



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรด
โอเลอิก และน้ำมันสะหุง เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง

Study on Water Resistance Properties of Oleic Acid-modified Poly(vinyl alcohol)
and Castor Oil Crosslinking by Photochemical Systems

นายภัทรารุช มนต์วิเศษ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรด
โอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง

Study on Water Resistance Properties of Oleic Acid-modified Poly(vinyl alcohol)
and Castor Oil Crosslinking by Photochemical Systems

นายภัทรารุช มนต์วิเศษ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149116
วันเดือนปี - 4 ต.ค. 2561

b. 00266475
i.

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2559 ถึง 30 ก.ย. 2560

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬ.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง โดยสูตรฟิล์มมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก (PO) ต่อน้ำมันละหุ่ง (C) เป็น 100:0, 99:1, 97:3, 95:5 โดยน้ำหนัก มีวิธีการเชื่อมโยงฟิล์ม 3 ระบบด้วยกัน คือ ระบบที่ไม่ฉายแสง, ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, การทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม, การทดสอบสมบัติเชิงกล ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% และ 75±15%, การทดสอบมุมสัมผัส, การทดสอบการดูดความชื้น และการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ จากการทดสอบพบว่าฟิล์มที่มีน้ำมันละหุ่งเป็นองค์ประกอบมีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดี การทดสอบสมบัติเชิงกลที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% และ 75±15% พบว่าการปรับปรุงฟิล์มไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การดูดความชื้น พบว่าฟิล์มที่มีน้ำมันละหุ่งเป็นองค์ประกอบค่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ พบว่าฟิล์มทุกสูตรมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำ โดยปริมาณน้ำมันละหุ่ง และระบบเชื่อมโยงไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำ จากผลการวิจัยพบว่าฟิล์มที่มีสมบัติการต้านทานน้ำที่ดีที่สุดคือฟิล์มสูตร PO97C3IV ซึ่งใช้ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น

คำสำคัญ: กรดโอเลอิก น้ำมันละหุ่ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of Ready-to-use Foundation Materials in Tempera Painting

Researcher: Asst.Prof.Dr. Pathavuth Monvisade

Faculty: Science **Department:** Chemistry

ABSTRACT

This special project studied on the preparation of films consisting mainly of oleic acid-modified poly (vinyl alcohol) and castor oil. The weight ratios of oleic acid-modified poly (vinyl alcohol) (PO) and castor oil (C) were varied at 100:0, 99:1, 97:3 and 95:5 by weight. Methods for crosslinking i.e., no irradiation, irradiating under visible light and irradiating under UV light were varied to obtain the films. After that, the properties of the films i.e., water content (%WC), solid remain (%SR), swelling (%S), tensile properties at 5 and 75±15 %RH, contact angle, moisture uptake and water vapor permeability were investigated. The results showed that water resistance of the films was enhanced when castor oil was incorporated. The tensile results of the films revealed that there was no significant in tensile properties both conditions at 5 and 75±15 %RH. The moisture uptake results of the films contained castor oil showed the negligible declination of the value in comparison with non-incorporated films. In addition to water vapor permeability results, all films provided low water vapor permeability value. The amount of castor oil and crosslinking system did not affect water permeability of the films. All in all, the most prominent film in this project was PO97C3IV crosslinked by irradiating under visible light.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการ	3
2.1 ฟิสิกส์	3
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol))	3
2.2.1 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	4
2.2.2 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	4
2.2.3 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	5
2.3 กรดไขมัน (Fatty acid)	5
2.3.1 กรดโอเลอิก (Oleic acid)	8
2.3.2 น้ำมันละหุ่ง (Castor oil)	8
2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)	10
2.5 ระบบเชื่อมโยง	10
2.5.1 ระบบความร้อน (Thermal)	11
2.5.2 ระบบรีดอกซ์ (Redox)	13
2.5.3 ระบบฉายแสง (Photochemical)	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	18
3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	18
3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดัดแปร	18
3.3 การเตรียมสูตรฟิล์ม	19
3.4 การขึ้นรูปฟิล์ม	20
3.5 การทดสอบ (Testing)	21
3.5.1 ความหนาของฟิล์ม	21
3.5.2 การทดสอบค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (%Water content (%WC))	21
3.5.3 การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ (%Solid remain (%SR))	21
3.5.4 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (%Swelling (%S))	22
3.5.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	22
3.5.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Contact angle)	23
3.5.7 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture uptake)	23
3.5.8 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability (WVP))	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	25
4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม	27
4.2 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม	29
4.2.1 ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (%Water content (%WC))	29
4.2.2 ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ (%Solid remain (%SR))	34
4.2.3 ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (%Swelling (%S))	35
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม	36
4.3.1 ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile strength)	36
4.3.2 ค่ายังมอดุลัส (Young's modulus)	37
4.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	38
4.4 การทดสอบมุมสัมผัส (Contact angle)	39
4.5 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture uptake)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability (WVP))	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการวิจัย	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	45
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	48
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	5
2.2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว และแหล่งอาหาร	6
2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จำนวนพันธะคู่ และแหล่งอาหาร	7
2.4 สมบัติของน้ำมันละหุ่ง	9
2.5 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันละหุ่ง	9
2.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัวโดยความร้อน	12
3.1 สูตรฟิล์มที่ศึกษา	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	3
2.2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต	4
2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก	8
2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	10
2.5 ปฏิกิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับเอทานอล	10
2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลอะซิเตต	10
2.7 ตัวอย่างของมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบลูกโซ่	11
2.8 ตัวอย่างของมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบควบแน่นพอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบควบแน่น	11
2.9 ปฏิกิริยาการแตกตัวของ AIBN (ก) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (ข)	12
2.10 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต	14
2.11 ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบเบนโซฟีโนน	15
3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	18
3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตัดแปรด้วยกรดโอเลอิก	19
3.3 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	22
4.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกรดโอเลอิก	26
4.2 ตัวอย่างฟิล์มที่เตรียมได้ ความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร	28
4.3 ค่าปริมาตรน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง	29
4.4 โซเดียมเปอร์ซัลเฟตแตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งอัลลิลิกหรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิกและน้ำมันละหุ่ง	31
4.5 อันตรกิริยาที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือน้ำมันละหุ่ง	33
4.6 ค่าปริมาตรของแข็งคงเหลือหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง	34
4.7 ค่าปริมาตรน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มภายหลังแช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง	35
4.8 ความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนชิ้นงานฉีกขาดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ	36
4.9 ค่า Young's Modulus ของฟิล์มสูตรต่าง ๆ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ	38
4.11 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ ด้วยน้ำกลั่น	39
4.12 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลง a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว c) มุมที่แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม	40
4.13 ค่าการดูดความชื้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ	40
4.14 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของสูตรฟิล์มต่าง ๆ	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์ฟิล์มมีการนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างหลากหลายทั้งทางด้านอุปโภคบริโภค เช่น งานบรรจุภัณฑ์ วัสดุเคลือบผิว เยื่อเลือกผ่าน วัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ฟิล์มส่วนใหญ่มีแหล่งวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และไม่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ จึงมีต้นทุนในการกำจัดหลังการใช้งาน และยังก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อผู้บริโภค

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ โดยฟิล์มที่ได้มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำ คำนทานต่อน้ำมัน ไขมัน และสารละลายต่าง ๆ ได้ดีเยี่ยม รวมทั้งมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนทานต่อการขีดข่วน และการกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง ทั้งยังสามารถย่อยสลายได้ดีในบ่อบำบัดน้ำเสีย พลาสติกในรูปแผ่นฟิล์มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หีบห่อทั่วไป และยังสามารถนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ ได้แก่ ด้านการเกษตร ด้านสิ่งทอ ด้านการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามฟิล์มที่ได้จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีข้อด้อย คือ มีสมบัติการต้านทานน้ำหรือความชื้นที่ต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในงานที่ต้องการสมบัติการต้านทานน้ำหรือความชื้นสูงได้

มีงานวิจัยที่ผ่านมา [1-3] ได้นำกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิกมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อปรับโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มีความเป็นขั้วน้อยลงและต้านทานน้ำมากขึ้น นอกจากนี้พันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวยังสามารถเกิดพันธะเชื่อม โยงในขณะขึ้นรูปฟิล์ม ทำให้ได้สมบัติการต้านทานน้ำดีขึ้น

ละหุ่ง เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เป็นพืชในวงศ์เดียวกับยางพารา และมันสำปะหลัง โดยน้ำมันละหุ่งได้จากเมล็ดละหุ่ง ซึ่งภายในเมล็ดประกอบด้วยน้ำมันระเหยยากประมาณ 45-55% โปรตีน 15-20% ในน้ำมันมีองค์ประกอบสำคัญ คือ กรดริซิโนเลอิก น้ำมันละหุ่งมีสมบัติ ไม่แห้งง่าย มีความหนืด และเหนียวลื่นกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ โดยมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 935-1,033 เซนติพอยส์ ที่ 20 °C จึงมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น สี พลาสติก เครื่องสำอาง หมึกพิมพ์ น้ำมันหล่อลื่น และจาระบี [4-5] งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำน้ำมันละหุ่งมาเป็นส่วนผสมในการเตรียมฟิล์มร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อให้ฟิล์มมีสมบัติการต้านน้ำที่ดีขึ้น และการใส่น้ำมันละหุ่งจะสามารถเพิ่มความหนืดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้ขึ้นรูปฟิล์มได้ง่ายขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการพัฒนาฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยการปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และนำน้ำมันละหุ่งมาใช้เป็นองค์ประกอบ และเชื่อม โยง โครงสร้างทางเคมีด้วยระบบการฉายแสงช่วงคลื่น UV-Visible จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบหาค่าปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, การทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มสุดท้าย, การทดสอบสมบัติเชิงกล, การทดสอบมุมสัมผัส, และการทดสอบการดูดความชื้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาฟิล์มที่มีสมบัติการต้านทานน้ำจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. สังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก

1.3.2 เตรียมสูตรฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกกับน้ำมันละหุ่ง โดยการเชื่อมโยงฟิล์มด้วยระบบการฉายแสง คือ การเชื่อมโยงด้วยแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และแสงอัลตราไวโอเล็ต เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ฉายแสง

1.3.3 ตรวจสอบและศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาของแผ่นฟิล์ม, การทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, การทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มสุดท้าย, การทดสอบสมบัติเชิงกล, การทดสอบมุมสัมผัส, และการทดสอบการดูดความชื้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่งให้มีความสามารถในการต้านทานน้ำที่ดี

1.4.2 ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการบวมตัว ความสามารถในการต้านทานน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 फिल्म (Film)

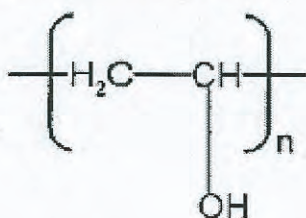
ฟิล์มมีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราค่อนข้างมาก การใช้งานที่เห็นได้ชัด คือ ใซห่ออาหารถึงสำเร็จรูปและอาหารสด นอกจากนี้ยังได้มีการนำฟิล์มมาใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อใซห่อสินค้าหรือการรวมสินค้าเป็นหน่วยเดียวกัน รวมทั้งการห่อสินค้าบนแท่นรองรับเพื่อใซห่อต่อการลำเลียงขนส่ง ใซประโยชน์ในการช่วยยืดอายุสินค้าที่วางขายใซ้ผู้บริโภคสามารถมองเห็นสินค้าจากภายนอกได้ และช่วยป้องกันสิ่งปนเปื้อนในสินค้าอีกด้วย

ฟิล์มจัดเป็นพลาสติกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติเฉพาะ คือ เหนียว ใส และมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถใซห่อสินค้าได้โดยไม่ใซ้ความร้อนเพื่อให้แผ่นฟิล์มเกาะติดกัน จึงสามารถนำมาใซประโยชน์ได้เป็นอย่างดีกับสินค้าที่อาจเสียหายได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน เช่น ผลไม้ ผัก และอาหารสดต่าง ๆ เม็ดพลาสติกที่นิยมใซ้ผลิตเป็นฟิล์ม คือ พอลิพรอพิลีน, พอลิเอทิลีน, พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

สารเติมแต่งที่จำเป็นในการผลิตฟิล์ม ได้แก่ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) เพื่อป้องกันการสลายตัวของพลาสติกในกระบวนการผลิต สารเกาะติด (Cling agent) เพื่อช่วยใซ้ฟิล์มยึดติดกันได้ดีเมื่อนำมาใซห่อสินค้า และสารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อการใช้งานเฉพาะทาง เช่น สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (UV inhibitor) เพื่อยืดอายุของฟิล์ม สารป้องกันการเกาะติด (Antiblock agent) เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มเกาะติดกันแน่น เป็นต้น [11] อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่ใซ้งานไม่ควรมองข้ามคือการเลือกใซ้ฟิล์มให้เหมาะสมกับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ สมบัติของฟิล์มที่สำคัญในการเลือกใซ้ ได้แก่ ความยืดหยุ่น (Elasticity), การต้านทานแรงดึง (Tensile strength), ความสามารถในการยืดตัว (Stretch force), อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas transmission rate) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapors transmission)

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol))

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสูตรโครงสร้าง แสดงดังรูป 2.1

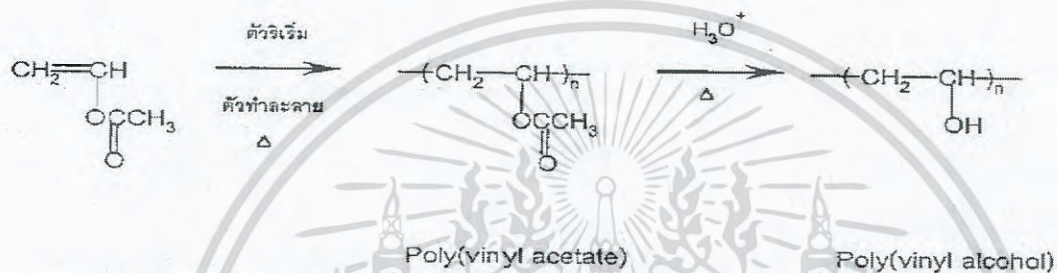


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใซงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใซประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใซ้

2.2.1 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถเตรียมผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจากมอนอเมอร์ไวนิลแอลกอฮอล์ (Vinyl alcohol) ได้ เนื่องจากมอนอเมอร์ดังกล่าวเป็นสารที่ไม่เสถียร จึงต้องเตรียมผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate) ตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพอลิไวนิลอะซิเตตในเอทานอลในระบบที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่อะซิเตตไปเป็นหมู่ไฮดรอกซี จะส่งผลให้สภาพขั้วของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น และละลายในน้ำได้ดีขึ้น การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต [11] แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต

2.2.2 สมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ และละลายในเอทานอลได้เล็กน้อย แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ใดๆ ทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติการก่อตัวเป็นฟิล์ม และการยึดติด (กาว) ที่ดีเยี่ยม อีกทั้งยังมีความแข็งแรงดึง และความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูง และมีสมบัติป้องกันการระเหยของน้ำมัน และกลิ่น ทั้งนี้สมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากมีความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น โดยน้ำทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ส่งผลให้ลดความแข็งแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงเหนียวและแรงยึดให้มากขึ้น โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C และสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิส อย่างสมบูรณ์มีจุดหลอมเหลวที่ 230°C และที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วนมีจุดหลอมเหลวที่ 180-190°C [12] สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [13]

ลักษณะภายนอก	เป็นผงสีขาวหรือเม็ดสีขาวจนถึงครีม
Specific gravity	1.25-1.32
ความหนาแน่น	1.298 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว	80°C
จุดหลอมเหลว	230°C
จุดเดือด	228°C
ความคงทนต่อน้ำมัน	ไม่ละลายในน้ำมัน
ความคงทนต่อสารละลาย	ไม่ละลายในตัวละลายอินทรีย์
ความคงทนต่อกรด-เบส	อ่อนตัวและละลายได้ในทั้งกรดและเบส

2.2.3 การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [14] แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. อาศัยสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นสารอิมัลชัน (thickening agent) เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง กาว ใช้เป็นตัวประสานในสี และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษที่มีความใส เหนียวและทนต่อการขีดข่วน

2. นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีแบบเชื่อมโยงซึ่งจะไม่สามารถละลายได้ในน้ำแล้วจึงนำมาใช้งาน ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30% w/w) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอ และสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี อีกทั้งนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม เป็นต้น

2.3 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดที่ได้จากน้ำมัน ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) โดยมีจำนวนของคาร์บอนเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป มีสูตรทั่วไป คือ $R-COOH$ ลักษณะสูตรโครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียกว่า คาร์บอกซิล ($-COOH$) ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า สายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (R) โดยมีธาตุคาร์บอนทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวกันเป็นสายโซ่ โดยปกติแล้วธาตุคาร์บอนจะมีอยู่ 4 แขนง แขนงที่เหลือจากการจับธาตุคาร์บอนด้วยกันจะไปจับกับธาตุไฮโดรเจน กรดไขมันมีอยู่หลายชนิด ทุกชนิดจะมีหน่วยคาร์บอกซิลอยู่หนึ่งหน่วยเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะทางเคมีในส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ทำให้กรดไขมันมีชื่อแตกต่างกันไป [15]

กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ (Double bond) มีแต่พันธะเดี่ยวหรือหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) อื่น ๆ ในสายโซ่ส่วนของไฮโดรคาร์บอน เป็นกรดไขมันที่ในโมเลกุลมีคาร์บอนกับไฮโดรเจนจับเกาะอยู่เต็มที่แล้ว ไม่สามารถรับไฮโดรเจนหรือธาตุอื่นเข้าไปในโมเลกุลได้อีก โดยที่สายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (R) เท่ากับ C_nH_{2n+1} และ n เป็นตัวเลขที่แสดงถึงจำนวนคาร์บอนอะตอม กรดไขมันชนิดนี้พบมากในไขมันสัตว์ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว [16] ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว และแหล่งอาหาร [15-17]

ชื่อกรดไขมันอิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	แหล่งอาหาร	จุดหลอมเหลว (°C)
กรดบิวไทริก (Butyric acid)	$CH_3(CH_2)_2COOH$	เนย และไขมัน เนย	-7.9
กรดคาโปรอิก (Caproic acid)	$CH_3(CH_2)_4COOH$	เนย และไขมัน เนย	-3.4
กรดคาปริลิก (Caprylic acid)	$CH_3(CH_2)_6COOH$	น้ำมันมะพร้าว และไขมันนม	16.7
กรดคาปริก (Capric acid)	$CH_3(CH_2)_8COOH$	น้ำมันปาล์ม	31.3-31.6
กรดลอริก (Lauric acid)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	น้ำมันมะพร้าว	44.0-44.2
กรดไมริสติก (Myristic acid)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	น้ำมันมะพร้าว ไขมันสัตว์	53.9-54.4
กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	น้ำมันพืชและ ไขมันสัตว์	62.7-63.1
กรดสเตียริก (Stearic acid)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	น้ำมันพืชและ ไขมันสัตว์	69.6
กรดอะราซิดิก (Arachidic acid)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	75.4-76.5
กรดบีฮีนิก (Behenic acid)	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	80.0-81.5
กรดลิกโนซีริก (Lignoceric acid)	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	น้ำมันถั่วลิสง	84.2-86.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ ในส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน มีจำนวนพันธะคู่อาจมีมากกว่า 1 ตำแหน่งขึ้นกับแต่ละชนิด กรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่จะพบมากในไขมันพืช ยกเว้นน้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว การมีพันธะคู่อยู่มากเกินไปจะส่งผลให้น้ำมันเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ แต่พบว่าน้ำมันสัตว์มีกลิ่นเหม็นหืนเร็วกว่าน้ำมันพืชทั้ง ๆ ที่น้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าน้ำมันสัตว์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันพืชมีวิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเจนอยู่แล้วตามธรรมชาติ ตัวอย่างกรดไขมันชนิดนี้ ได้แก่ กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก เป็นต้น [15] ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จำนวนพันธะคู่ และแหล่งอาหาร [15-17]

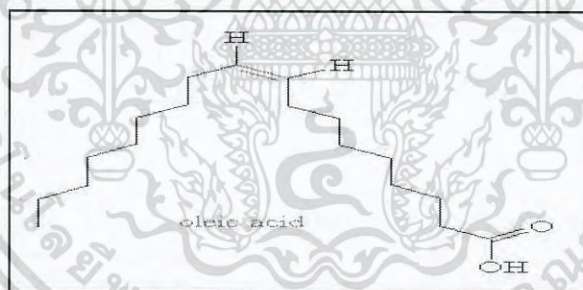
ชื่อกรดไขมันไม่อิ่มตัว	สูตรโครงสร้าง	จำนวนพันธะคู่	แหล่งอาหาร	จุดหลอมเหลว (°C)
กรดปาลมิโตเลอิก (Palmitoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1	เนย	0-0.5
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1	น้ำมันมะกอก	10.5-16.0
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	2	น้ำมันลินซีด	-5.0
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	3	น้ำมันลินซีด	-11.0
กรดอะราชิโดนิก (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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กรดโอเลอิก (Oleic acid)

กรดโอเลอิก [18] จัดเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวที่พบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะกอก กรดไขมันชนิดนี้ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิสูง เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะเป็นของเหลวคล้ายกับน้ำมัน มีสีน้ำตาลอมเหลือง กลิ่นเหมือนน้ำมัน จึงเหมาะแก่การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มีความต้านทานน้ำดีขึ้น เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีความเป็นขั้ว มีความชอบน้ำ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีกิ่งก้านที่ยาวขึ้น เพื่อลดความเป็นขั้วและความชอบน้ำลง สามารถต้านทานน้ำได้มากขึ้น

กรดโอเลอิก (ภาพที่ 2.3) มีชื่อทางเคมีว่า Octadecenoic acid มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 จัดเป็น Monounsaturated fatty acid เนื่องจากมีตำแหน่งพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง ดังนั้นรูปร่างของโมเลกุล Oleic acid จึงไม่ได้เป็นเส้นตรง แต่จะมีลักษณะหักมุมที่ตำแหน่งพันธะคู่ กรดโอเลอิกมักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสารหล่อลื่น และอุตสาหกรรมเคลือบเงา เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก

2.3.2 น้ำมันละหุ่ง (Castor oil)

น้ำมันละหุ่งได้จากเมล็ดที่มีลักษณะเป็นทรงรี เปลือกเมล็ดสีน้ำตาลแดงประขาว หรือจุดสีน้ำตาลปนเทา มีสีแตกต่างกันไปขึ้นกับแต่ละพันธุ์ เนื้อในสีขาว (มีโปรตีนที่มีพิษ) ภายในเนื้อเมล็ดมีน้ำมันประมาณ 45-55% เป็นของเหลว ข้น เหนียว ใส ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเล็กน้อย และโปรตีน 15-20% ซึ่งในน้ำมันมีองค์ประกอบสำคัญ คือ Triricinoleoylglycerol คิดเป็นประมาณ 90% ของกรดไขมันทั้งหมดที่เหลือเป็น Linoleic acid, Oleic acid, Stearic acid เล็กน้อย [19] สมบัติบางประการของน้ำมันละหุ่ง แสดงตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันละหุ่งใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ของพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก ยาง กาวบางประเภทและสี บางครั้งใช้เป็นสารหล่อลื่นในเครื่องมือ เพราะมันสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และสามารถต้านทานที่อุณหภูมิสูงได้ [20]

ตารางที่ 2.4 สมบัติของน้ำมันละหุ่ง [19]

น้ำหนักโมเลกุล	298 g.mol ⁻¹
ความหนาแน่น ที่ 25°C	0.961-0.963 g/mol
จุดหลอมเหลว	5°C
จุดเดือด	313°C
จุดแข็งตัว	(-10) - (-18)°C
ความหนืด ที่ 20°C	935-1,033 centipoint
ดัชนีหักเห	1.477-1.479
ค่าความเป็นกรด	3
ค่า Iodine	82-88
ค่า Saponification	179-185

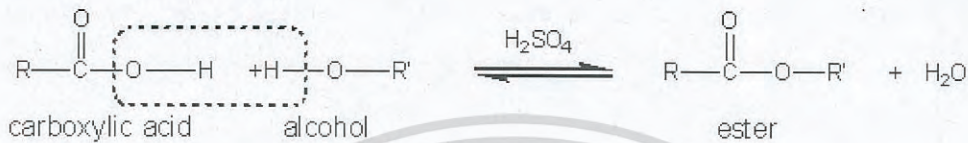
ตารางที่ 2.5 กรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันละหุ่ง [21-22]

กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
Ricinoleic acid	85-95
Oleic acid	2-6
Linoleic acid	1-5
α-Linoleic acid	0.5-1
Palmitic acid	0.5-1
Stearic acid	0.5-1
Dihydroxystearic acid	0.3-0.5
Others	0.2-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction)

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน [23] เป็นปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) กับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเป็นกรด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทเอสเทอร์ และน้ำ สามารถเขียนสมการทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน แสดงดังสมการในภาพที่ 2.4



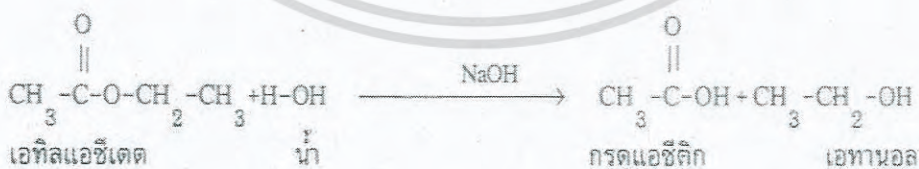
ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ตัวอย่าง ปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับเอทานอลที่อุณหภูมิสูง โดยมีกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังสมการในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาระหว่างกรดแอสติกกับเอทานอล

เอสเทอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) แยกออกเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลแอสเตต แสดงดังสมการในภาพที่ 2.6

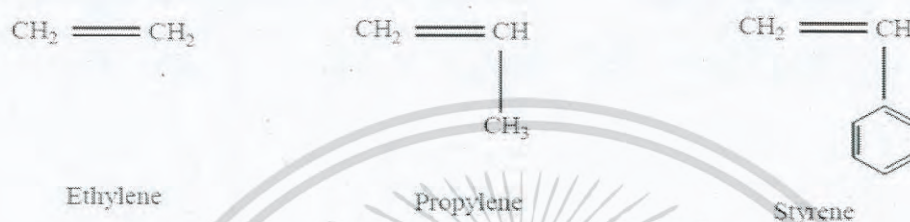


ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลแอสเตต

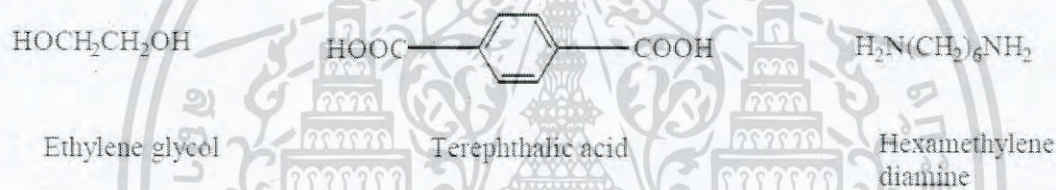
2.5 ระบบเชื่อมโยง

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์มีหลายประเภท แต่โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ ปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ (Chain addition polymerization) และปฏิกิริยาแบบควบแน่นหรือแบบขั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Condensation หรือ step growth polymerization) โดยปฏิกิริยาแต่ละประเภทจะเกี่ยวข้องกับสารตั้งต้นมอนอเมอร์ (Monomer) ที่มีโครงสร้างต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งปฏิกิริยาแบบลูกโซ่จะเกิดกับมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอน เช่น เอทิลีน พรอพิลีน และสไตรีน แสดงดังภาพที่ 2.7 ในขณะที่ปฏิกิริยาแบบควบแน่นจะเกิดกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป เช่น เอทิลีนไกลคอล เฮกซะเมทิลีนไดเอมีน และกรดเทเรฟทาลิก แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างของมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบลูกโซ่



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกแบบควบแน่น

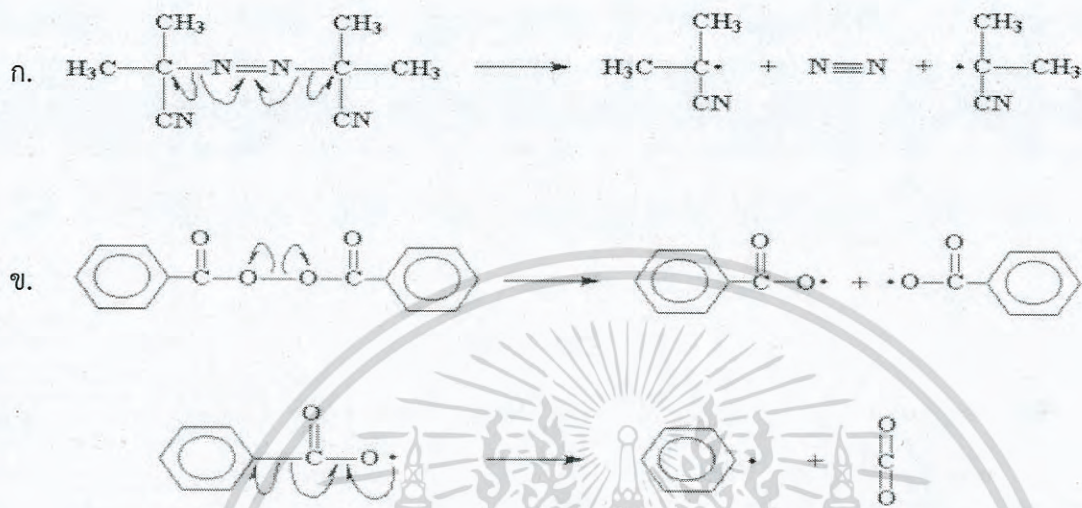
สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยกลไกแบบลูกโซ่ โดยเกิดปฏิกิริยาผ่านสารที่ว่องไว (Active specie) ประเภทต่าง ๆ เช่น อนุมูลอิสระ (Free radical) ไอออนลบ (Anion) หรือไอออนบวก (Cation) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ที่เติมลงไป

โดยอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้โดยอาศัยตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ เช่น ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยความร้อน (Thermal initiator) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยใช้แสง (Photo initiator) และตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox initiator)

2.5.1 ระบบความร้อน (Thermal)

ในระบบความร้อนตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะมีการแตกตัวด้วยความร้อนมักเป็นสารประกอบประเภทเปอร์ออกไซด์ เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ไดอะเซทิลเปอร์ออกไซด์ (Diacyl peroxide) ไดเทอร์เทียริบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Di-t-butylperoxide) โดยสารเปอร์-ออกไซด์เหล่านี้จะเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งพันธะระหว่างออกซิเจนกับออกซิเจน นอกจากนั้นยังมีสารประกอบเอโซ เช่น เอโซบิสไอโซบิวทิลโลไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile) หรือ AIBN ที่เกิดการแตกตัวที่พันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อนุมูลอิสระ แสดงดังภาพที่ 2.9 โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแตกตัวที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6



ภาพที่ 2.9 ปฏิกิริยาการแตกตัวของ AIBN (ก) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (ข)

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่แตกตัวโดยความร้อน

ชื่อ	อุณหภูมิที่แตกตัว (°C)
Dibenzoyl peroxide	40-90
Di-t-butyl peroxide	80-150
Azo-bisisobutyronitrile (AIBN)	20-100
Hydrogen peroxide	30-80
Cumene hydroperoxide	50-100

การแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้มีข้อสังเกตที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก การแตกตัวไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันทุกโมเลกุล แต่ปริมาณการแตกตัวจะเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยมีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ของการแตกตัวเป็นดัชนีในการบ่งชี้ว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดใดแตกตัวได้เร็วหรือช้ากว่ากัน โดยถ้าหากค่าครึ่งชีวิตมีค่าน้อยก็แสดงว่าตัวริเริ่มปฏิกิริยานั้น ๆ สามารถแตกตัวได้เร็วจนมีความเข้มข้นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นที่ใส่ลงไปตอนเริ่มต้นภายในเวลาอันสั้น นอกจากนี้ค่าครึ่งชีวิตของตัวริเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาด้วย กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเกิดการแตกตัวได้มากขึ้น และทำให้ค่าครึ่งชีวิตมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตประการที่สอง อนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้จะมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะไปทำหน้าที่กระตุ้นมอนอเมอร์ให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น โดยอนุมูลอิสระบางส่วนอาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ทำให้สูญเสียความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาไป ซึ่งปฏิกิริยาข้างเคียงเหล่านี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Wastage reaction เช่น สารประกอบเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 2.9 (ข) โดยอนุมูลอิสระของเบนโซอิลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกสามารถแตกตัวต่อไปเป็นอนุมูลอิสระของฟีนิล และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอนุมูลอิสระของฟีนิลที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดการรวมตัวกันเองหรือรวมตัวกับอนุมูลอิสระของเบนโซอิลซึ่งทำให้ได้โมเลกุลที่แตกตัวได้ยาก ในทำนองเดียวกันสาร AIBN แสดงดังภาพที่ 2.9 (ก) จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้เช่นกัน โดยอนุมูลอิสระคาร์บอนที่เกิดขึ้น 2 ตัวจะจับกันเองได้เป็นโมเลกุลที่แตกตัวได้ยากในสภาวะที่ทำปฏิกิริยา สำหรับกรณีของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ชนิดอื่น ๆ เช่น ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์พบว่าอนุมูลอิสระบิวทิลที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวครั้งแรกจะค่อนข้างเสถียรและมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงน้อย

อาจกล่าวได้ว่า ตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทที่แตกตัวโดยความร้อนอาจจะไม่ได้มีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่กระตุ้นมอนอเมอร์ได้ทั้ง 100% และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นอยู่กับความเสถียรของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [24]

2.5.2 ระบบรีดอกซ์ (Redox)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ [25] เป็นปฏิกิริยาเกี่ยวกับการถ่ายโอน (ให้-รับ) อิเล็กตรอน แบ่งออกเป็น 2 ครั้ง ปฏิกิริยา (Half-reaction) คือ

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



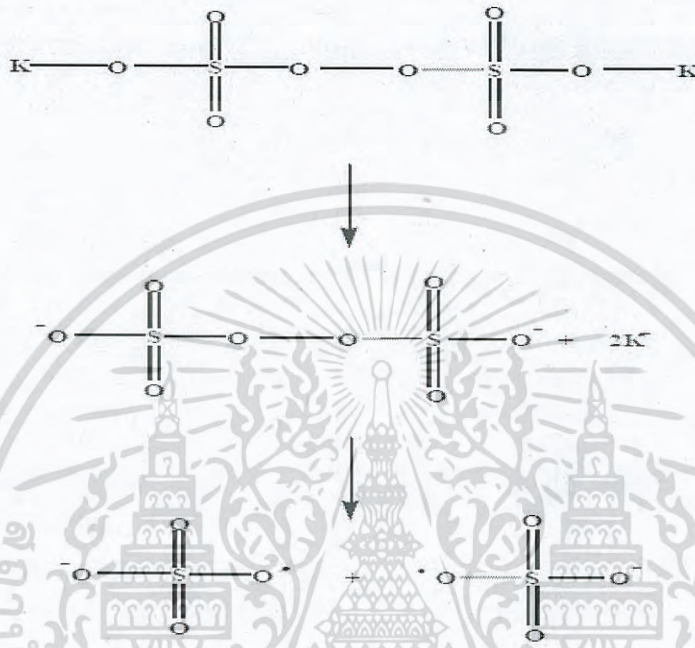
2. ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน ซึ่งสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า เกิดรีดักชัน เช่น Cu^{2+} เป็นสารที่รับอิเล็กตรอน เกิดเป็น Cu สารที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) แสดงดังสมการที่ 2.2



ปฏิกิริยาทั้งสองต้องเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ จึงเรียกปฏิกิริยารวมว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่แตกตัวโดยผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทนี้ ได้แก่ สารเปอร์ออกโซไดซัลเฟต เช่น โพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ซึ่งสามารถแตกตัวได้เองที่ อุณหภูมิต่ำ ($30^{\circ}C$) โดยไม่ต้องใช้ร่วมกับตัวรีดิวซ์ แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารโพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต

ส่วนในกรณีที่ใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จะต้องใช้ตัวรีดิวซ์ เช่น Fe^{2+} ร่วมด้วย โดยปฏิกิริยาจะเกิดผ่านการถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก Fe^{2+} ไปยังสารประกอบเปอร์ออกไซด์และทำให้สารประกอบดังกล่าวแตกออกที่พันธะเปอร์ออกซิ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระสารประกอบไอออนลบ และ Fe^{3+} แสดงดังสมการที่ 2.3



มีข้อสังเกตว่า ตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ส่วนใหญ่จะสามารถละลายได้ในน้ำ ดังนั้นจึง สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านวิธีแบบอิมัลชันได้ดี

2.5.3 ระบบฉายแสง (Photochemical)

ในระบบฉายแสงจะเกิดปฏิกิริยาเคมีทางแสง (Photochemical reaction) ที่สภาวะกระตุ้น (Excited state) โดยมีเพียงบางโมเลกุลเท่านั้นที่ได้รับพลังงาน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีทางแสงจะเกิดเฉพาะกับโมเลกุลที่ได้รับแสงแล้วจึงเกิดสารผลิตภัณฑ์ อะตอมหรือโมเลกุลที่ได้รับแสงในช่วงUltraviolet (UV) หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การคายพลังงานออกมาในรูปแสง ฟลูออเรสเซนซ์ หรือ เปลี่ยนเป็นพลังงานภายในเพื่อเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น แสดงดังสมการที่ 2.4



แสงที่ความยาวคลื่นช่วง : UV – VIS (200-800 nm)

เมื่อ M : อะตอมหรือโมเลกุลในสถานะพื้น (Ground state)

M* : อะตอมหรือโมเลกุลในสถานะกระตุ้น [24]

ตัวอย่างของตัวริเริ่มปฏิกิริยาประเภทนี้ ได้แก่ สารเบนโซฟีโนน (Benzophenone) ซึ่งนิยมใช้เป็น Photo-sensitizer ในปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นซึ่งสามารถให้อนุมูลอิสระได้ โดยสารดังกล่าวเมื่อได้รับแสงจะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น จากนั้นจะกลับคืนสู่สถานะพื้นในรูปของอนุมูลอิสระ แสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบเบนโซฟีโนน

ข้อดีของการใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเหล่านี้ คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์อาจจะสามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ในการใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านมอนอเมอร์บางชนิดที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น ไอโซพรีน (จุดเดือดประมาณ 30°C) เป็นต้น [24]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K. Mikhail [6] ศึกษาสมบัติฟิล์มบางจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการ Freezing-thawing นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100 กรัมต่อลิตร ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 85-100 องศาเซลเซียส พร้อมบ่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้สารละลายเย็นตัวลง เติมน้ำแข็งลงในสารละลายเพื่อเป็นส่วนผสมให้กับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้เกิดความคงตัวระหว่าง freeze-thaw พบว่าเมื่อนำมาทดสอบมุมสัมผัส โดยหยดน้ำกลั่นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปบนผิวชิ้นงานเกิดการแยกตัวของหยดน้ำกับผิวชิ้นงาน ซึ่งแสดงถึงสมบัติไม่ชอบน้ำของฟิล์มบางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ชมพูนุช ฉันทะจรัสศิลป์ และคณะ [2] ศึกษาและพัฒนาการวาดโดยมีองค์ประกอบหลักของเนื้อกาวยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซิเตดที่ปรับปรุงด้วยน้ำมันลินสีดและกรดโอเลอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของกาวอัด โดยนำเนื้อกาวที่เตรียมได้มาผสมน้ำยาไวแสง แล้วปลดลงบนแม่พิมพ์สกรีน ทำการฉายแสงที่ช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นที่เวลาต่าง ๆ นำแม่พิมพ์ไปล้างด้วยน้ำ จะปรากฏลายภาพ เมื่อนำมาทดสอบความคงทนเบื้องต้นและความคงทนในสภาวะใช้งาน พบว่ากาวอัดสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ กาวอัดที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเนื้อกาวพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก 5 pph ต่อพอลิไวนิลอะซิเตด เท่ากับ 4:6 และปรับปรุงสมบัติของกาวอัดด้วยน้ำมันลินสีด 4 pph โดยใช้เวลาในการฉายแสงอยู่ในช่วงเวลา 2.5-3.5 นาที พบว่ากาวอัดมีสมบัติต้านทานน้ำดีขึ้น

ณัฐชนัน อุนเกษม และคณะ [7] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยน้ำมันชักแห้ง 2 ชนิด คือน้ำมันทัง และน้ำมันละหุ่ง สำหรับเตรียมกาวอัดเชื่อมกระดาษ เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานน้ำและสมบัติเชิงกล โดยกำหนดอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อ น้ำมันทัง ต่อ น้ำมันละหุ่ง เป็น 85:15:0, 82.5:15:2.5 และ 80:15:5 โดยน้ำหนัก ใช้กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โพลีเอทิลีนเพอร์ซัลเฟตเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา เมื่อให้ความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงพันธะคู่ของน้ำมันชักแห้งทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล เกิดปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติไม่ชอบน้ำ

S. Tharhate and J. Ngamcharoenthavorn [8] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก ร่วมกับน้ำมันลินสีดในการเตรียมกาวไม้ เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานน้ำและสมบัติเชิงกล โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น โพลีเอทิลีนเพอร์ซัลเฟตเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิคเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล และเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก พบว่าสูตรกาวไม้ที่ให้ผลการทดสอบดีที่สุดคือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ : กรดโอเลอิก : กรดลิโนเลอิก เป็น 90:5:5 ทำให้สมบัติการต้านทานน้ำและสมบัติเชิงกลเพิ่มมากขึ้น

J. Suksaeree, C. Luprasong and C. Monton [9] ศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติก โดยละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในน้ำร้อนจนสารละลายใส แล้วใส่กรดแลคติกที่อุณหภูมิห้อง นำสารผสมที่เตรียมได้มาขึ้นรูปฟิล์ม โดยอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลาต่างกัน จากนั้นนำฟิล์มที่เตรียมได้มาศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวในน้ำที่ pH 2, 4, 7 และ 10 พบว่าฟิล์มมีอัตราการบวมตัวสูงสุดที่ pH 7 และละลายน้ำที่ pH 10 นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาในการผสม และเวลาการเชื่อมโยงฟิล์มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการบวมตัวลดลง เนื่องจากฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น น้ำแทรกตัวเข้าไปในชั้นฟิล์มได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. Wanga, J. Rena, W. Lia, R. Suna and S. Liua. [10] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มวัสดุประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไซเลนร่วมกับกรดซิตริก เพื่อเพิ่มสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำ การบวมตัว และสมบัติเชิงกล โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไซเลนเป็นสารผสม และกรดซิตริกเป็นพลาสติกไซเซอร์หรือสารเชื่อมโยงในการขึ้นรูปฟิล์มวัสดุประกอบ แล้วนำฟิล์มที่ได้มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าฟิล์มวัสดุประกอบเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันมากขึ้นทำให้ฟิล์มวัสดุประกอบมีสมบัติซึมผ่านของไอน้ำ การบวมตัว และสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

1. ชั่ง Poly(vinyl alcohol) 60 กรัม เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 600 มิลลิลิตร
2. จากนั้นนำสารไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. เมื่อสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นตัว และไม่มี

ฟองอากาศ

4. จะได้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 10 % w/v ที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด

ใส



ภาพที่ 3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คัดแปร

1. นำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากข้อ 3.3 ปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบที่ 700-800 รอบต่อนาที พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C
2. จากนั้นใส่กรดโอเลอิกที่ความเข้มข้น 5% ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
3. ตามด้วยใส่กรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก (p-TSA) ที่มีความเข้มข้น 1% ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากนั้นปั่นกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตัดแปรด้วยกรดโอเลอิก

3.3 การเตรียมสูตรฟิล์ม

1. ชั่งส่วนผสมสูตรฟิล์มตามสัดส่วน แสดงดังตารางที่ 3.2
2. ผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่งให้เข้ากัน โดยทำการปั่นกวนความเร็วรอบที่ 700-800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เติมโซเดียมเปอร์ซัลเฟตลงไปในสารผสม ปั่นกวนให้เข้ากัน
4. ตั่งสารผสมทิ้งไว้ให้ฟองหาย จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม (กรณีสูตรที่ 1-5)
5. กรณีสูตรที่ 6-9 เติมสารละลาย Methyl orange (MO) (ในอัตราส่วน 1:30 หรือ 1:60 % v/v) ปั่นกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม
6. สูตรฟิล์มที่ 10-13 เติมสารละลาย Benzophenone (BP) ใน Ethanol (ในอัตราส่วน 1:30 หรือ 1:60 % v/v) ปั่นกวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

ตารางที่ 3.1 สูตรฟิล์มที่ศึกษา

สูตรที่	ชื่อสูตร	PO (g)	C (g)	ระบบเชื่อมโยง
1	PO100	100(14.29)	-	-
2	PO100I	100(14.29)	-	Na ₂ S ₂ O ₈
3	PO99C1I	99(14.29)	1(1)	
4	PO97C3I	97(14.29)	3(3)	
5	PO95C5I	95(14.29)	5(5)	
6	PO100IV	100(14.29)	-	Na ₂ S ₂ O ₈ /MO
7	PO99C1IV	99(14.29)	1(1)	
8	PO97C3IV	97(14.29)	3(3)	
9	PO95C5IV	95(14.29)	5(5)	
10	PO100IU	100(14.29)	-	Na ₂ S ₂ O ₈ /BP
11	PO99C1IU	99(14.29)	1(1)	
12	PO97C3IU	97(14.29)	3(3)	
13	PO95C5IU	95(14.29)	5(5)	

หมายเหตุ : PO = พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก
 C = น้ำมันละหุ่ง (Castor oil)
 I = Initiator
 V = Visible light
 U = Ultraviolet light
 Na₂S₂O₈ = โซเดียมเปอร์ซัลเฟต
 () = ปริมาณเนื้อสารที่มีในสารละลาย (% w/w)

สูตรเติมน้ำยาไวแสง MO = Methyl orange

สูตรเติมน้ำยาไวแสง BP = Benzophenone

3.4 การขึ้นรูปฟิล์ม

- นำเนื้อสารสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 มาขึ้นรูปฟิล์มบนกรอบสกรีนที่เตรียมไว้ (ภาพที่ 3.3) และวางไว้บนขาตั้งปรับระดับ
- ใช้รางปาดปาดฟิล์ม 1 รอบ ตั้งทิ้งไว้ 10-15 นาที แล้วใช้ลมเย็นเป่าฟิล์มจนแห้ง
- เมื่อฟิล์มแห้งจะได้รับความหนาของฟิล์มอยู่ที่ 35 ± 5 ไมโครเมตรแล้วแบ่งฟิล์มเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ระบบไม่ฉายแสง (สูตรที่ 1-5) นำแผ่นฟิล์มไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 15 ± 5 %RH เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.2 ระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (สูตรที่ 6-9) ปรับเปลี่ยนเวลาเชื่อมโยง 10, 20 นาที และปริมาณน้ำยาไวแสงในอัตราส่วน 1:30 หรือ 1:60 % v/v แล้วนำแผ่นฟิล์มไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 15 ± 5 %RH เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.3 ระบบฉายแสงอัลตราไวโอเลต (สูตรที่ 10-13) ปรับเปลี่ยนเวลาเชื่อมโยง 10, 20 นาที และปริมาณน้ำยาไวแสงในอัตราส่วน 1:30 หรือ 1:60 % v/v นำแผ่นฟิล์มไปเก็บในเดซิเคเตอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 15 ± 5 %RH เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.5 การทดสอบ (Testing)

3.5.1 ความหนาของแผ่นฟิล์ม

ใช้ไมโครมิเตอร์วัดแผ่นฟิล์ม 20 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.5.2 การทดสอบค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (%Water content (%WC))

