชมพูนุช ฉันทะจรัสศิลป์, ธนาภรณ์ สหัสสานนท์ และพีรพร สัจจพันธ์พงษ์. 2555. การพัฒนา กาวอัดจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซิเตดปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และ น้ำมันลินสีดสำหรับงานพิมพ์สกรีน. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-68.
- [42] C. Birck, S. Degoutin, N. Tabary, V. Miri and M. Bacquet. 2014. New crosslinked castfilm based on poly(vinyl alcohol): Preparation and physicochemical properties. EXPRESS polymer Letter: 941-952.
- [43] M. Lim, H. Kwon, D. Kim, J. Seo, H. Han and S. B. Khan. 2015. Highly-enhanced water resistant and oxygen barrier properties of cross-linked poly(vinyl alcohol) hybrid films for packaging application. Progress in Organic Coatings: 68-75.
- [44] Z.O. Oyman, W. Ming and R. Van der Linde. 2005. Oxidation of drying oils containing non-conjugated and conjugated double bonds catalyzed by cobalt catalyst. Organic Coatings: 198-204.
- [45] J. Ngamcharoenthavorn and S. Tharhate. 2007. Water-resistant enhancement of Drying oil Modified Poly(vinyl alcohol). วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-69.
- [46] ภคพล ลักณาพรวิสิฐ. 2555. กาวติดไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมัน ชักแห้งธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล. วิทยานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะ วิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-69.
- [47] รักษ์สุดา สวรรค์ดอน, รุ่งเรืองชัย คำเมืองไหว และลลิตา อุไรสกุล . 2557. การพัฒนาฟิล์มกาว อัดจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก พอลิไวนิลอะซิเตด และน้ำมัน ลินสีดสำหรับงานพิมพ์สกรีน. โครงการงานพิเศษสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 43.
- [48] นาดลดา มหาเรือนลาภ, บัณฑิตา แซ่เจี๋ย และอรุณพ เกตราพูนสินไชย. 2558. การพัฒนา ฟิล์มกาวอัดจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก พอลิไวนิลอะซิเตด น้ำมันลินสีด และน้ำมันละหุ่ง สำหรับงานพิมพ์สกรีน. โครงการงานพิเศษสาขาวิชาเคมี อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 44.
- [49] การทดสอบมุมสัมผัส. ASTM D 5946 : Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements.
- [50] การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. ASTM D 882 : Committee on standard. "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics".
- [51] ฐิตาท บุญวัฒน์โสภณ. 2559. การพัฒนาสูตรเนื้อสีฐานน้ำ สำหรับงานพิมพ์สกรีนจากพอลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-104.

- [52] T. Hayashi, A. Kazlaucius and P. D. Thornton. 2015. Dye Conjugation to linseed oil by highly-effective thiol-ene coupling and subsequent esterifications reactions. *Dyes and Pigments*: 304-316.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม

รูปที่ ก-1 ฟิล์มที่เตรียมได้ที่ความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-1 พิล์มที่เตรียมได้ที่ความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร (ต่อ)



21) P1*97L3RM100(10)



22) P1*97L3RM100(20)



23) P1*95L5RM100(10)



24) P1*95L5RM100(20)



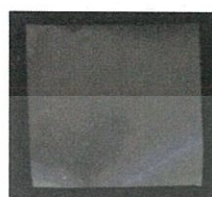
25) P3*97L3RM60(10)



26) P3*97L3RM60(20)



27) P3*97L3RM100(10)



28) P3*97L3RM100(20)



29) P5*97L3RM60(10)



30) P5*97L3RM60(20)



31) P5*97L3RM100(10)



32) P5*97L3RM100(20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของฟิล์ม

ตารางที่ ข-1 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3M60(10)	266	283	238	262	22.43
P1*97L3M60(20)	173	156	211	180	28.41
P1*97L3M100(10)	293	343	284	307	31.64
P1*97L3M100(20)	280	355	382	339	52.88
P1*97L3M30(10)	190	167	183	180	11.99
P1*97L3M30(20)	147	159	155	153	6.35
P1*97L3M60(10)	252	272	253	259	11.44
P1*97L3M60(20)	255	214	224	231	21.53
P1*97L3M100(10)	494	588	326	470	132.52
P1*97L3M100(20)	437	647	567	550	105.62
P1*97L3RM60(10)	228	178	197	201	25.30
P1*97L3RM60(20)	233	209	169	203	32.73
P1*99L1RM100(10)	555	540	432	509	67.07
P1*99L1RM100(20)	453	433	411	433	20.75
P1*97L3RM100(10)	458	499	465	474	21.71
P1*97L3RM100(20)	385	419	426	410	21.61
P1*95L5RM100(10)	541	561	551	551	9.71
P1*95L5RM100(20)	585	524	527	545	34.42
P3*97L3RM60(10)	152	190	175	172	18.75
P3*97L3RM60(20)	137	161	155	151	12.45
P3*97L3RM100(10)	306	207	236	250	51.28
P3*97L3RM100(20)	196	174	234	201	30.72
P5*97L3RM60(10)	308	309	340	319	18.43
P5*97L3RM60(20)	242	355	327	308	58.42
P5*97L3RM100(10)	589	533	587	570	31.68
P5*97L3RM100(20)	495	503	517	505	11.40

หมายเหตุ : สูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่สามารถวัดค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3M60(10)	258	277	278	271	11.35
P1*97L3M60(20)	268	244	300	271	28.06
P1*97L3M100(10)	462	572	543	526	56.95
P1*97L3M100(20)	444	549	552	515	61.54
P1*97L3M30(10)	236	214	215	221	12.60
P1*97L3M30(20)	180	194	185	186	7.16
P1*97L3M60(10)	340	345	331	338	6.88
P1*97L3M60(20)	287	274	256	272	15.98
P1*97L3M100(10)	412	118	152	227	160.72
P1*97L3M100(20)	573	497	509	526	41.00
P1*97L3RM60(10)	260	198	231	229	30.66
P1*97L3RM60(20)	212	192	202	202	10.15
P1*99L1RM100(10)	564	560	524	549	21.91
P1*99L1RM100(20)	575	546	477	533	50.12
P1*97L3RM100(10)	573	588	578	580	7.70
P1*97L3RM100(20)	373	405	436	405	31.39
P1*95L5RM100(10)	563	648	606	606	42.70
P1*95L5RM100(20)	401	628	616	548	128.04
P3*97L3RM60(10)	241	363	226	276	75.12
P3*97L3RM60(20)	264	226	257	249	20.12
P3*97L3RM100(10)	466	432	437	445	18.55
P3*97L3RM100(20)	346	354	338	346	8.29
P5*97L3RM60(10)	377	346	328	351	25.01
P5*97L3RM60(20)	374	342	308	341	33.45
P5*97L3RM100(10)	668	716	644	676	36.44
P5*97L3RM100(20)	602	700	652	651	49.15

หมายเหตุ : สูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่สามารถวัดค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมงได้

ตารางที่ ข-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3M60(10)	80	81	80	80	0.85
P1*97L3M60(20)	86	89	91	89	2.97
P1*97L3M100(10)	66	66	73	68	3.72

ตารางที่ ข-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ)