1. นำฟิล์มที่มีความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร มาตัดเป็นชิ้นงานตัวอย่างขนาด 2×2 cm² นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. เมื่อครบเวลานำฟิล์มมากรองผ่านตะแกรงลวด (Sieve) เบอร์ 400 เมช ชั่งน้ำหนัก และบันทึกผลการทดลอง

3. คำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น จากสูตร ดังนี้

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

โดยที่ W_{sd} = น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำกลั่น

W_w = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น

3.5.3 การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ (%Solid remain (%SR))

นำฟิล์มหลังจากการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากข้อ 3.7.2 มาอบที่อุณหภูมิ 60°C แล้วนำฟิล์มแห้งที่ได้จากการอบมาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าจากสูตรนี้

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

โดยที่ W_{sd} = น้ำหนักฟิล์มก่อนแช่น้ำกลั่น

W_{fd} = น้ำหนักฟิล์มหลังจากอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (%Swelling (%S))

เป็นการทดสอบเพื่อดูปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสุดท้ายของฟิล์มเมื่อเทียบกับฟิล์มหลังอบแห้งที่เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณจากสูตรได้ดังนี้

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

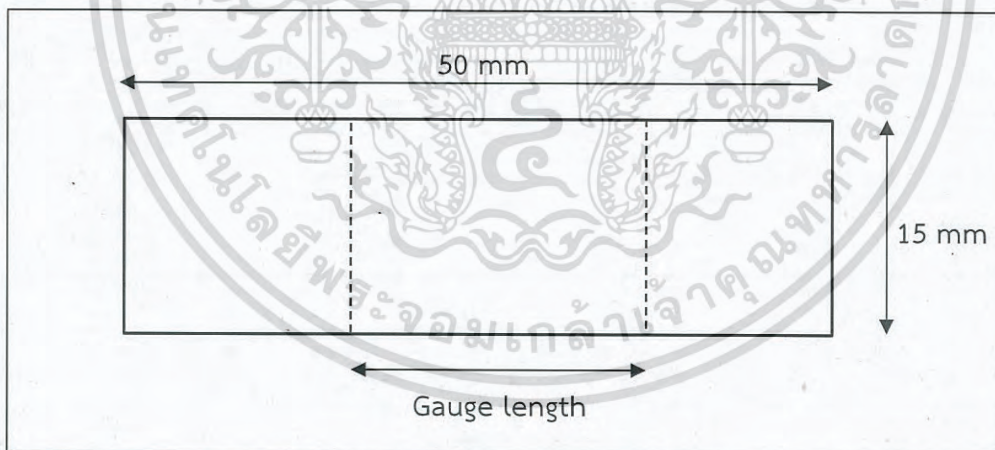
โดยที่ W_w = น้ำหนักฟิล์มหลังแช่น้ำกลั่น (24 ชั่วโมง)

W_{fd} = น้ำหนักฟิล์มหลังจากอบแห้ง

3.5.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 5% และ 75±15 %RH ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D-882 [26] ที่มีสถานะในการวิเคราะห์ดังนี้

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



ภาพที่ 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การทดสอบที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 75±15 %RH สามารถเตรียมได้โดยใช้ NaCl 34.9 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ และนำฟิล์มที่เตรียมได้มาเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ค่ายังมอดูลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield)} = \frac{F}{A} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

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

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (\%Elongation at break)} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

เมื่อ F = แรงดึงยืดขึ้นงาน ณ จุดขาด

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

L = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดขาด

l_0 = ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length) 30 mm

*หมายเหตุ ค่ายังมอดูลัส คำนวณจากค่าความชันเริ่มต้น (ที่ 1-2% การดึงยืด)

3.5.6 การทดสอบมุมสัมผัส (Contact angle)

นำแผ่นฟิล์มมาทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกลั่นบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยหยดน้ำกลั่นปริมาณ 2 μL บนที่ก้ำมุมสัมผัส เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที วัดมุมที่หยดน้ำกลั่นกระทำกับผิววัสดุด้วยเครื่อง Contact angle system OCV ตามมาตรฐาน ASTM D 5946 [27]

3.5.7 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture uptake)

ตัดชิ้นงานของฟิล์มขนาดกว้าง $2 \times 2 \text{ cm}^2$ นำไปอบในตู้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนักเป็น m_0

จากนั้นนำไปเก็บในเซซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิ่มตัวโซเดียมคลอไรด์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75% RH) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักเป็น m_1 ค่าการดูดความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Moisture uptake} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

3.5.8 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability (WVP))

1. นำแคลซิยมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในเซซิเคเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 0%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำฟิล์มที่ต้องการทดสอบไปคลุมด้านบนปากแก้วรัศมีอย่างน้อย 3.2 เซนติเมตร โดยภายในแก้วบรรจุด้วยแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม (ความชื้นสัมพัทธ์ 0%) จากนั้นเก็บในเดซิเคเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75%)

3. นำฟิล์มมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน แล้วบันทึกผล และทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งสำหรับฟิล์มแต่ละสูตร

4. นำผลการทดสอบมาพลอตกราฟเป็นฟังก์ชันของเวลา และหา Slope จากกราฟ

สามารถคำนวณสมการได้จาก

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

โดยที่ G = น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (g)
 t = เวลา (h)
 G/t = ความชันของกราฟ (g/h)
 A = พื้นที่ปากแก้ว (cm²)
 WVTR = อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/h*m²)

5. นำค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำไปแทนค่า เพื่อคำนวณหาค่าการซึมผ่านไอน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

โดย WVTR = อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (g/h*m²)
 S = ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิในเดซิเคเตอร์ (Pa)
 R₁ = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในโถที่ 75%
 R₂ = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในขวดที่ 0%
 L = ความหนาเฉลี่ยแผ่นฟิล์ม (m)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟิล์มที่มีองค์ประกอบของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดโอเลอิก (PO) (ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน แสดงดังภาพที่ 4.1) และน้ำมันละหุ่ง (C) โดยสูตรฟิล์มมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง โครงสร้างด้วยกรดโอเลอิก (PO) ต่อน้ำมันละหุ่ง (C) เป็น 100 : 0, 99 : 1, 97 : 3, 95 : 5 โดยน้ำหนัก การเตรียมสูตรฟิล์มทำโดยผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง ด้วยการใช้เครื่องปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C จากนั้นนำมาเชื่อมโยงโดยมีวิธีการเชื่อมโยงฟิล์ม 3 ระบบด้วยกัน คือ ระบบที่ไม่ฉายแสง, ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบค่าปริมาตรน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น, การทดสอบหาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่, การทดสอบหาปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มสุดท้าย, การทดสอบสมบัติเชิงกล, การทดสอบมุมสัมผัส, การทดสอบการดูดความชื้น และการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ โดยกำหนดสัญลักษณ์ของสูตรฟิล์ม ดังนี้

- PO100 คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 100 กรัม ระบบที่ไม่ฉายแสง
- PO100I คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 100 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบที่ไม่ฉายแสง
- PO99C1I คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 99 กรัม น้ำมันละหุ่ง 1 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบที่ไม่ฉายแสง
- PO97C3I คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 97 กรัม น้ำมันละหุ่ง 3 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบที่ไม่ฉายแสง
- PO95C5I คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 95 กรัม น้ำมันละหุ่ง 5 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบที่ไม่ฉายแสง
- PO100IV คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 100 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น
- PO99C1IV คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 99 กรัม น้ำมันละหุ่ง 1 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น
- PO97C3IV คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 97 กรัม น้ำมันละหุ่ง 3 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

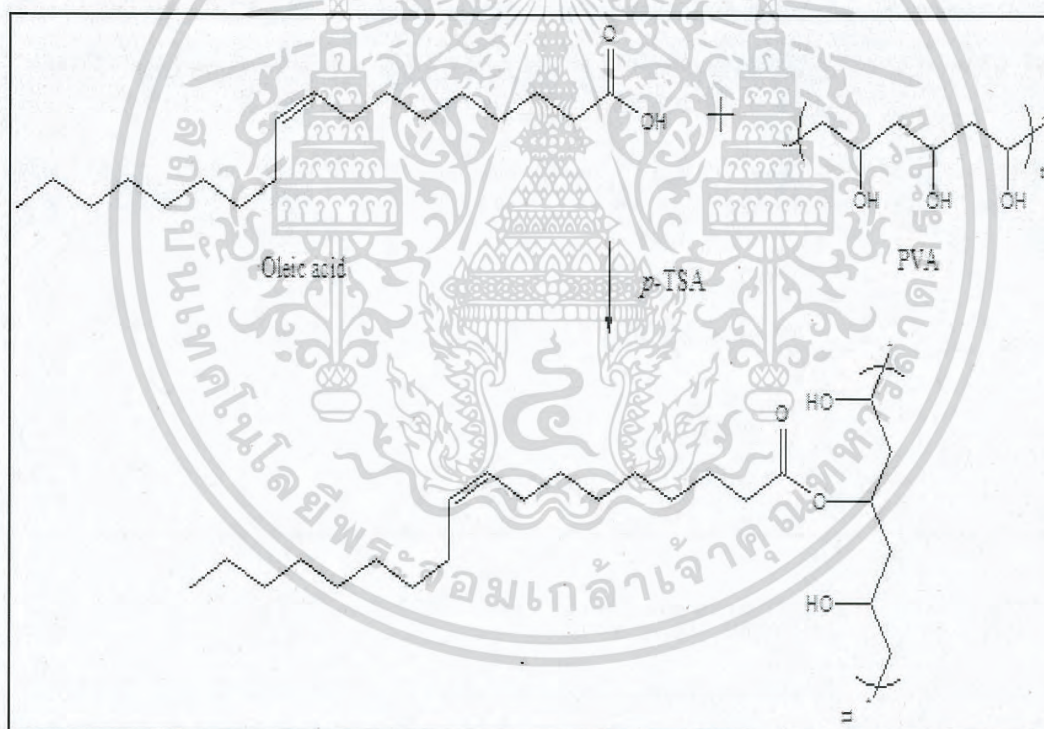
- PO95C5IV คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 95 กรัม น้ำมันละหุ่ง 5 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น

- PO100IU คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 100 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

- PO99C1IU คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 99 กรัม น้ำมันละหุ่ง 1 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

- PO97C3IU คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 97 กรัม น้ำมันละหุ่ง 3 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

- PO95C5IU คือ สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุง 95 กรัม น้ำมันละหุ่ง 5 กรัม โซเดียมเปอร์ซัลเฟต 0.1 กรัม ระบบเชื่อมโยงที่ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต



ภาพที่ 4.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และกรดโอเลอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม

4.1.1 ความหนาของแผ่นฟิล์ม

ทำการผสมสูตรฟิล์มตามสูตรที่ศึกษา โดยเครื่องปั่นกวนพร้อมกับการให้ความร้อน ตามสูตรดังตารางที่

3.2 โดยฟิล์มทุกสูตรมีการควบคุมความหนาที่ 35 ± 5 ไมโครเมตร

4.1.2 ความใสของแผ่นฟิล์ม

ทำการผสมสูตรฟิล์มตามสูตรที่ศึกษา โดยเครื่องปั่นกวนพร้อมกับการให้ความร้อน ตามสูตรดังตารางที่

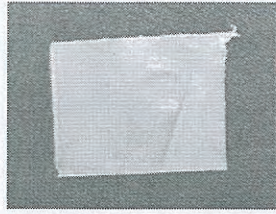
3.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์ม แสดงดังภาพที่ 4.2 โดยแต่ละสูตรมีความใสแตกต่างกันแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่น และ โปร่งแสง ได้แก่ สูตร PO100, PO100I, PO99CI, PO97C3I และ PO95C5I

กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่นอมเหลือง เนื่องจากการเติมเมทิลออเรนจิ่งลงในสูตรฟิล์ม และมีความโปร่งแสง ได้แก่ สูตร PO100IV, PO99C1IV, PO97C3IV และ PO95C5IV

กลุ่มฟิล์มสูตรที่เนื้อฟิล์มมีความขุ่น เกิดฟองอากาศกระจายบนแผ่นฟิล์มทำให้ไม่เรียบ และที่ผิวมีความมัน เนื่องจากเบนโซฟีโนนผสมกับสูตรฟิล์มเกิดการแยกชั้นกัน และมีความโปร่งแสง ได้แก่ สูตร PO100IU, PO99C1IU, PO97C3IU และ PO95C5IU

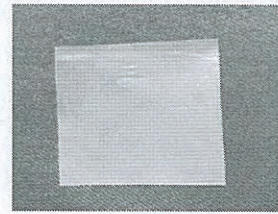
จากลักษณะทางกายภาพของฟิล์มสูตรต่าง ๆ พบว่าฟิล์มสูตรที่มี IU เกิดฟองอากาศขึ้นบนแผ่นฟิล์มทำให้ฟิล์มไม่เรียบ จึงไม่ได้นำมาทดสอบในขั้นตอนต่อไป



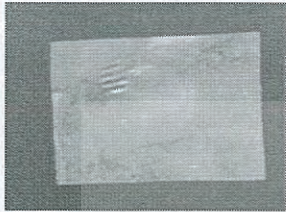
a) PO100



b) PO100I



c) PO99C1I



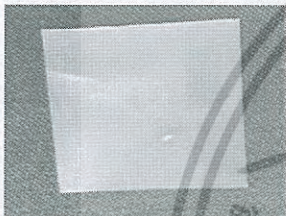
d) PO97C3I



e) PO95C5I



f) PO100IV



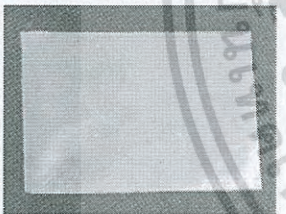
g) PO99C1IV



h) PO97C3IV



i) PO95C5IV



j) PO100IU



k) PO99C1IU



l) PO97C3IU



m) PO95C5IU

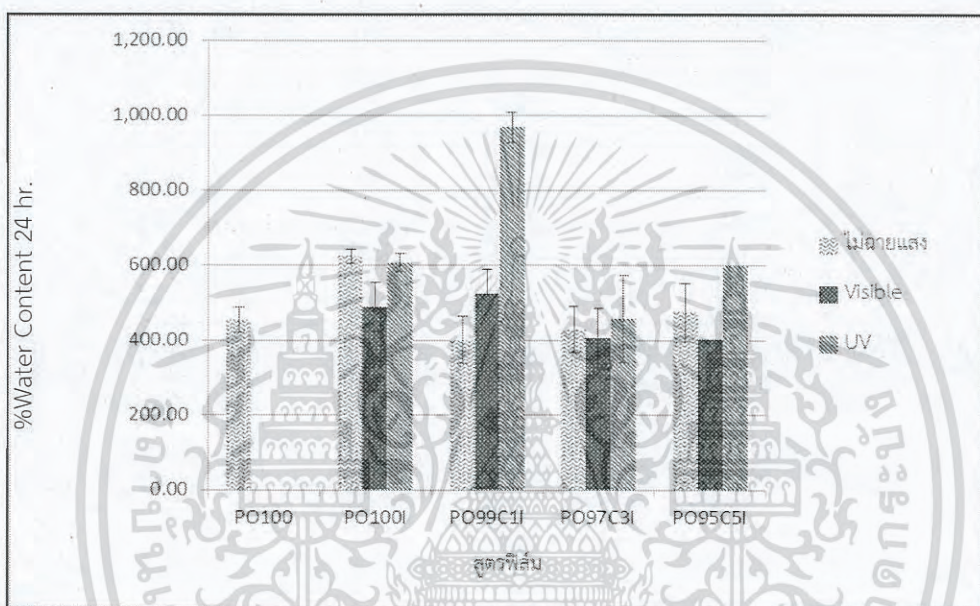
ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างฟิล์มที่เตรียมได้ความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

4.2.1 ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น (%Water content (%WC))

จากการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น โดยนำฟิล์มไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้น พบว่าฟิล์มทุกสูตรสามารถคงรูปเป็นฟิล์มอยู่ได้หลังการทดสอบที่ 24 ชั่วโมง ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นที่ 24 ชั่วโมง