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3M100(20)	67	74	74	72	4.13
P1*97L3M30(10)	94	92	89	92	2.95
P1*97L3M30(20)	94	97	84	92	7.02
P1*97L3M60(10)	88	83	85	85	2.80
P1*97L3M60(20)	89	97	94	93	4.27
P1*97L3M100(10)	32	14	20	22	9.23
P1*97L3M100(20)	71	60	61	64	6.22
P1*97L3RM60(10)	86	88	90	88	1.77
P1*97L3RM60(20)	95	91	94	93	2.25
P1*99L1RM100(10)	75	75	75	75	0.29
P1*99L1RM100(20)	74	77	79	77	2.88
P1*97L3RM100(10)	78	73	71	74	3.51
P1*97L3RM100(20)	84	80	82	82	2.18
P1*95L5RM100(10)	50	63	57	57	6.58
P1*95L5RM100(20)	46	68	73	62	14.54
P3*97L3RM60(10)	82	85	89	85	3.13
P3*97L3RM60(20)	87	86	89	87	1.89
P3*97L3RM100(10)	81	81	79	81	1.14
P3*97L3RM100(20)	84	84	87	85	1.54
P5*97L3RM60(10)	84	83	83	84	0.62
P5*97L3RM60(20)	91	84	90	88	3.99
P5*97L3RM100(10)	70	69	70	70	0.65
P5*97L3RM100(20)	68	72	69	70	1.96

หมายเหตุ : สูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่สามารถวัดค่าปริมาณของแข็งที่คงเหลืออยู่ได้

ตารางที่ ข-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3M60(10)	319	390	314	341	42.54
P1*97L3M60(20)	361	324	403	363	39.311
P1*97L3M100(10)	750	813	774	779	31.85
P1*97L3M100(20)	713	775	782	757	37.91
P1*97L3M30(10)	257	242	256	252	8.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ)

สูตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P1*97L3IM30(20)	234	203	240	226	19.97
P1*97L3IM60(10)	452	436	408	432	22.04
P1*97L3IM60(20)	319	305	279	301	20.27
P1*97L3IM100(10)	1513	1511	1161	1395	202.71
P1*97L3IM100(20)	845	899	892	879	29.49
P1*97L3RM60(10)	317	239	269	275	39.38
P1*97L3RM60(20)	230	222	221	224	4.68
P1*99L1RM100(10)	785	782	728	765	32.32
P1*99L1RM100(20)	817	735	629	727	94.43
P1*97L3RM100(10)	763	721	607	697	80.78
P1*97L3RM100(20)	460	532	535	509	42.41
P1*95L5RM100(10)	1154	1085	1019	1086	67.25
P1*95L5RM100(20)	996	977	878	951	63.22
P3*97L3RM60(10)	314	445	328	362	71.60
P3*97L3RM60(20)	318	281	299	299	18.52
P3*97L3RM100(10)	544	475	576	532	51.65
P3*97L3RM100(20)	270	374	404	349	70.07
P5*97L3RM60(10)	466	435	415	439	26.01
P5*97L3RM60(20)	392	428	352	391	37.88
P5*97L3RM100(10)	995	1083	964	1014	61.89
P5*97L3RM100(20)	935	1015	983	978	40.56

หมายเหตุ : สูตร P1*97L3, P3*97L3, P1*97L3(10), P1*97L3(20), P1*97L3(10) และ P1*97L3R(10) ไม่สามารถวัดค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมงได้

ภาคผนวก ค

ศึกษาผลของการควบคุมสภาวะก่อนการนำฟิล์มมาทำการทดสอบ

1. การจัดเก็บแผ่นฟิล์มก่อนทำการทดสอบ

ตารางที่ ค-1 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มที่สภาวะต่าง ๆ

สูตร	สภาวะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(20)	Dessicator	196	174	234	201	25.08
	อบ 40 °C	280	287	372	284	51.24
	ปกติ	409	474	438	442	32.53

ตารางที่ ค-2 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มที่สภาวะต่าง ๆ

สูตร	สภาวะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(20)	Dessicator	346	354	338	346	8.28
	อบ 40 °C	499	438	466	467	30.56
	ปกติ	565	567	558	563	4.57

ตารางที่ ค-3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	สภาวะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(20)	Dessicator	84	84	87	85	1.53
	อบ 40 °C	78	79	79	79	0.50
	ปกติ	71	73	75	73	2.01

ตารางที่ ค-4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	สภาวะ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(20)	Dessicator	270	374	404	349	70.06
	อบ 40 °C	419	472	481	457	33.79
	ปกติ	651	574	638	621	41.01

2. การทำความสะอาดแผ่นฟิล์มด้วยอะซิโตน

ตารางที่ ค-5 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด

สูตร	การทำความสะอาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(10)	ไม่ทำความสะอาด	306	207	236	250	41.87
	เช็ดด้วย Acetone	441	381	411	411	24.40
	จุ่มใน Acetone	354	378	366	366	9.99

ตารางที่ ค-5 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 1 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด (ต่อ)

สูตร	การทำความสะอาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(20)	ไม่ทำความสะอาด	196	178	234	201	25.08
	เช็ดด้วย Acetone	305	293	319	305	10.30
	จุ่มใน Acetone	223	347	283	284	50.53

ตารางที่ ค-6 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด

สูตร	การทำความสะอาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(10)	ไม่ทำความสะอาด	466	432	437	445	18.55
	เช็ดด้วย Acetone	451	523	489	487	36.19
	จุ่มใน Acetone	490	498	494	494	4.10
P3*97L3RM100(20)	ไม่ทำความสะอาด	346	354	338	346	8.29
	เช็ดด้วย Acetone	407	394	254	352	84.43
	จุ่มใน Acetone	236	346	292	291	54.85

ตารางที่ ค-7 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ของฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด

สูตร	การทำความสะอาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(10)	ไม่ทำความสะอาด	81	81	79	81	1.14
	เช็ดด้วย Acetone	77	80	79	79	1.63
	จุ่มใน Acetone	81	83	82	82	1.06
P3*97L3RM100(20)	ไม่ทำความสะอาด	84	84	87	85	1.54
	เช็ดด้วย Acetone	81	85	87	84	3.00
	จุ่มใน Acetone	89	86	88	87	1.77

ตารางที่ ค-8 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มที่ 24 ชั่วโมง ของฟิล์มหลังทำความสะอาด

สูตร	การทำความสะอาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM100(10)	ไม่ทำความสะอาด	544	475	576	532	51.65
	เช็ดด้วย Acetone	614	676	645	645	30.56
	จุ่มใน Acetone	631	623	437	564	109.87
P3*97L3RM100(20)	ไม่ทำความสะอาด	270	374	404	349	70.07
	เช็ดด้วย Acetone	524	479	307	437	114.36
	จุ่มใน Acetone	277	420	348	348	71.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบการดูดความชื้น

ตารางที่ ง-1 ค่าการดูดความชื้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	Moisture Uptake (%)			เฉลี่ย	SD
	1	2	3		
P3*97L3RM60(10)	9.7744	10.4651	9.7744	10.0047	0.3988
P3*97L3RM60(20)	9.7436	8.9820	10.3175	9.6810	0.6699
P3*97L3RM100(10)	10.4046	9.4675	9.9010	9.9244	0.4690
P3*97L3RM100(20)	9.8901	8.0745	11.4286	9.7977	1.6789
Polypropylene Film	1.8692	1.8349	1.2821	1.6620	0.3295
Polyethylene Film	1.3423	1.2500	1.3699	1.3207	0.0628
Poly(vinyl alcohol) Film	15.7025	15.4762	14.4068	15.1951	0.6921
Chitosan Film	22.4299	23.3766	24.8322	23.5462	1.2101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

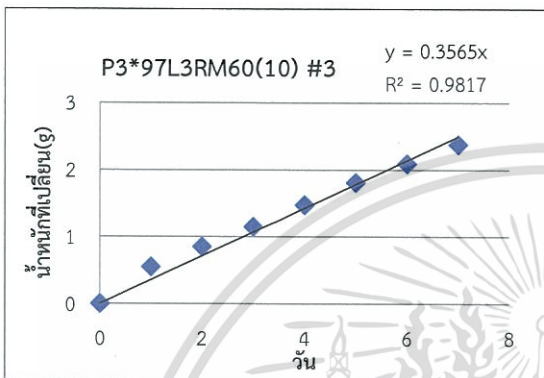
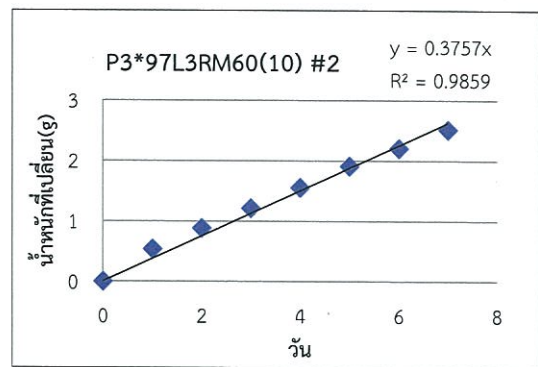
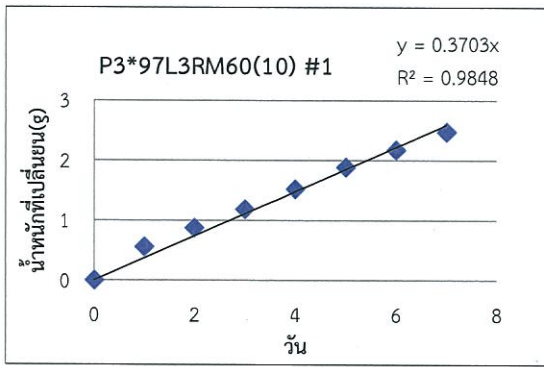
ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ

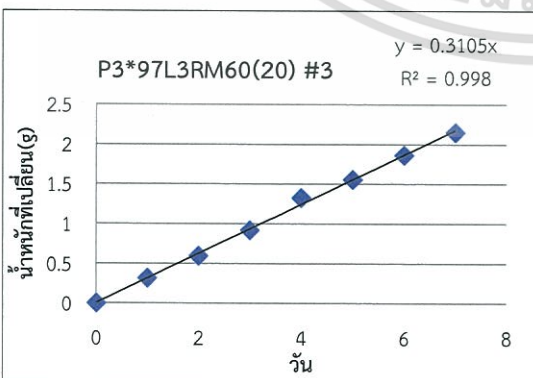
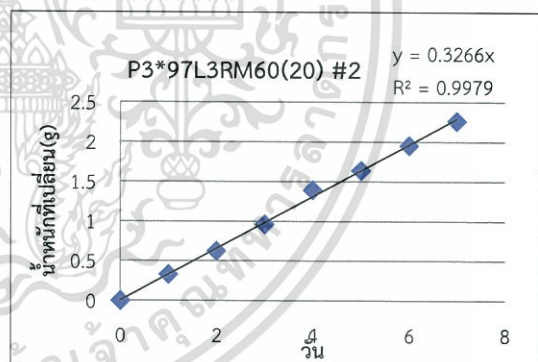
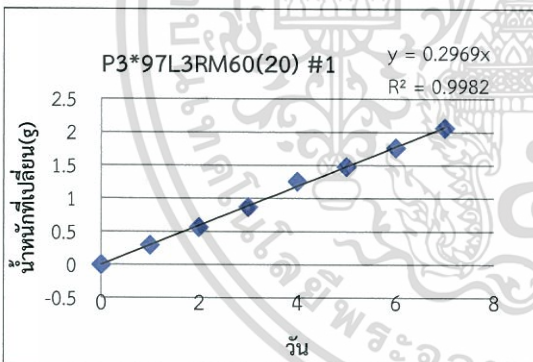
ตารางที่ จ-1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (Water Vapor Permeability, WVP)

สูตร	ครั้ง	K (g/day)	R ²	WVTR (g/day* m ²)	WVP (g*m/day* m ² *Pa)	ค่าเฉลี่ย WVP	SD
P3*97L3RM60 (10)	1	0.3703	0.98	24.067	3.80×10 ⁻⁷	3.77×10 ⁻⁷	1.02×10 ⁻⁸
	2	0.3757	0.98	24.418	3.85×10 ⁻⁷		
	3	0.3565	0.98	23.170	3.66×10 ⁻⁷		
P3*97L3RM60 (20)	1	0.2969	0.99	19.296	3.04×10 ⁻⁷	3.19×10 ⁻⁷	1.52×10 ⁻⁸
	2	0.3266	0.99	21.227	3.35×10 ⁻⁷		
	3	0.3105	0.99	20.180	3.18×10 ⁻⁷		
P3*97L3RM100 (10)	1	0.2735	0.99	17.775	2.80×10 ⁻⁷	3.29×10 ⁻⁷	4.97×10 ⁻⁸
	2	0.3188	0.98	20.720	3.27×10 ⁻⁷		
	3	0.3704	0.98	24.073	3.80×10 ⁻⁷		
P3*97L3RM100 (20)	1	0.2799	0.99	18.191	2.87×10 ⁻⁷	2.87×10 ⁻⁷	1.17×10 ⁻⁸
	2	0.2682	0.99	17.431	2.75×10 ⁻⁷		
	3	0.291	0.99	18.913	2.98×10 ⁻⁷		
None Film Cover	1	1.4546	0.98	94.540	1.49×10 ⁻⁶	15.1×10 ⁻⁷	1.38×10 ⁻⁸
	2	1.4775	0.98	96.028	1.52×10 ⁻⁶		
	3	1.4782	0.98	96.074	1.52×10 ⁻⁶		
Chitosan Film	1	1.4515	0.99	94.339	1.49×10 ⁻⁶	14.6×10 ⁻⁷	2.78×10 ⁻⁸
	2	1.4278	0.99	92.798	1.46×10 ⁻⁶		
	3	1.3974	0.99	90.822	1.43×10 ⁻⁶		
Poly(vinyl alcohol) Film	1	0.4119	0.99	26.771	4.22×10 ⁻⁷	4.37×10 ⁻⁷	2.21×10 ⁻⁸
	2	0.4513	0.99	29.331	4.63×10 ⁻⁷		
	3	0.4164	0.98	27.063	4.27×10 ⁻⁷		
Polypropylene Film	1	0.1109	0.99	7.2079	1.14×10 ⁻⁷	1.13×10 ⁻⁷	6.36×10 ⁻⁹
	2	0.1157	0.99	7.5198	1.19×10 ⁻⁷		
	3	0.1034	0.99	6.7204	1.06×10 ⁻⁷		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