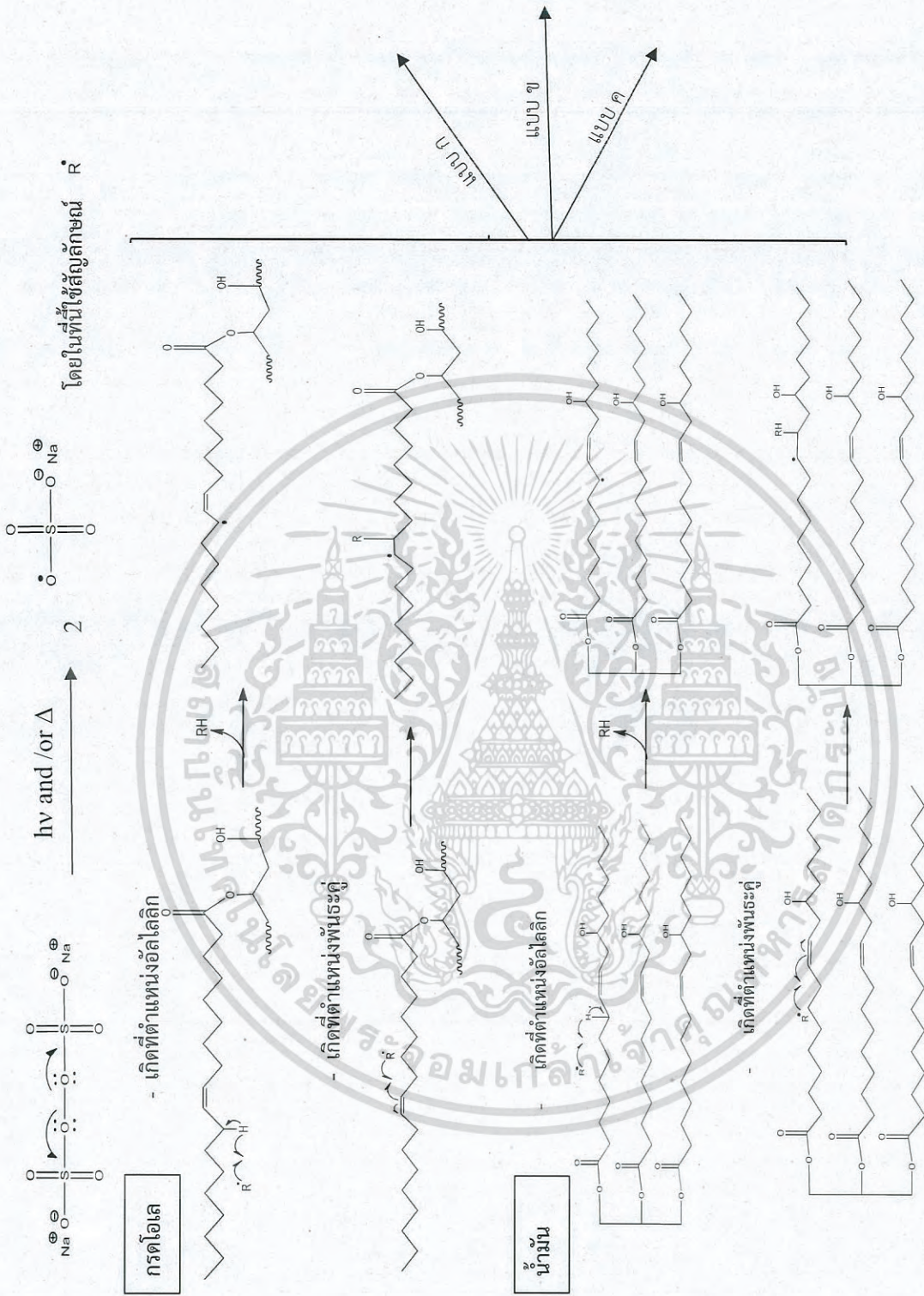
จากภาพที่ 4.3 พบว่าฟิล์มสูตร PO100I สามารถต้านทานน้ำได้ระดับหนึ่ง ซึ่งคาดว่าในขั้นตอนการเตรียมสูตรฟิล์มที่เติมโซเดียมเปอร์ซัลเฟตมีการนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แรงเฉือนจากการปั่นกวนอาจทำให้เกิดความร้อนขึ้น ทำให้โซเดียมเปอร์ซัลเฟตแตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งตำแหน่งอัลโลลิกหรือพันธะคู่เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล แสดงดังภาพที่ 4.4 (แบบ ก) นอกจากนี้ยังสามารถ เกิดอันตรกิริยาที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังภาพที่ 4.5 (ก) และจากการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกรดโอเลอิก ส่งผลให้ฟิล์มมีขั้วลดลง ส่วนฟิล์มสูตรที่ใช้ระบบเชื่อมโยงฉายแสง และปรับปรุงด้วยน้ำมันละหุ่งให้ค่าการทดสอบไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น ฟิล์มสูตร PO99C1IU ให้ค่าการทดสอบสูงสุด เนื่องจากฟิล์มอาจเกิดการเชื่อมโยงได้มากขึ้น เนื้อฟิล์มไม่ละลายออกมา ทำให้กักเก็บปริมาณน้ำในเนื้อฟิล์มได้มาก อย่างไรก็ตามการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มเริ่มต้นเพียงอย่างเดียวในการเปรียบเทียบผลการต้านทานน้ำนั้น มีข้อจำกัด เนื่องจากสูตรฟิล์มที่เตรียมได้มีการละลายออกของเนื้อฟิล์มบางส่วน ทำให้ปริมาณเนื้อฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงเหลือในแต่ละสูตรไม่เท่ากันส่งผลให้ปริมาณน้ำในเนื้อฟิล์มมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองหาค่าปริมาณของแข็งคงเหลือหลังการแช่น้ำที่ 24 ชั่วโมง และนำค่าดังกล่าวไปหาค่าปริมาณน้ำเทียบกับเนื้อฟิล์มคงเหลือ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



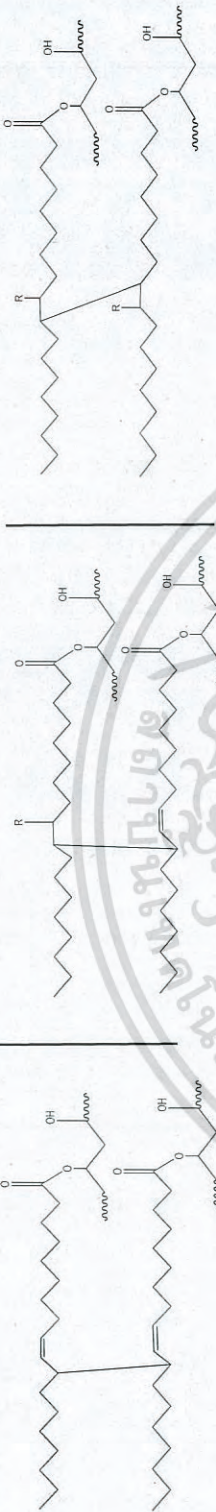
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



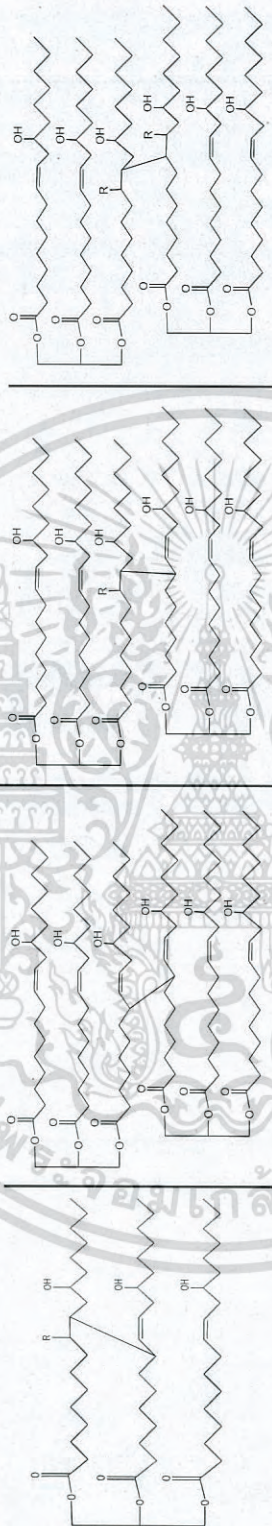
ภาพที่ 4.4 โยเดียมเปอร์ซัลเฟตแตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งอัลลิลิกหรือพันธคู่ของกรดไอโอดีค และน้ำมันละหุ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

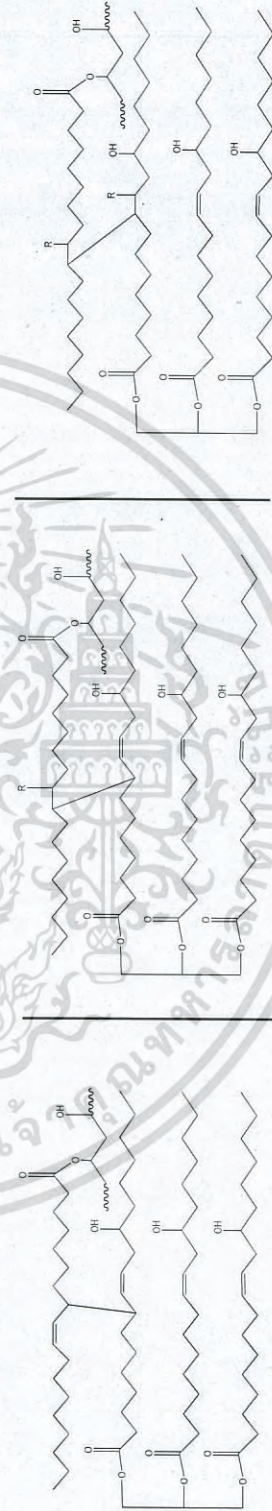
แบบ ก กรดโอเลอิกเชื่อมโยงกัน



แบบ ข น้ำมันละหุ่งเชื่อมโยงกัน



แบบ ค กรดโอเลอิกกับน้ำมันละหุ่งเชื่อมโยงกัน



ภาพที่ 4.4 โพลีเอสเตอร์ที่แตกตัวทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งอัลไลลิกหรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

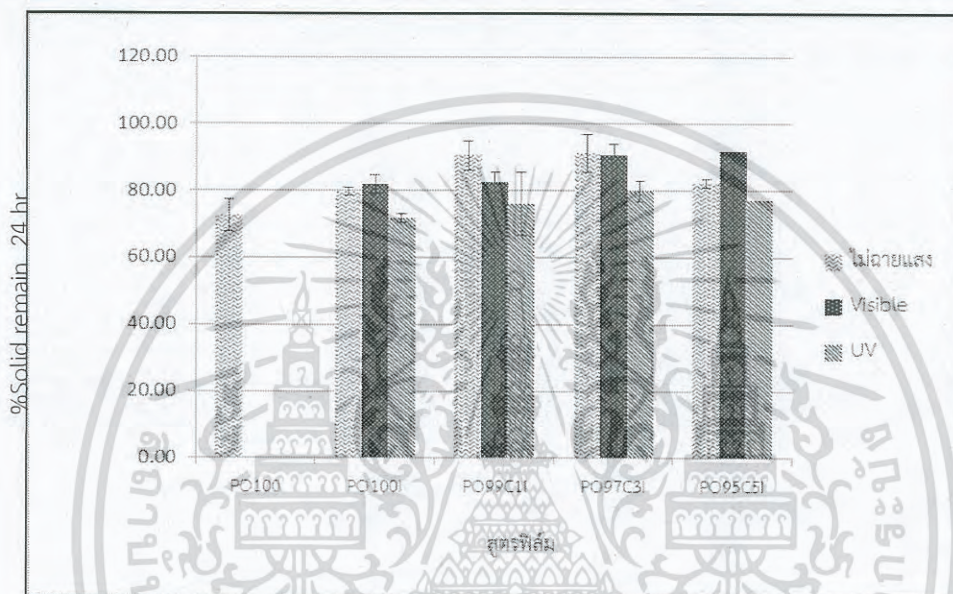


ภาพที่ 4.5 อันตรกิริยาที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิโวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ (%Solid remain (%SR))

ปริมาณของแข็งที่เหลือสามารถหาได้โดยนำสูตรฟิล์มต่าง ๆ ไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบจนน้ำหนักฟิล์มคงที่ นำฟิล์มที่ได้มาคำนวณผลโดยใช้สูตร ดังแสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7.3 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ แสดงดังภาพที่ 4.6



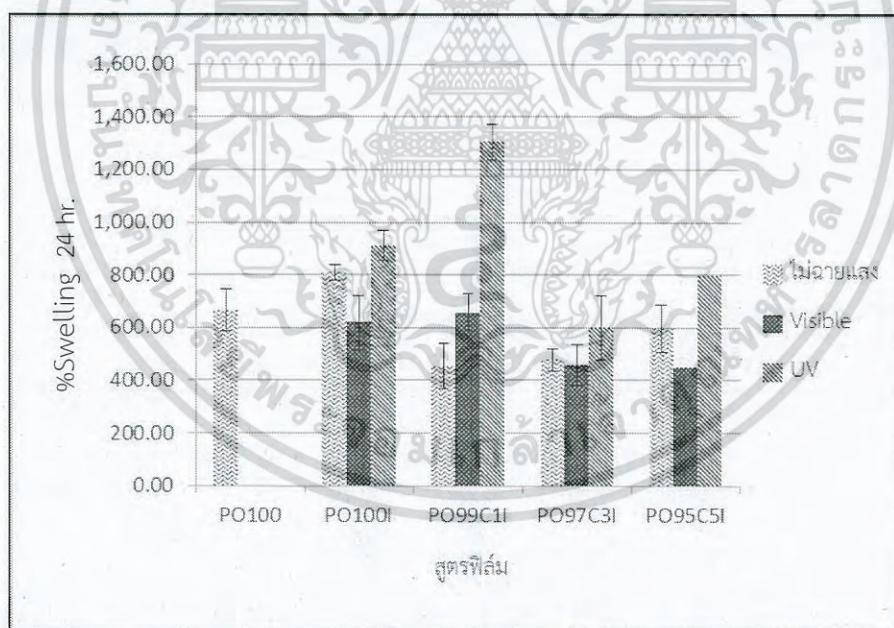
ภาพที่ 4.6 ค่าปริมาณของแข็งที่เหลือหลังแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.6 ฟิล์มสูตร PO100I ที่มีการปรับปรุงโดยการใส่ตัวริเริ่ม ใช้ระบบเชื่อมโยงแบบไม่ฉายแสง และเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น พบว่าค่าปริมาณของแข็งคงเหลือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คาดว่ามาจากกลไกการเชื่อมโยง 2 ระบบ คือ 1) การเชื่อมโยงที่ตำแหน่งอัลไลลิก (Allylic) หรือพันธะคู่ของกรดโอเลอิก แสดงดังภาพที่ 4.4 (แบบ ก) 2) การเชื่อมโยงพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังภาพที่ 4.5 (ก) เมื่อมีการเติมน้ำมันละหุ่งในสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงทั้ง 2 ระบบ พบว่าค่าปริมาณของแข็งคงเหลือมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันละหุ่งที่เพิ่มขึ้น 1 และ 3 ส่วน เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งพันธะคู่หรือตำแหน่งอัลไลลิกของน้ำมันละหุ่งกับส่วนของกรดโอเลอิกในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังภาพที่ 4.4 (แบบ ข และค) แต่เมื่อปริมาณน้ำมันละหุ่งเพิ่มขึ้นเป็น 5 ส่วนในกรณีระบบเชื่อมโยงแบบไม่ฉายแสง (สูตร PO95C5I) พบว่าค่าปริมาณของแข็งไม่ต่างจากสูตร PO100 ซึ่งอาจจะมาจากปริมาณน้ำมันละหุ่งที่มาก ทำให้การผสมเข้ากันกับเนื้อ

ฟิล์มไม่ดีพอ และไม่มี การเชื่อมโยงที่ดีพอ จึงเกิดจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน แต่สูตรที่ใช้ระบบเชื่อมโยงแบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (สูตร PO95C5IV) พบว่าค่าปริมาณของแข็งคงเหลือไม่ได้ลดต่ำลง โดยมีค่าใกล้เคียงกับสูตร PO97C3IV เนื่องจากมีระบบการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพกว่าแบบไม่ฉายแสง น้ำมันละหุ่งจึงถูกเชื่อมโยง และกระจายตัวภายใน โครงสร้างของฟิล์มได้ดี ในขณะที่สูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต มีค่าปริมาณของแข็งคงเหลือไม่แตกต่างจากสูตร PO100 เนื่องจากลักษณะทางกายภาพที่มีฟองอากาศกระจายบนเนื้อฟิล์ม และที่ผิวมีความมัน จากการไม่เข้ากันของเบนโซฟีโนนกับเนื้อฟิล์มและเกิดการแยกชั้น ทำให้เกิดจุดบกพร่องขึ้นบนเนื้อฟิล์ม โดยสูตรฟิล์มทั้งแบบที่มีการปรับปรุงโดยการใส่ตัวริเริ่ม (PO100IU) และสูตรที่มีน้ำมันละหุ่ง (PO99C1IU, PO97C3IU และ PO95C5IU) ให้ค่าปริมาณของแข็งคงเหลือไม่แตกต่างกัน และใกล้เคียงกับสูตร PO100

4.2.3 ปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์ม (%Swelling (%S))

จากข้อมูลปริมาณของแข็งคงเหลือนำมาคำนวณ เพื่อหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในฟิล์มหลังแช่น้ำ-กลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับฟิล์มหลังอบแห้งที่เวลา 24 ชั่วโมง นำฟิล์มที่ได้มาคำนวณผลโดยใช้สูตร ดังแสดงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7.4 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักฟิล์มสุดท้าย แสดงดังภาพที่ 4.7



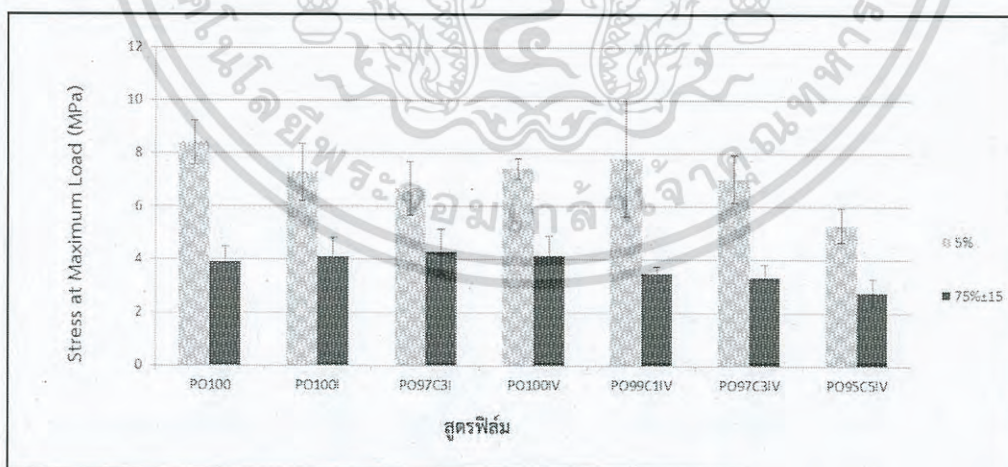
ภาพที่ 4.7 ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มภายหลังแช่น้ำ-กลั่น 24 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.7 พบว่าสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงอัลตราไวโอเลตมีค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มสูงสุด โดยบางสูตรมีค่าที่สูงกว่าสูตรฟิล์ม PO100 เนื่องจากอาจมีการเชื่อมโยงได้ไม่ดี แสดงถึงการกระจายตัวของเบนโซฟีโนนกับน้ำมันละหุ่งที่ไม่ดีพอทำให้เกิดจุดบกพร่องบนเนื้อฟิล์ม แต่สูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นมีการบวมตัวต่ำกว่าสูตร PO100 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตรที่มีปริมาณน้ำมันละหุ่งมากขึ้น สำหรับสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบไม่ฉายแสง มีปริมาณน้ำมันละหุ่งเป็นส่วนผสมให้ค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มต่ำกว่าสูตร PO100 เช่นกัน แสดงถึงความสามารถในการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพกว่าสูตร PO100 เมื่อมีน้ำมันละหุ่งเป็นองค์ประกอบ แสดงถึงการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพกว่าระบบอื่น แต่สูตร PO100I มีค่าปริมาณน้ำที่คงอยู่ต่อน้ำหนักสุดท้ายของฟิล์มสูงกว่าสูตร PO100 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ โครงสร้างกิ่งของกรดโอเลอิก ซึ่งมีความเกาะก่ทำให้ปริมาณพันธะไฮโดรเจนลดลง น้ำจึงแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ง่าย แม้ว่าฟิล์มจะมีความเป็นขี้ลลดลง

4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

นำฟิล์มไปทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D-882 ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่ายังมอดุลัส โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 สถานะ ได้แก่ ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 5 และ 75 ± 15 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสูตรฟิล์มที่มีการเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงอัลตราไวโอเลต เนื่องจากการกระจายตัวของเบนโซฟีโนนกับน้ำมันละหุ่งที่ไม่ดีพอทำให้เกิดจุดบกพร่องบนเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มมีการเชื่อมโยงที่ไม่ดีพอจึงไม่ได้นำมาทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

4.3.1 ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 5 และ $75 \pm 15\%$



ภาพที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงสูงสุดก่อนขึ้นงานนิกษาคของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.8 พบว่าสูตรฟิล์มทุกสูตรที่เก็บฟิล์มไว้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% ก่อนการทดสอบมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณน้ำมันละหุ่งในเนื้อฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลในเนื้อฟิล์มมากขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีความเปราะและขาดได้ง่าย

แต่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75% ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าต่ำลงในทุกสูตรเมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% เนื่องจากภายในฟิล์มมีน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของเนื้อฟิล์มทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง สำหรับสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบไม่ฉายแสงมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการเชื่อมโยงภายในฟิล์มน้อย น้ำจึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อฟิล์มได้ง่าย

สำหรับสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณน้ำมันละหุ่งในเนื้อฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ฟิล์มจึงมีการเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้น้ำเข้าไปแทรกซึมในเนื้อฟิล์มได้น้อยลง ฟิล์มจึงมีสมบัติที่เปราะกว่าฟิล์มที่มีการเชื่อมโยงต่ำกว่า

4.3.2 ยังมอดุลัส (Young's modulus) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5 และ 75±15%



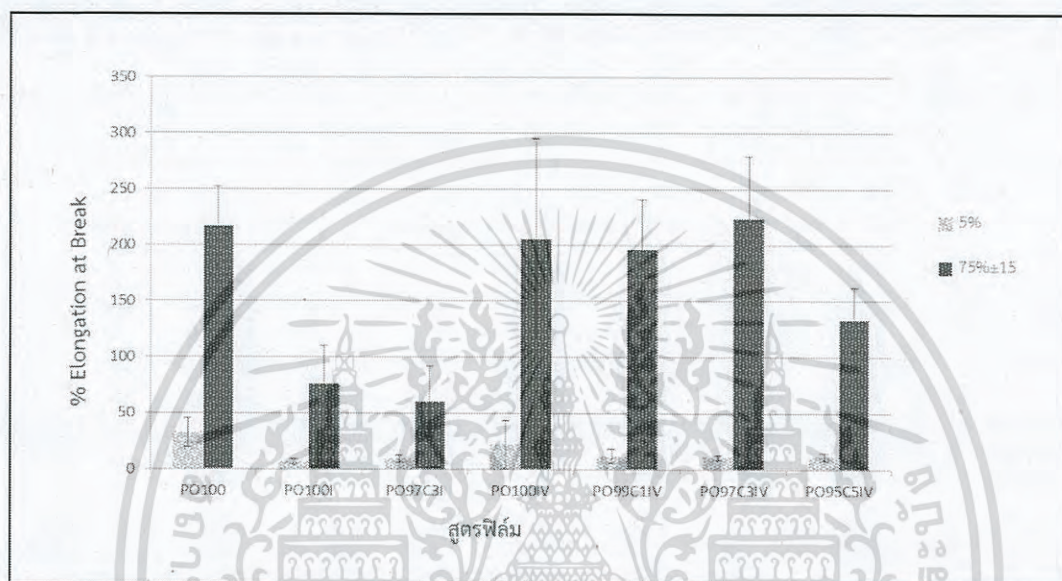
ภาพที่ 4.9 ค่ายังมอดุลัสของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.9 พบว่าที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% ค่ายังมอดุลัสของฟิล์มทุกสูตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75% ค่ายังมอดุลัสของฟิล์มทุกสูตรมีค่าลดลงเล็กน้อยโดยไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% โดยค่ายังมอดุลัสของฟิล์มแต่ละสูตรมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลของปริมาณน้ำมันละหุ่ง และระบบการเชื่อมโยงไม่มีผลต่อค่ายังมอดูลัส

4.3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5 และ 75±15%



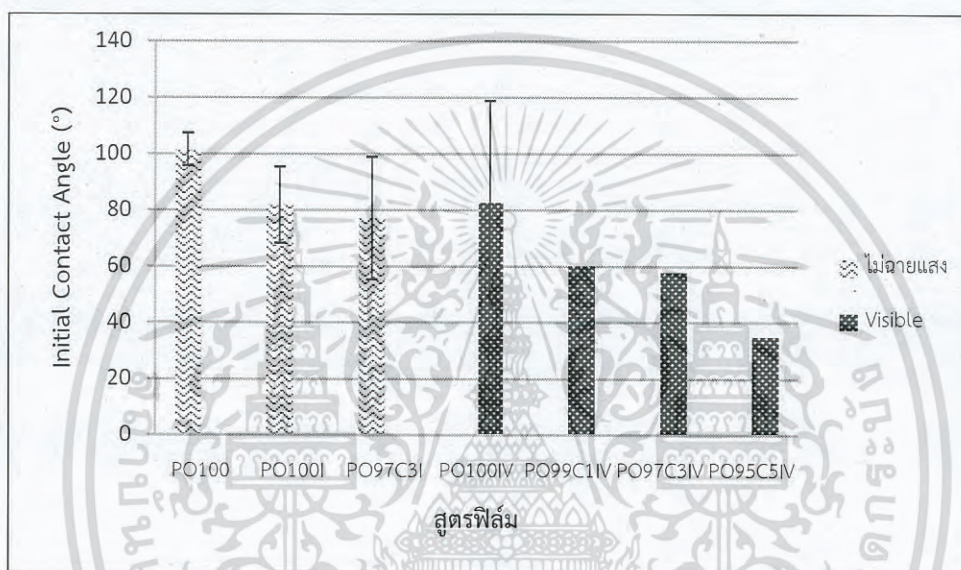
ภาพที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.10 พบว่าสูตรฟิล์มสูตรต่าง ๆ ที่เก็บไว้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดค่อนข้างต่ำประมาณ 5-20% แสดงถึงสมบัติที่ค่อนข้างเปราะของฟิล์มทุกสูตร ซึ่งอาจเป็นเพราะความไม่เข้ากันของสารต่าง ๆ ในเนื้อฟิล์ม ทำให้สารเติมแต่งที่ใส่เข้าไปเป็นจุดบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ และเมื่อฟิล์มมีการเชื่อมโยง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากผลของการเชื่อมโยงทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่เมื่อถูกแรงกระทำถูกจำกัดมากขึ้น

แต่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75% ฟิล์มทุกสูตรมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% เนื่องจากน้ำที่แทรกอยู่ภายในเนื้อฟิล์มทำหน้าที่เป็น พลาสติกไซเซอร์ จึงทำให้เนื้อฟิล์มมีความยืดหยุ่น โมเลกุลภายในเนื้อฟิล์มเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นเมื่อถูกแรงกระทำ สำหรับสูตรฟิล์มที่ไม่ได้เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงมีแนวโน้มค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง อาจเป็นเพราะความไม่เข้ากันของสารเติมแต่งในเนื้อฟิล์ม เมื่อน้ำแทรกเข้าไปในเนื้อฟิล์มทำให้สารเติมแต่งในเนื้อฟิล์มแยกตัวออกจากเนื้อพอลิเมอร์ได้ง่าย เนื่องจากมีพันธะเชื่อมโยงภายในเนื้อฟิล์มไม่มากพอทำให้เกิดจุดบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ทำให้ชิ้นงาน

ลักษณะง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำ ขณะที่สูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นมีแนวโน้มค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงทำให้สารเติมแต่งที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อฟิล์มไม่แยกตัวออกได้ง่ายเมื่อมีน้ำเข้ามาแทรก โดยการเชื่อมโยงจะไปขัดขวางการรวมตัวกันของสารที่เติมเข้าไปในเนื้อฟิล์ม แต่สูตร PO95C5IV มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันละหุ่งที่มากเกินไปทำให้เกิดความไม่เข้ากันของเนื้อฟิล์มมากขึ้น เกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานได้ง่ายขึ้น

4.4 การทดสอบมุมสัมผัสเริ่มต้น (Initial contact angle)



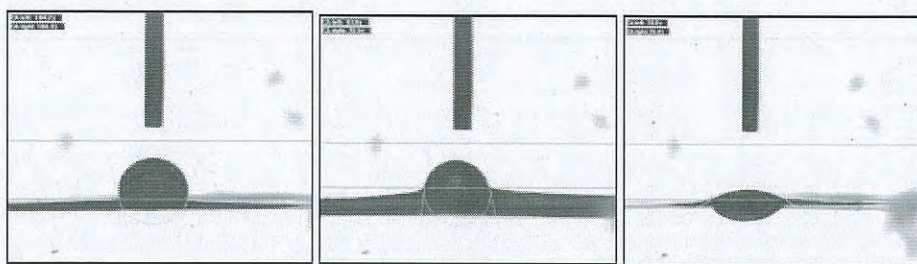
ภาพที่ 4.11 ค่ามุมสัมผัสเริ่มต้นของฟิล์มสูตรต่างๆ ด้วยน้ำกลั่น

จากภาพที่ 4.11 พบว่าฟิล์มสูตรที่ปรับปรุงด้วยตัวริเริ่ม และมีปริมาณน้ำมันละหุ่งที่เพิ่มขึ้น มีค่ามุมสัมผัสที่เวลาเริ่มต้นมีแนวโน้มลดลง (เทียบกับสูตร PO100) เนื่องจากแรงยึดติด (Adhesive force) ของสารต่างอนุภาคมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) ของอนุภาคเดียวกัน ทำให้หยดน้ำแตกออกจากกัน กระจายแนบไปบนพื้นผิวของฟิล์ม และพื้นผิวเปียกบางส่วน ซึ่งแสดงถึงสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) เนื่องจากฟิล์มมีหมู่ไฮดรอกซิลเหลืออยู่ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความเป็นขั้ว จึงทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้ แม้ว่าฟิล์มจะมีความเป็นขั้วลดลง

โดยการวัดค่ามุมสัมผัสเมื่อเวลาผ่านไปพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสที่วัดหลังจากเวลาเริ่มต้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงไป 2 กรณี (ภาพที่ 4.12) ดังนี้

1. มุมสัมผัสมีขนาดมุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว (ภาพที่ 4.12 b)
2. มุมสัมผัสมีขนาดมุมที่แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม (ภาพที่ 4.12 c) ซึ่งทั้ง 2 กรณี แสดงถึงความสามารถในการต้านทานน้ำของฟิล์มยังมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก