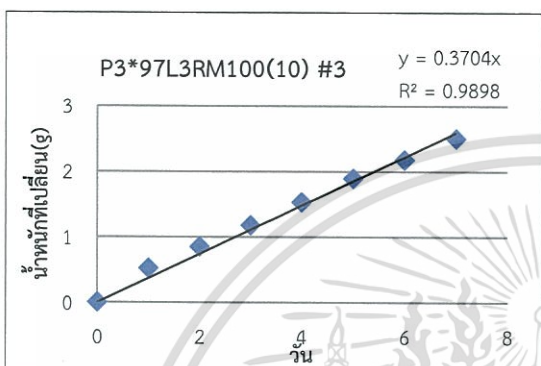
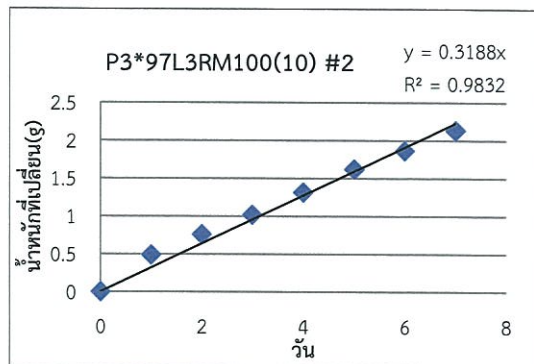
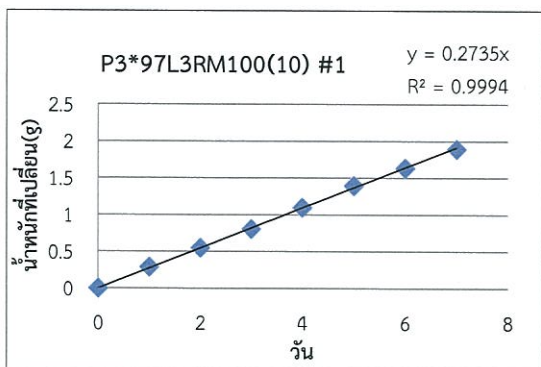


รูปที่ จ-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(10)

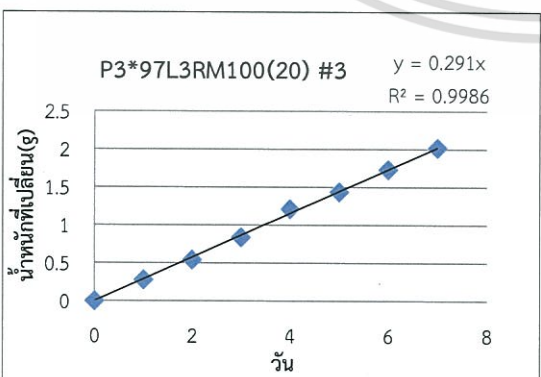
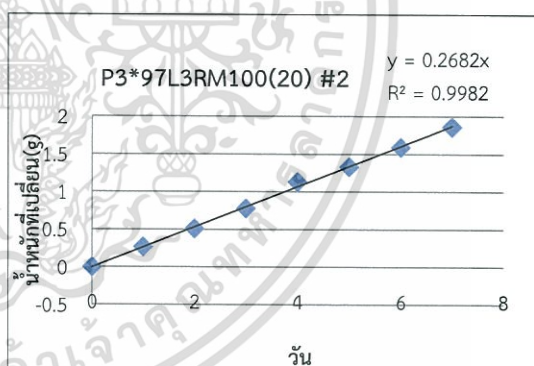
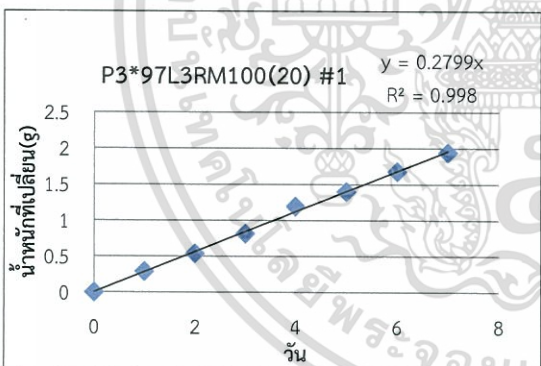


รูปที่ จ-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร P3*97L3RM60(20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

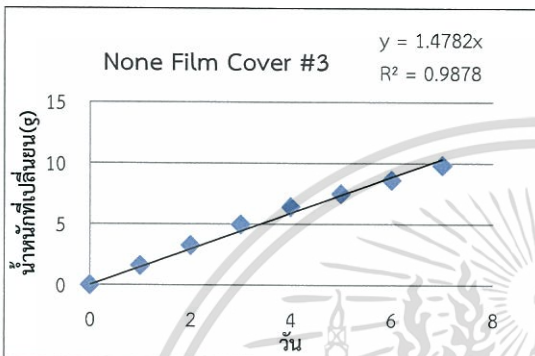
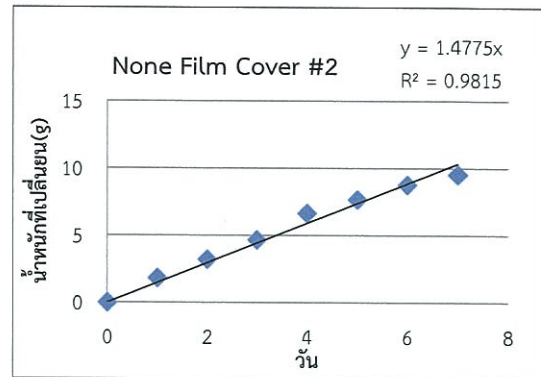
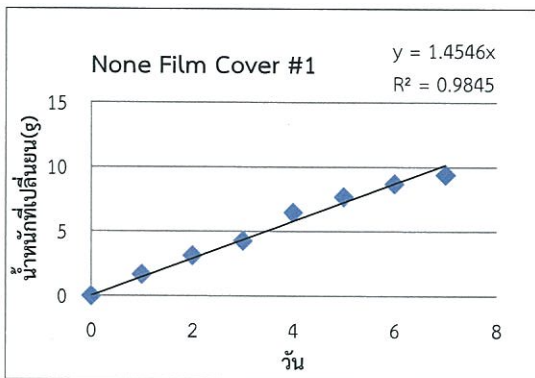


รูปที่ จ-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(10)

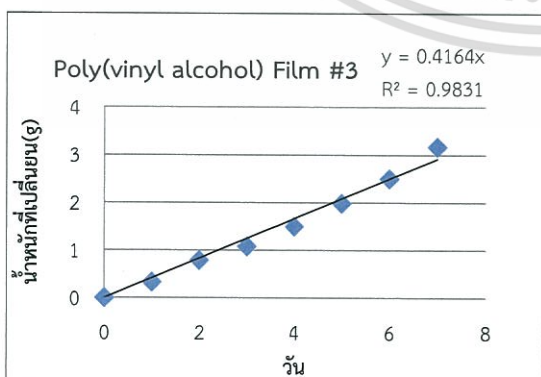
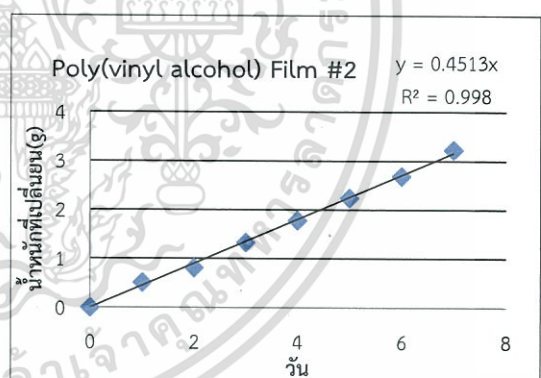
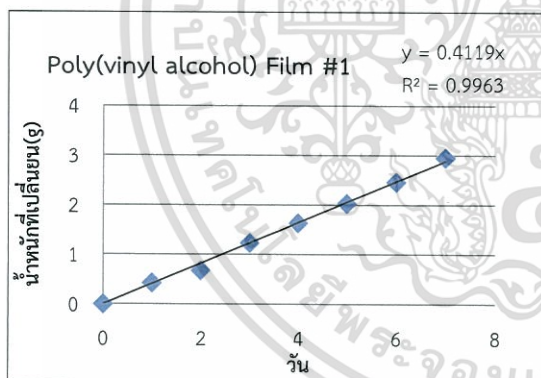


รูปที่ จ-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร P3*97L3RM100(20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

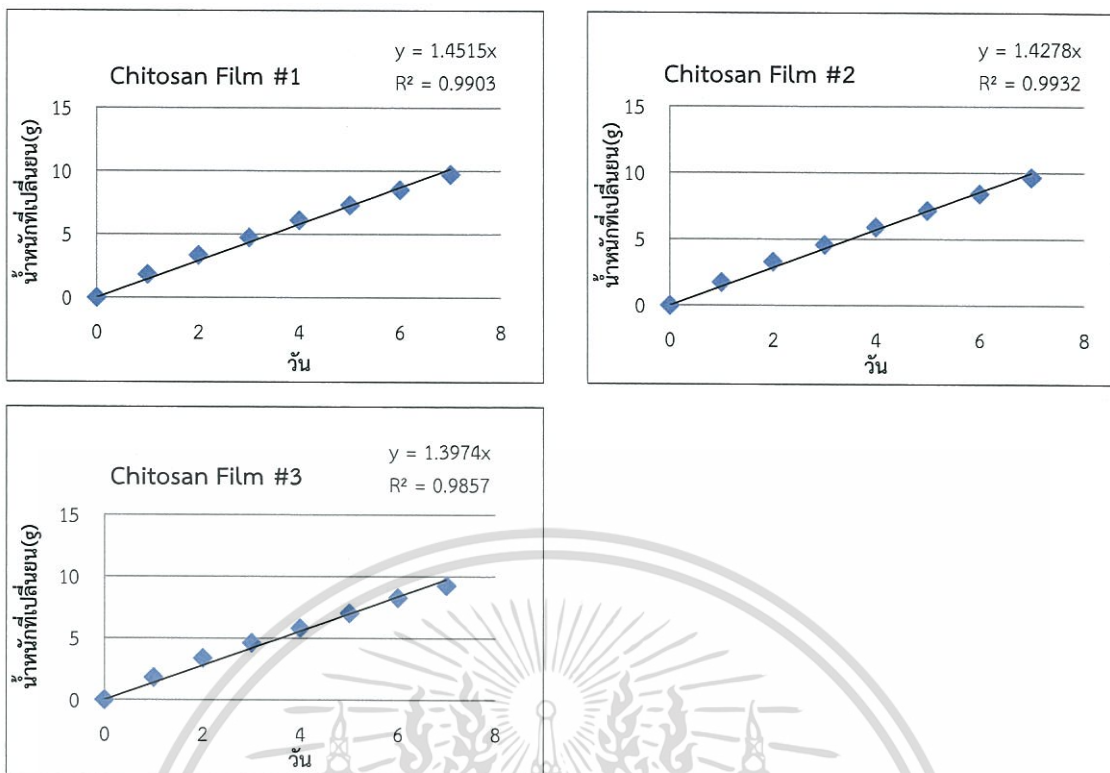


รูปที่ จ-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของ None Film Cover

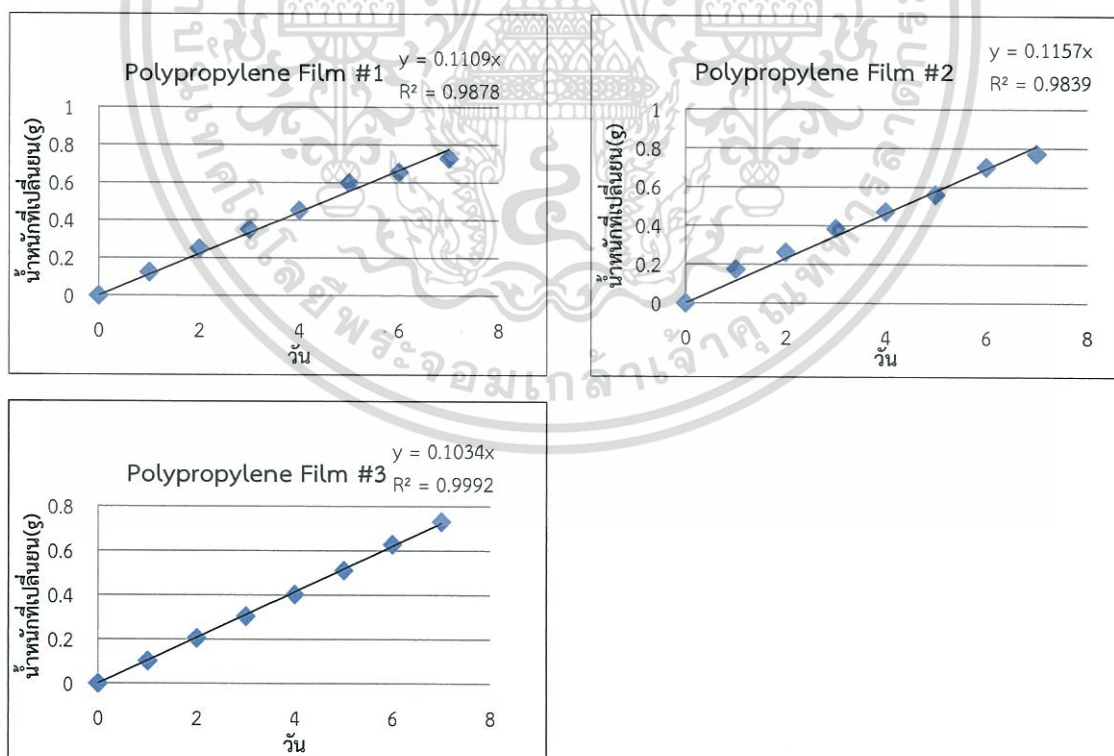


รูปที่ จ-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของ Poly(vinyl alcohol) Film

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของ Chitosan Film



รูปที่ จ-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับวันที่ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านไอน้ำของ Polypropylene Film