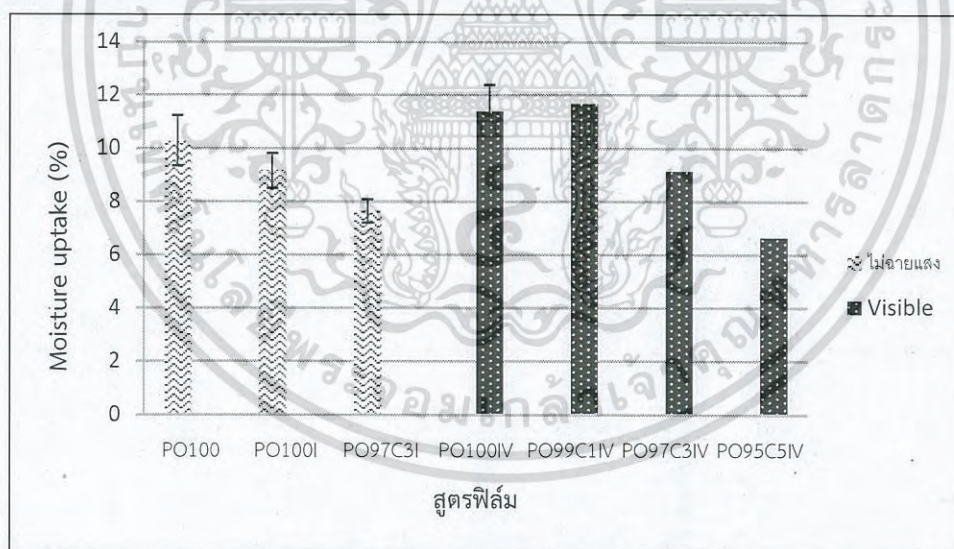
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างลักษณะมุมสัมผัสที่เปลี่ยนแปลง a) ลักษณะเริ่มต้น b) มุมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวฟิล์มเกิดการบวมตัว c) มุมที่แคบลง เนื่องจากน้ำซึมลงบนพื้นผิวฟิล์ม

4.5 การทดสอบการดูดความชื้น (Moisture uptake)

จากการทดสอบหาค่าการดูดความชื้น โดยนำฟิล์มเก็บในเคซิเคเตอร์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ฟิล์มแห้งจนน้ำหนักฟิล์มคงที่ จากนั้นนำไปเก็บในเคซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าการดูดความชื้นคำนวณได้จากสูตรที่แสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.7.7 ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ค่าการดูดความชื้นของฟิล์มสูตรต่าง ๆ

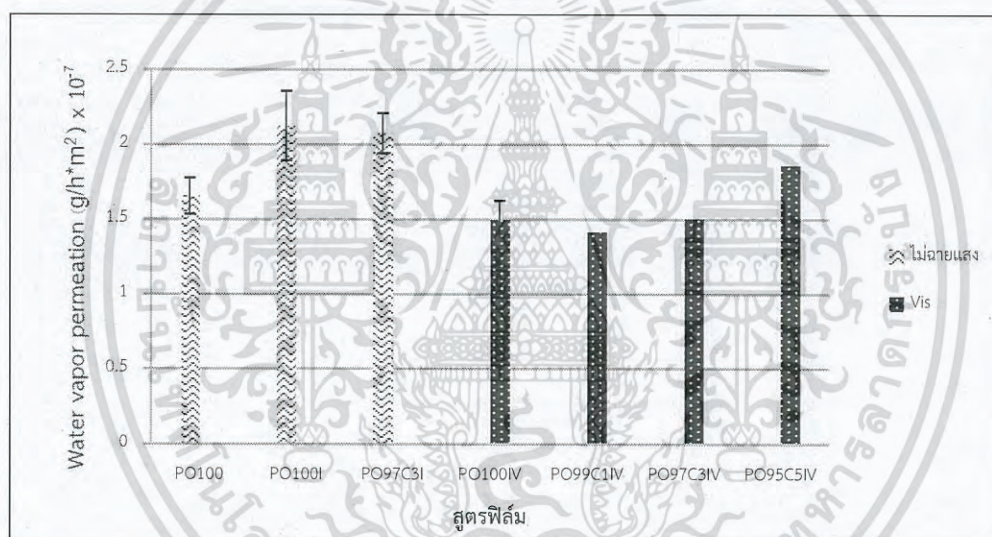
จากภาพที่ 4.13 พบว่าค่าการดูดความชื้นของสูตรฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบไม่ฉายแสง และเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นอยู่ในช่วง 6–12% สูตรฟิล์มทั้ง 2 ระบบมีแนวโน้มค่าการดูดความชื้นลดลงเมื่อมีการปรับปริมาณน้ำมันละหุ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มเกิดการเชื่อมโยงที่มากขึ้นมีผลให้ความชื้นผ่านเข้าสู่เนื้อฟิล์มได้ยากขึ้น แต่เนื่องจากฟิล์ม PO100 ซึ่งมีการเชื่อมโยงน้อยสุดมีค่าการดูดความชื้นค่อนข้างต่ำ เมื่อมีการปรับปรุงด้วยน้ำมันละหุ่ง และระบบเชื่อมโยง ค่าการดูดความชื้นจึงลดลงไม่มาก

4.6 การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor permeability (WVP))

จากการทดสอบหาค่าการซึมผ่านไอน้ำ นำฟิล์มที่ต้องการทดสอบไปคลุมด้านบนปากแก้วรศมีอย่างน้อย 3.2 เซนติเมตร โดยภายในแก้วบรรจุด้วยแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม (ความชื้นสัมพัทธ์ 0 %) เก็บในเคซิเตอร์ (ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 15 %) นำฟิล์มมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน คำนวณค่าการซึมผ่านไอน้ำได้จากสูตรที่แสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.7.8 ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของสูตรฟิล์มต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.14 พบว่าค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยระบบไม่ฉายแสง และเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าการซึมผ่านไอน้ำอยู่ในช่วง $(1.4-2.3) \times 10^{-7}$ g/h·m² เนื่องจากค่าการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มสูตร PO100 ซึ่งยังไม่มีการปรับปรุงด้วยน้ำมันละหุ่ง และระบบเชื่อมโยง มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการปรับปรุงฟิล์มโดยการเชื่อมโยง จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการซึมผ่านไอน้ำที่ชัดเจน โดยสูตรฟิล์มที่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงที่ดี ได้แก่ สูตร PO100IV, PO99C1IV และ PO97C3IV ให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นสูตร PO100I และ PO97C3I ให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่า PO100 อาจเป็นเพราะความไม่เข้ากันของสารเติมแต่งในเนื้อฟิล์ม เมื่อไอน้ำแทรกเข้าไปในเนื้อฟิล์มทำให้สารเติมแต่งในเนื้อฟิล์มแยกตัวออกจากเนื้อพอลิ-เมอร์ได้ง่าย เนื่องจากมีพันธะเชื่อมโยงภายในเนื้อฟิล์มไม่มากพอทำให้เกิดจุดบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ซึ่งค่าการซึมผ่านไอน้ำในช่วงนี้ สามารถนำไปใช้งานในด้านสินค้าอุตสาหกรรม ฟิล์มเคลือบผิว และบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ไม่เหมาะกับอาหารสดจำพวกผักผลไม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก และน้ำมันละหุ่ง เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสง โดยมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง สามารถเกิดปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดโอเลอิก และหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยพบว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกมีสมบัติการต้านทานน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการเติมน้ำมันละหุ่ง เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น สามารถขึ้นเป็นฟิล์มได้ง่าย โดยมีการใช้ระบบเชื่อมโยง 3 ระบบ คือ ระบบไม่ฉายแสง, ระบบเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และระบบเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต และนำสูตรฟิล์มที่เตรียมได้มาทำการทดสอบสมบัติ ซึ่งได้ผลการทดลอง สรุปดังนี้

ผลการปรับปรุงสูตรฟิล์มระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิก ด้วยอัตราส่วนของน้ำมันละหุ่งเป็น 1, 3, 5% โดยน้ำหนัก ของระบบเชื่อมโยงทั้ง 3 ระบบ พบว่าสูตรฟิล์มที่มีการเติมน้ำมันละหุ่ง 3% เชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (PO97C3IV) ทำให้ฟิล์มมีสมบัติต้านทานน้ำเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5% และ 75±15% พบว่าการปรับปรุงฟิล์มด้วยน้ำมันละหุ่ง และการใช้ระบบเชื่อมโยงต่าง ๆ ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด, ค่ายังมอดุลัส และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดอย่างมีนัยสำคัญ แต่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อค่าดังกล่าว โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75±15% มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และค่ายังมอดุลัสที่ต่ำ แต่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดที่สูง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่เก็บในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 5%

ผลการทดสอบมุมสัมผัส พบว่าปริมาณน้ำมันละหุ่งในฟิล์มที่มากขึ้น มีผลให้ค่ามุมสัมผัสน้อยลง และการเชื่อมโยงด้วยระบบฉายแสงช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นมีผลให้ค่ามุมสัมผัสน้อยกว่าสูตรฟิล์มที่ไม่เชื่อมโยง (สูตร PO100) และเชื่อมโยงด้วยระบบไม่ฉายแสง

ผลการทดสอบการดูดความชื้น พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของฟิล์มทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อสูตรฟิล์มมีปริมาณน้ำมันละหุ่งมากขึ้น

ผลการทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ พบว่าฟิล์มทุกสูตรมีค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $(1.4-2.3) \times 10^{-7} \text{ g/h} \cdot \text{m}^2$ โดยปริมาณน้ำมันละหุ่ง และระบบเชื่อมโยงไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาระบบการขึ้นรูปฟิล์มให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การควบคุมความหนาของฟิล์ม และการลดฟอง เป็นต้น
2. พัฒนาสูตรฟิล์มให้มีสมบัติการต้านน้ำที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเติมสารขี้ด้าอื่น ๆ เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอื่น หรือใช้สารเชื่อมโยงชนิดอื่น หรือน้ำมันชักแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จุฑามาศ ปิตะสิงห์ และคณะ. 2557. “สมบัติการต้านทานน้ำของฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกกับน้ำยางธรรมชาติ.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ชมพูนุช ฉันทะจำรัสศิลป์ และคณะ. 2555. “การพัฒนาภาวอดจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลอะซิเตด ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกและน้ำมันลินสีดสำหรับงานพิมพ์สกรีน.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] Y. Jiang, J. Lu, K.Sun, L. Ma, J. Ding. 2013. “Esterification of oleic acid with ethanol catalyzed by sulfonated cation exchange resin: Experimental and kinetic studies.” *Energy Conversion and management*. 2013(67) : 980-985.
- [4] ศรีสุดา เตชะสาน . 2559. ละหุ่ง (Castor Bean). [Online]. Available : <http://www.rak-banker.com/agriculture/page.php?id=44&s=tblplant>
- [5] ผศ.ดร.เกศจักรหญิง สุดารัตน์ หอมหวล. 2553. ละหุ่ง. [Online]. Available : <http://www.thai-crudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=118>
- [6] K. Mikhail. 2004. “Ultra-thin films of polyvinyl alcohol on hydrophobic surfaces : preparation, properties, chemistry and applications.” *Encyclopedia of Polymer Science and engineering*, 2nd Ed.
- [7] ณีฐกัญญา อุณเกษม และคณะ. 2544. “การเตรียมแผ่นกระดาษอัดโดยใช้กาวไร้สารฟอร์-มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงสมบัติด้วยน้ำมันทั้งและน้ำมันละหุ่ง.” คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] S. Tharhate and J. Ngamcharoenthavorn. 2007. “Water-resistant enhancement of Drying oil Modified Poly(vinyl alcohol).” *Special Project Book International programs, Faculty of science King Mongkut’s Institute of technology Ladkrabang.*
- [9] J. Suksaeree, C. Luprasong and C. Monton. 2015. “Swelling behavior of polyvinyl alcohol and lactic acid hydrogel films.” *Journal of Pharmaceutical sciences* 2015 (10) : 459-562.
- [10] A. Wang, J. Rena, W. Lia, R. Suna and S. Liua. 2014. “Properties of polyvinyl alcohol/xylan composite films with citric acid.” *Journal of Carbohydrate Polymers* (103) : 94– 99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] วิไลรัตน์ วงศ์เทพ. 2553. “อนุภาคยางธรรมชาติกราฟต์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเชื้อเห็ดผ่านผสมของยางธรรมชาติที่กราฟต์ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิอะคริลิกแอซิด.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [12] บริษัท ไทยโพลีเคมีคอล จำกัด. 2557. Polyvinyl alcohol, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์. [Online]. Available : <http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/polyvinylalcohol.html>
- [13] Wikipedia. 2558. Polyvinyl acetate. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/polyvinyl_acetate.
- [14] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). 2551. ความหมายของอักษรย่อทางพลาสติก ตอนที่ ๖. [Online]. Available : <https://www.mtec.or.th/mcu/phml/in dex.php/th/2014-09-12-03-39-42/43-2009-06-25-03-17-43>
- [15] ไม่ปรากฏชื่อ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. ลิขิต. [Online]. Available : <http://www.ipesp.ac.th/learning/biocheme/html/bt4.pdf>
- [16] กระจุกอรอด วงษ์สว่าง. 2015. ชนิดของกรดไขมัน. [Online]. Available : <http://www.Foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid>
- [17] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ. 2555. กรดไขมันอิ่มตัว. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/000314/saturated-fatty-acid>
- [18] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนานันทน์. 2555. Oleic acid / กรดโอเลอิก. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid>
- [19] ผศ.ดร.เกศจักรหญิง สุภารัตน์ หอมหวล. 2553. ละหุ่ง. [Online]. Available : <http://www.thai-crudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=118>
- [20] Vegetable Oils. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. Caster oil. [Online]. Available : <http://vegetableoils.org/caster-oil/>
- [21] รายการสาระความรู้ทางการเกษตร ฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 2542. “เรื่อง ละหุ่ง”. บทความวิทยุรายการสาระความรู้ทางการเกษตร [Online]. Available : natres.psu.ac.th.
- [22] โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2545. “ละหุ่ง”. [Online]. Available : kanchanapisek.or.th.
- [23] สัญญา ราศีธนู. 2554. เอสเทอร์ (Ester). [Online]. Available : <https://majorchem-spa.wordpress.com/ester/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] ผศ. ดร. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. บทที่ 2 ปฏิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ. [Online]. Available : <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/Download/Chapter%202%20Free%20radical%20po%20lymerization.pdf>
- [25] อนุสิทธิ์ เกื้อกุล. 2554. ปฏิริยารีดอกซ์. [Online]. Available : <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/411บทเรียนที่+2+ปฏิริยารีดอกซ์>
- [26] การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. ASTM D 882 : Committee on standard. “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.”
- [27] การทดสอบมุมสัมผัส. ASTM D 5946. : Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินงานโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (บาท)
งบดำเนินงาน			
ค่าใช้สอย	15,000	21,500	(-6,500)
ค่าวัสดุ	35,000	28,508.92	6491.08
รวม	50,000	42,145.90	(-8.92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล..... ผศ.ดร. ภัทธวรุฒ มนต์วิเศษ.....

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	เคมีอุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2538
M.Sc.	Polymer Science and Technology	The University of Manchester	2540
Ph.D.	Polymer Chemistry	The University of Manchester	2543

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....

สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช ประกอบด้วย กลุ่มวิชาเคมี เภสัช ฯลฯ.....

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

1. การนำพอลิเอทิลีนเทรทาเลตกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการดีพอลิเมอไรซ์แบบเปิดวงแหวนและการพอลิเมอไรซ์แบบเปิดวงแหวน ทุนศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ รหัสโครงการ MT-S-43-POL-22-179-G ปี 2543
2. การรีไซเคิลโพลีเอสเตอร์โดยการดีพอลิเมอไรซ์แบบเปิดวงแหวนและการพอลิเมอไรซ์แบบเปิดวงแหวน ทุนงบประมาณประจำปี 2544
3. การสังเคราะห์วัสดุประกอบไฮดรอกซีเอปอไทด์กับพอลิเอสเตอร์สำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้สถาบันประจำปี 2545
4. การเตรียมซีเมนต์แคลเซียมซิลิเกตกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ จากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2549
5. การพัฒนาควอตซ์ไม้อปราสาจากฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยน้ำมันทั้ง ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้การเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว-อุตสาหกรรม (MAG Window I) สัญญาเลขที่ MRG-WI515S129 ปี 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (คปก 11) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ปรัชญาคุณุภินันท์ สาขาเคมีประยุกต์ 1 มิถุนายน ปี 2552 ถึง 31 พฤษภาคม 2557 สัญญาเลขที่ PHD/0264/2551
7. การพัฒนาการติดไม้ชนิดปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำมันหัง ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2553 ประเภทงานวิจัยเชิงบูรณาการและพาณิชย์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล
8. การพัฒนาไม้ไร้สารฟอร์มาลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้งธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้การเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว-อุตสาหกรรม (MAG Window I) สัญญาเลขที่ MRG-WI535S901 ปี 2553
9. ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (คปก 12) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ปรัชญาคุณุภินันท์ สาขานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี 1 ธันวาคม ปี 2553 ถึง 30 พฤศจิกายน 2556 สัญญาเลขที่ PHD/0075/2552
10. สมบัติเชิงกลและการต้านทานน้ำของกาวอะครีเลตพอลิยูรีเทนด้วยน้ำมันลินสีด ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล
11. การเตรียมและสมบัติการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลจากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/กัวร์กัม/โซเดียมอัลจินต ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล
12. การปรับปรุงสมบัติการต้านทานน้ำของแผ่นพาร์ทิเคิลที่ใช้กาวไร้สารฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยน้ำยางพารา โครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา (Medium-size Project on Rubber; MPR) สกว-อุตสาหกรรม สัญญาเลขที่ RDG5550060 ปี 1 สิงหาคม 2555 ถึง 31 กรกฎาคม 2556
13. การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของไฮโดรเจลจากอัลจินตและกัวร์กัมปรับปรุงด้วยซิลเวอร์ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล
14. การพัฒนาหมึกพิมพ์สกรีนเชื่อน้ำสำหรับการพิมพ์ซิลค์สกรีน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 ประเภทงานวิจัยเชิงบูรณาการและพาณิชย์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล
15. การพัฒนาสีพลาสติกขอลจาก EVA สำหรับงานพิมพ์สกรีน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล
16. การพัฒนาฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกกับน้ำยางธรรมชาติ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. การพัฒนาไฮโดรเจลบีคจากไคโตซานและกัมแซนแทน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559 ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สจล
18. โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพ ทุนอุดสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพลาสติก 8 ธันวาคม 2558 ถึง 15 มิถุนายน 2559.