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบมุมสัมผัส

ตารางที่ ฉ-1 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสในแต่ละนาทียของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	เวลา(นาทีย)	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	97.77	2.21
	2	93.17	3.79
	3	89.65	8.72
	4	84.97	10.04
	5	80.22	13.05
P3*97L3RM60(20)	1	104.05	0.91
	2	97.88	2.40
	3	90.07	3.45
	4	84.48	5.12
	5	76.88	7.68
P3*97L3RM100(10)	1	104.53	1.95
	2	103.27	1.38
	3	100.70	1.86
	4	92.83	4.16
	5	87.68	4.24
P3*97L3RM100(20)	1	101.38	2.50
	2	100.20	2.40
	3	96.93	5.30
	4	92.38	7.94
	5	89.72	6.89

ตารางที่ ฉ-2 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่นาทียเริ่มต้นด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	97.77	2.21
P3*97L3RM60(20)	104.05	0.91
P3*97L3RM100(10)	104.53	1.95
P3*97L3RM100(20)	101.38	2.50

ตารางที่ ฉ-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสัมผัส

สูตร	k ($^{\circ}/\text{min}$)	k ($^{\circ}/\text{s}$)	R^2
P3*97L3RM60(10)	4.330	0.072	0.9976
P3*97L3RM60(20)	6.773	0.113	0.9979
P3*97L3RM100(10)	4.413	0.074	0.9247
P3*97L3RM100(20)	3.115	0.052	0.9706

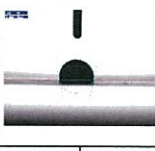
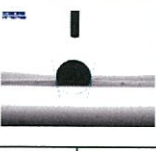
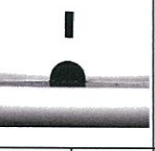
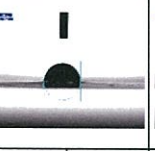
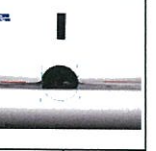
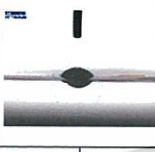
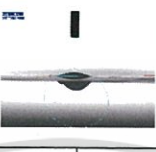
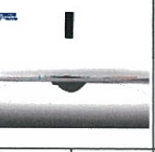
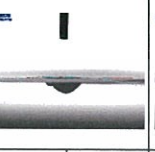
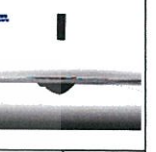

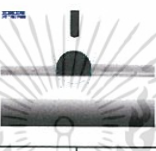

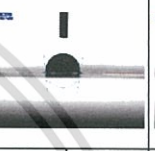
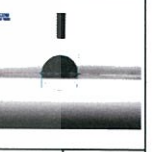
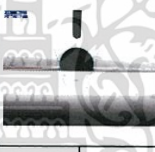


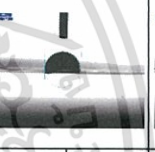
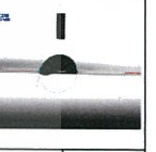

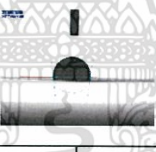


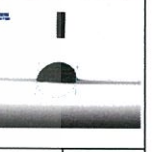

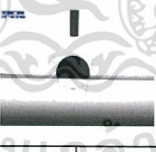


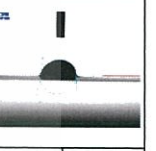
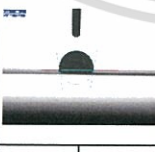
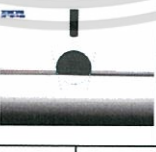
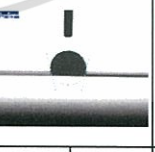
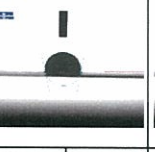
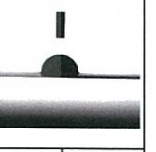
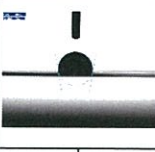


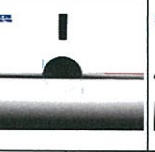
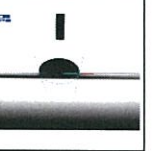
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-4 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

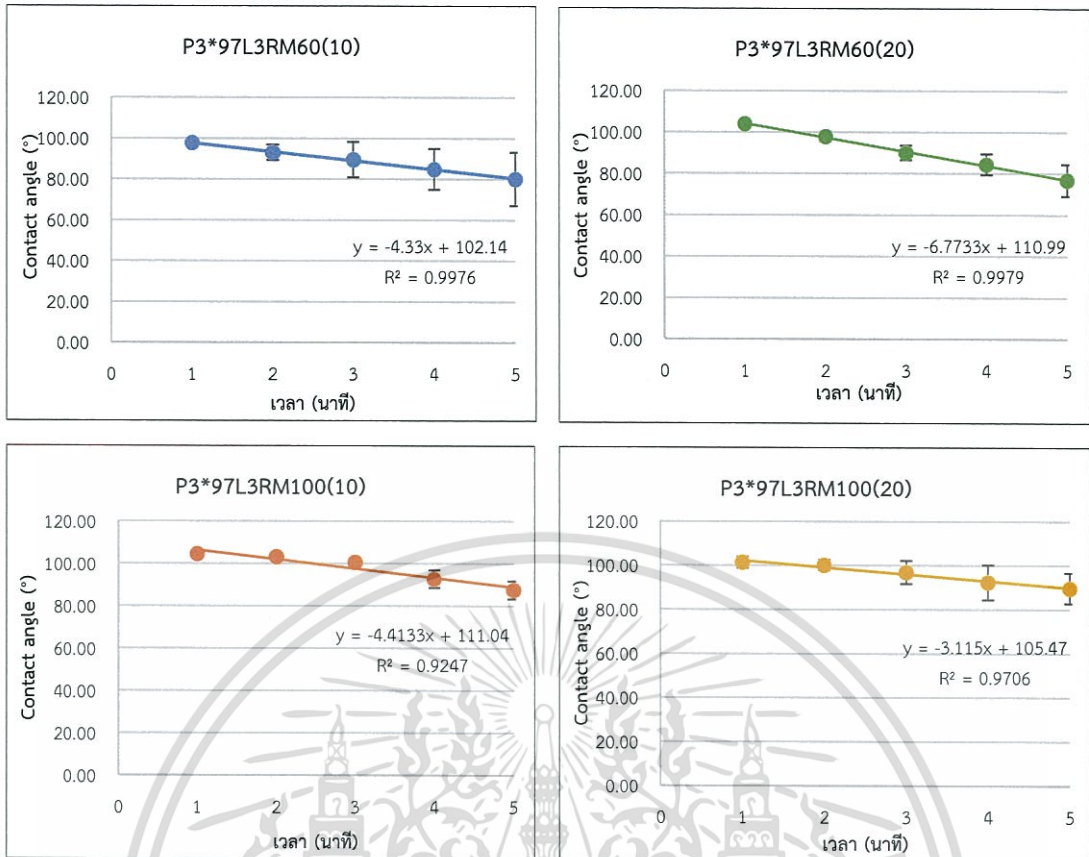
สูตร	ตำแหน่ง	ค่ามุมสัมผัสที่เวลาต่าง ๆ (นาที)										
		1		2		3		4		5		
P3*97L3RM60(10)	1											
		99.0	99.7	89.3	88.6	82.8	75.9	84.7	65.5	67.8	59.8	
	2											
		94.9	95.0	94.7	92.1	94.7	90.2	94.2	89.3	90.9	86.7	
	3											
		101.0	101.7	94.9	94.7	90.3	92.3	109.1	90.3	82.9	85.1	
	4											
		99.3	98.7	97.7	96.6	95.4	98.9	89.0	87.1	89.0	87.1	
	P3*97L3RM60(20)	1										
			99.6	99.5	94.3	86.2	90.6	86.2	78.2	66.8	67.7	63.5
		2										
			103.7	103.5	100.0	99.2	92.6	92.4	81.8	93.5	67.3	90.7
3												
		105.4	103.3	99.7	94.6	91.7	85.1	84.3	79.5	74.3	75.5	
4												
		105.0	103.4	98.7	95.1	92.4	86.2	86.8	81.0	75.4	78.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-4 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำกลั่นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ)

สูตร	ตำแหน่ง	ค่ามุมสัมผัสที่เวลาต่าง ๆ (นาที)										
		1		2		3		4		5		
P3*97L3RM100(10)	1											
		102.5	102.3	101.7	102.1	98.0	99.0	88.4	89.9	88.1	85.6	
	2											
		51.2	51.7	28.4	26.3	7.2	7.2	5.2	5.2	6.1	6.1	
	3											
		104.6	104.3	103.1	103.1	101.7	101.6	96.4	98.7	89.0	93.1	
	4											
		106.7	106.8	104.1	105.5	100.9	103.0	89.7	93.9	80.6	89.7	
P3*97L3RM100(20)	1											
		99.7	99.5	96.5	98.4	90.5	94.8	83.1	87.6	81.6	93.9	
	2											
		104.6	104.6	100.0	101.3	93.4	96.3	86.7	93.6	80.5	91.6	
	3											
		100.0	99.9	102.7	102.3	103.7	102.9	102.2	101.1	96.3	94.4	
	4											
		100.1	99.8	98.1	97.8	92.8	92.7	90.9	89.3	108.0	102.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสในแต่ละนาทียของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-5 ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสที่นาที่เริ่มต้นด้วยน้ำมันของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	8.875	2.085
P3*97L3RM60(20)	11.375	0.810
P3*97L3RM100(10)	10.600	2.474
P3*97L3RM100(20)	6.575	0.427

ตารางที่ ฉ-6 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำมันของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

สูตร	ตำแหน่ง	ค่ามุมสัมผัสที่เวลาต่าง ๆ (นาที่)									
		1		2		3		4		5	
P3*97L3RM60(10)	1										
		7.3	7.3	5.8	5.8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	11.7	9.2	10.4	8.5	8.7	8.7	7.8	7.8	7.3	7.3
						-	-	-	-	-	-
	4	27.9	16.0	8.8	7.5	-	-	-	-	-	-
P3*97L3RM60(20)	1										
		12.0	12.0	11.1	11.1	10.9	10.9	8.9	8.9	8.6	8.6
	2										
		5.5	5.5	4.5	4.5	4.1	4.1	3.9	3.9	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	11.2	10.3	8.9	8.7	6.9	6.7	5.7	5.7	6.4	5.6

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของฟิล์มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-6 ค่ามุมสัมผัสด้านซ้าย และด้านขวา ด้วยน้ำมันของฟิล์มสูตรต่าง ๆ (ต่อ)

สูตร	ตำแหน่ง	ค่ามุมสัมผัสที่เวลาต่าง ๆ (นาที)										
		1		2		3		4		5		
P3*97L3RM100(10)	1											
		8.5	8.5	6.9	6.9	30.0	30.0	6.2	6.2	6.2	6.2	
	2											
		7.0	18.1	10.3	22.5	6.3	6.3	15.1	5.3	7.9	7.9	
	3											
		12.1	13.3	16.6	14.1	11.5	11.0	16.2	7.4	4.3	4.3	
	4	-		-		-		-		-		
	P3*97L3RM100(20)	1										
			-		-		-		-		-	
		2										
			7.2	6.5	5.2	5.2	-	-	3.6	3.6	-	-
3												
		-		-		-		-		-		
4												
		5.1	5.1	-	-	3.9	3.9	3.7	3.7	-	-	
4												
		6.3	6.3	4.8	4.8	-	-	4.5	4.5	4.2	4.2	

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของฟิล์มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ข-1 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนขึ้นงานฉีกขาดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %

สูตร	ชิ้นงาน	Tensile Strength (MPa)	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	43.1619	44.2429	4.4802
	2	46.2667		
	3	47.9619		
	4	52.2667		
	5	44.5333		
	6	39.3905		
	7	40.6286		
	8	39.7333		
P3*97L3RM60(20)	1	46.6857	50.8000	4.7432
	2	57.5619		
	3	53.5238		
	4	48.0190		
	5	53.7905		
	6	55.1810		
	7	46.8000		
	8	44.8381		
P3*97L3RM100(10)	1	37.0667	35.5701	3.5741
	2	41.7333		
	3	31.2952		
	4	33.4286		
	5	34.7048		
	6	37.9048		
	7	32.8571		
P3*97L3RM100(20)	1	36.5714	44.8599	6.6704
	2	38.4571		
	3	44.3810		
	4	40.4190		
	5	51.6571		
	6	53.3905		
	7	49.1429		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ค่า Young's Modulus ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %

สูตร	ชั้นงาน	Young's Modulus (MPa)	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	2,200	2,100	150.5940
	2	2,300		
	3	2,200		
	4	2,000		
	5	1,900		
	6	2,000		
	7	2,200		
	8	2,300		
P3*97L3RM60(20)	1	2,200	2,100	168.5018
	2	2,100		
	3	2,300		
	4	2,100		
	5	2,000		
	6	2,300		
	7	2,400		
	8	1,900		
P3*97L3RM100(10)	1	1,400	1,600	146.7911
	2	1,450		
	3	1,800		
	4	1,450		
	5	1,600		
	6	1,600		
	7	1,700		
P3*97L3RM100(20)	1	1,900	2,100	244.9490
	2	1,800		
	3	2,100		
	4	1,900		
	5	2,200		
	6	2,400		
	7	2,400		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %

สูตร	ชิ้นงาน	% Elongation at Maximum Load	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	4.8911	4.4382	0.6389
	2	3.6347		
	3	4.1428		
	4	5.0858		
	5	4.7824		
	6	4.6917		
	7	4.8927		
	8	3.3845		
P3*97L3RM60(20)	1	4.6947	5.6831	0.9337
	2	6.1514		
	3	5.1319		
	4	6.1556		
	5	7.3462		
	6	4.6947		
	7	6.2082		
	8	5.0824		
P3*97L3RM100(10)	1	4.9871	4.6822	0.5529
	2	5.3933		
	3	4.0944		
	4	4.4455		
	5	5.0939		
	6	3.8893		
	7	4.8722		
P3*97L3RM100(20)	1	5.2184	4.0308	0.7265
	2	3.4235		
	3	3.6979		
	4	3.6463		
	5	3.4515		
	6	4.9069		
	7	3.8710		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนขึ้นงานฉีกขาดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ $75 \pm 5 \%$

สูตร	ชิ้นงาน	Tensile Strength (MPa)	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	13.5162	13.4562	2.2357
	2	15.0495		
	3	15.4667		
	4	15.0019		
	5	9.7448		
	6	11.9581		
P3*97L3RM60(20)	1	13.3257	13.3279	2.7801
	2	16.5790		
	3	11.8457		
	4	13.0667		
	5	10.5219		
	6	17.5010		
	7	10.4552		
P3*97L3RM100(10)	1	9.1371	9.8709	0.5210
	2	10.0952		
	3	9.6038		
	4	10.5086		
	5	10.0095		
P3*97L3RM100(20)	1	9.7143	12.9173	2.5377
	2	16.4952		
	3	13.8038		
	4	11.5390		
	5	13.0343		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ค่ายังมอดุลัสของยังของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 5 %

สูตร	ชิ้นงาน	Young's Modulus (MPa)	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	19.3060	20.0595	2.0960
	2	19.2830		
	3	23.1440		
	4	19.5110		
	5	17.2680		
	6	21.8450		
P3*97L3RM60(20)	1	20.1530	24.7817	6.5728
	2	20.8250		
	3	22.2860		
	4	35.3030		
	5	19.7170		
	6	21.9490		
	7	33.2390		
P3*97L3RM100(10)	1	17.6690	21.2628	4.3607
	2	18.8480		
	3	18.1360		
	4	24.1260		
	5	27.5350		
P3*97L3RM100(20)	1	23.7140	25.2304	2.6134
	2	23.6390		
	3	29.3400		
	4	23.1330		
	5	26.3260		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดที่รับแรงได้สูงสุดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ $75 \pm 5\%$

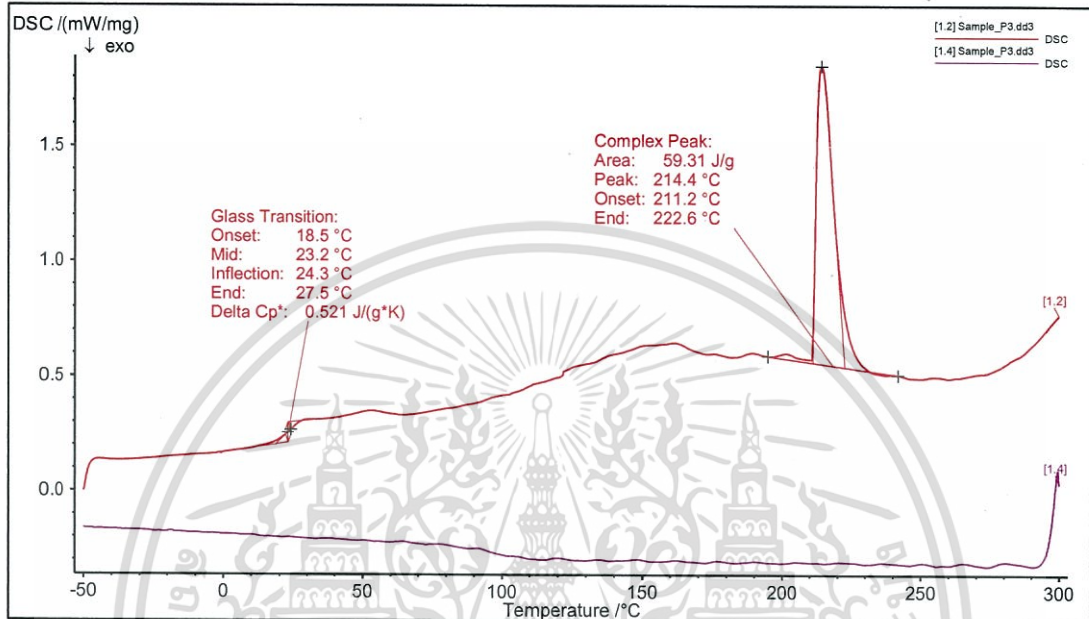
สูตร	ชิ้นงาน	Percentage Elongation at Maximum Load	ค่าเฉลี่ย	SD
P3*97L3RM60(10)	1	230.51	207.34	32.37
	2	235.21		
	3	207.47		
	4	158.60		
	5	178.31		
	6	233.92		
P3*97L3RM60(20)	1	230.81	198.17	44.85
	2	247.52		
	3	165.71		
	4	183.87		
	5	146.75		
	6	253.87		
	7	158.64		
P3*97L3RM100(10)	1	138.57	120.05	11.14
	2	109.84		
	3	118.41		
	4	113.24		
	5	120.21		
P3*97L3RM100(20)	1	131.60	121.34	20.17
	2	117.41		
	3	107.14		
	4	100.03		
	5	150.50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

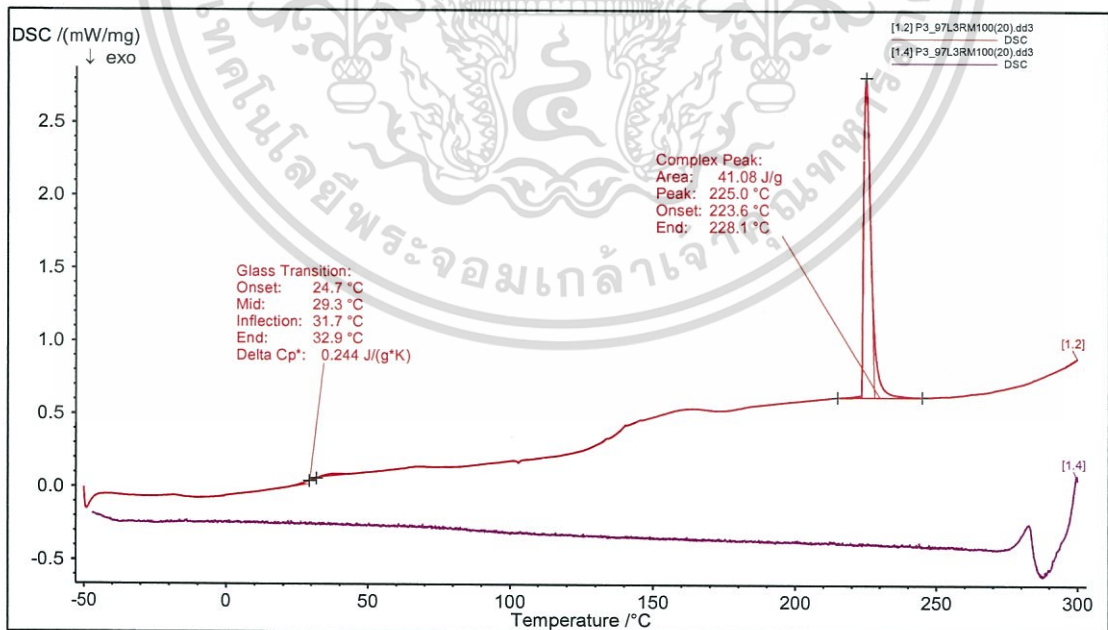
ภาคผนวก ข

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)



รูปที่ ข-1 เทอร์โมแกรมของสูตรฟิล์ม P3*



รูปที่ ข-2 เทอร์โมแกรมของสูตรฟิล์ม P3*97L3RM100(20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้