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. **Monvisade P.**, Hodge P., Ruddick C.L. Synthesis of soluble combinatorial libraries of crown ether-ester analogues via the cyclodepolymerisation of linear polyester. *Chem.Commun.* **1999**; 1987-1988. (Impact factor 2005 = 3.902)
2. Hodge P., **Monvisade P.**, Owen G.J., Heatley F., Pang Y. ¹H-NMR spectroscopic studies of the structures of a series of pseudopolyrotaxanes formed by "threading". *New J.Chem.* **2000**; 24: 703-709. (Impact factor 2005 = 2.44)
3. Hodge P., **Monvisade P.**, Morris G.A., Preece I. A novel nuclear magnetic resonance spectroscopy method for screening small soluble compound libraries. *Chem.Commun.* **2001**; 239-240. (Impact factor 2005 = 3.902)
4. Siriphannon P., **Monvisade P.**, Jinawath S, Hemachandra K. Preparation and characterization of hydroxyapatite/poly(ethylene glutarate) biomaterials. *J.Biomed.Mater.Res.Part A*; **2007**; 81A(2): 381-391.(Impact factor 2005 = 2.743, 2006 = 2.467)
5. **Monvisade P.**, Loungvanidprapa P., Synthesis of Poly(ethylene adipate) and Poly(ethylene adipate-co-terephthalate) via Ring-opening Polymerization. *Eur.Polym.J.*; **2007**; 43: 3408-3414. (Impact factor 2005 = 1.765, 2006 = 2.113)
6. **Monvisade P.**, Siriphannon P., Jermungnern R., Rattanabodee S., Preparation of hydroxyapatite/poly(methyl methacrylate) and calcium silicate/poly(methyl methacrylate) interpenetrating hybrid composites. *J.Mater.Sci.Mater.Med.*; **2007**; 18: 1955-1959. (Impact factor 2005 = 1.248, 2006 = 1.562)
7. **Monvisade P.**, Loungvanidprapa P., Synthesis of Poly(ethylene terephthalate-co-isophthalate) via Ring-opening Polymerization of Their Cyclic Oligomers. *J.Polym.Res.*; **2008**; 15, 381-387. (impact factor 2006 = 0.616)
8. Siriphannon P., **Monvisade P.**, Preparation and Characterization of Hydroxyapatite/Poly(ethylene adipate) Hybrid Composites. *J.Biomater.Sci-Polym.E.*; **2008**;19(7), 925-936. (Impact factor 2006 = 1.607)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. **Monvisade P.**, and Siriphannon P., Chitosan Intercalated Montmorillonite: Preparation, Characterization and Basic Dye Adsorption. *Appl. Clay. Sci.*; **2009**; 42, 427-431. (impact factor 2006 = 1.652)
10. Siriphannon P., **Monvisade P.**, Poly(ethylene terephthalate)/hydroxyapatite biomaterials: Preparation, characterization and *in vitro* bioactivity. *J. Biomed. Mater. Res. Part A*; **2009**; 88A (2) 464-469. (Impact factor 2005 = 2.743, 2006 = 2.467)
11. **Monvisade P.**, Siriphannon P. and Tapcharoen W., Effect of Ring-opening Polymerization Condition on Characteristic and Mechanical Properties of Hydroxyapatite/Poly(ethylene glutarate) Biomaterials. *J. Biomed. Mater. Res. Part A*; **2009**; 90A (3) 656-663. (impact factor 2006 = 2.497)
12. Sirapanichart S., Khouchaf L., Siriphannon P., **Monvisade P.**, Louarn G. and Elouadi B. Chemical and Dielectric Study of PMMA/Montmorillonite Nano-Composite Films. *FERROELECTRIC*; **2010**; 402 47-54. (impact factor 2009 = 0.447)
13. Sanit Sirapanichart, **Pathavuth Monvisade**, Punnama Siriphannon, and Jiti Nukeaw, Poly(methyl methacrylate-co-butyl acrylate)/Organophosphate-modified Montmorillonite Composites. *Iranian Polymer Journal* **2011**; 20(10) 803-811. (impact factor 2010 = 1.189)
14. Pannasri P., Siriphannon P., **Monvisade P.** and Nookaew J., Hydrothermal growth of ZnO nanostructures from nano-ZnO seeded in P(MMA-co-BA) matrix. *J. Polym. Res.*; **2011**; 18(6) 2245-2254. (impact factor 2010 = 1.186)
15. Suebpong Suebwongnat, Apichaya Jianprasert, Punnama Siriphannon and **Pathavuth Monvisade**, Calcium silicate/Poly(ethylene terephthalate) Biomaterials *via* Ring-opening Polymerization. *J. Polym. Res.*; **2012**; 19(10) 9985 DOI 10.1007/s10965-012-9985-3. (impact factor 2011 = 1.733)
16. Siriphannon P. and **Monvisade P.**, In situ ring-opening polymerization of hydroxyapatite/poly(ethylene adipate)-co-(ethylene terephthalate) biomimetic composites. *Bulletin of Materials Science*; **2013**; 36(1), February, 121-128. (impact factor 2012 = 0.88)
17. Chutima Kaemkit, **Pathavuth Monvisade**, Punnama Siriphannon and Jiti Nukeaw, Water-Soluble Chitosan Intercalated Montmorillonite Nanocomposites for Removal of Basic Blue 66 and Basic Yellow 1 from Aqueous Solution. *J. APPL. POLYM. SCI.* **2013**; 128(1) 879-887. (impact factor 2011 = 1.3)
18. S. Suebwongnat, **P. Monvisade** and P. Siriphannon, Mechanical properties and bioactivity of calcium silicate/poly(ethylene terephthalate-co-caprolactone) composites. *Materials Research Innovations* **2013** VOL 17 SUPPL 2 118-123.

19. Pitchaya Treenate, **Pathavuth Monvisade** and Masayuki Yamaguchi, Development of Hydroxyethylacryl Chitosan/Alginate Hydrogel Films for Biomedical Applications, *J.Polym.Res.* **2014** 21: 601 DOI 10.1007/s10965-014-0601-6. (impact factor 2013 = 1.897)
20. Apichaya Jianprasert, **Pathavuth Monvisade** and Masayuki Yamaguchi, Surface improvement on water and oil affinities and absorption rate of PVA/Tung oil-coated paperboard and fiberboard, *J.Coat.Technol.Res.* **2016** 13: 345-354.
21. Pitchaya Treenate and Pathavuth Monvisade In vitro drug release profiles of pH-sensitive hydroxyethylacryl chitosan/sodium alginate hydrogels using paracetamol as a soluble model drug, *Journal: International Journal of Biological Macromolecules* 2017, 99: 71-78.
22. Apichaya Jianprasert, Pathavuth Monvisade and Masayuki Yamaguchi Study on Crosslinked Structure and Thermal Properties of Polymer Networks Based on Tung Oil and PVA with Different Catalytic Systems, *Macromolecular Symposia* 2017, 372, 108-114.
23. Pitchaya Treenate and Pathavuth Monvisade Crosslinker Effects on Properties of Hydroxyethylacryl Chitosan/Sodium Alginate Hydrogel Films, *Macromolecular Symposia* 2017, 372, 147-153.
24. Monvisade P., Mongkolaussavarat T., Chalernsuksri T. and Chanthad C., Recycle of poly(ethylene terephthalate) by cyclo-depolymerisation and ring-opening polymerization. *KU Science Journal*, 2545 (2002), 20 (1-3), 21-29. (in Thai)
25. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ, กมลวรรณ รัตนภักดิ์, พนอ วรณวงศ์ และ ศิริยา เจียมสกุล การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตกับพอลิเอทิลีนกลูตาเรตด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง วารสารวิทยาศาสตร์มข. ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 2546(2003) หน้า 46-53.
26. ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และ สุภาณี ชนะวงศ์ การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบระหว่างไฮดรอกซีแอปทาไท์กับพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 2547(2004) หน้า 36-45.
27. ภคพล ลักณาพรวิสิฐ, ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และ วรธรรม อุ่นจิตติชัย กาวติดไม้ไร้สารฟอร์มัลดีไฮด์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้งธรรมชาติสำหรับงานแผ่นพาร์ทิเคิล วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 3 (ฉบับพิเศษที่ 2) มีนาคม 2554 หน้า 23-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสนอผลงานวิชาการ

1. Hodge P., Monvisade P., Ruddick C.L. Synthesis of soluble libraries of macrocycles which potentially have recognition properties. in Innovation and perspectives in solid-phase synthesis and combinatorial libraries; Ed. Epton R. Mayflower worldwide limited, Kingswinford, UK, 2001; .181-184.
2. Monvisade P., Choeykomhaeng M. The formation of the inclusion complex of β -cyclodextrin with PMMA. PPC8, Bangkok, Thailand. 24-27 November 2003. 91.
3. Monvisade P., Siriphannon P., Chanawong S. Synthesis of hydroxyapatite/poly (ethylene adipate) composites by in situ ring-opening polymerization. PPC8, Bangkok, Thailand. 24-27 November 2003. 115-116.
4. Monvisade P., Siriphannon P., Chitosan intercalated montmorillonite adsorbent for dye containing wastewater treatment. The Sixth Princess Chulabhorn International Science Congress, The interface of chemistry and biology in the "Omics" era: Environment & Health, and Drug Discovery, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. 25-29 November 2007.
5. Siriphannon P., Monvisade P., Hybrid ceramic-polymer biomaterials. The French-Thai Workshop on "Advanced Materials and Technology", (Krabi, Thailand), March 23-27, 2008.
6. Siriphannon P., Monvisade P., Biomimetic ceramic-polymer composites for medical applications. AUN/SEED Net 1st Regional Workshop on Natural Resources and Materials for Sustainable Development of ASEAN, (Phnom Penh, Kingdom of Cambodia), August 18-19, 2008.
7. Monvisade P., Siriphannon P., Adsorption of dye onto chitosan intercalated montmorillonite. The IUMRS International Conference in Asia 2008, (Nagoya, Japan), December 9-13, 2008.
8. Chumchuen W., Monvisade P., Siriphannon P., and Oonjittichai W., Tung oil modified poly(vinyl alcohol) as formaldehyde-free wood adhesives. The 6th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific Rim (6th ISAMAP), Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, November 21 - 23, 2009.
9. Monvisade P. and Intharavichain T., Synthesis of poly(diethylene adipate), poly(diethylene terephthalate) and their copolymer via ring-opening polymerization. 7th International Symposium on Advance Material in Asia-Pacific (7th ISAMAP), Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST), Ishikawa High-Tech Exchange Center, Ishikawa, Japan, Sep. 30-Oct. 1, 2010.
10. Lakkanapornwisit P., Monvisade P. and Oonjittichai W., Effect of silica on mechanical properties of particle board using formaldehyde free adhesive. Proceeding of The 8th International Symposium on Advanced

Materials in Asia-Pacific Rim (8th ISAMAP) and The 2nd International Workshop on Nanogrid Materials (IWNM), Hotel Novotel Ambassador Busan, Haeundae, Busan, Korea, Nov. 2-5, 2011, p 36-41.

1 1 . Suebpong Suebwongnat, Punnama Siriphannon, Pathavuth Monvisade, Preparation of Calcium Silicate/Poly(ethylene terephthalate-co-caprolactone) Composites for Medical Applications, Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2012), Chiang Mai, Thailand, 11th-13th January 2012 page 65.

1 2 . Suebpong Suebwongnat, Punnama Siriphannon and Pathavuth Monvisade, Mechanical properties and bioactivity of calcium silicate/poly(ethylene terephthalate-co-caprolactone) composites. 15th International Conference on Advances in Materials & Processing Technologies (AMPT 2012), Novotel Wollongong Northbeach Hotel, Wollongong, Australia, Sep. 23-26, 2012.

1 3 . Sasipa NAPRADIT and Pathavuth MONVISADE, Study on Swelling Behavior and PVPI Release of Xanthan Gum/PVA Hydrogel Films. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID046, p 44-45.

1 4 . Pathavuth MONVISADE, Jitranuch JIRAPATHOMKUL, Thitima CHAYASIT, Phatthanit CHAWALITAUEAPANGKUN, Jirapaporn LARPBORISUT, Chawanrut WATTANAWIBOON, and Thitatorn BOONWATTANASOPHON, Releasing Behavior of Orthophosphate from Anionic Biopolymer/Guar Gum Fertilized-gel Tablets. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID048, p 46-47.

1 5 . Apichaya JIANPRASERT and Pathavuth MONVISADE, Improvement of Water Resistance of Formaldehyde-free Adhesive Film Based on PVA/Tung oil/Natural Rubber Latex. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID051, p 50-51.

1 6 . Pitchaya TREENATE, Pathavuth MONVISADE and Masayuki YAMAGUCHI, Characterization and Swelling Behavior of Water-soluble Chitosan/Sodium Alginate Hydrogel Film as a Potential Wound Dressing. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID052, p 52-53.

1 7 . Natthadanai OONKASEM , Pathavuth MONVISADE and Apichaya JIANPRASERT, Development of Formaldehyde-free Adhesive from Poly(vinyl alcohol) Modified by Natural Drying Oil and Natural Rubber

Latex. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID062, p 65-66.

18. Siriwan PINSAKUL, Suparat RUKCHONLATEE, Pathavuth MONVISADE and Vara CHAIYANIT, Modified Plastisol Inks Based on Ethylene Vinyl Acetate and Ethylene Methyl Acrylate Copolymers. 3rd International Symposium on Technology for Sustainability 2013, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong, Nov. 20-22, 2013, ID071, p 73-74.

19. Pathavuth Monvisade, Sasipa Napradit and Masayuki Yamaguchi, Study on Ionic Crosslinking Agents for Crosslinked Xanthan Gum/Poly(vinyl alcohol) Hydrogel Films, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014.

20. Piyathida Hasitapong, Pathavuth Monvisade, Patchanee Charoenying and Chamroon Laosinwattana, Controlled Release of Herbicide from *Agaia odorata* Dry Leaf Aqueous Extracts by Crosslinked Alginate Hydrogels, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014 p40-43.

21. Pusit Chantawut and Pathavuth Monvisade, Controlled Releasing Behavior of Potassium Dihydrogen Phosphate from crosslinked Alginate/Guar Gum Hydrogels coated with Tung oil, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014 p26-28.

22. Sasipa Napradit, Pathavuth Monvisade and Masayuki Yamaguchi, Characterization of Xanthan Gum/Poly(vinyl alcohol) Films Crosslinked with Ferric Sulfate, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014 p29-30.

23. Natthadanai Oonkasem and Pathavuth Monvisade, Influence of Drying Oil and Natural Rubber Latex as Ingredient in Poly(vinyl alcohol) based Formaldehyde-free Adhesive on the properties of Particle Board, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014 p189-192.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. Siriwan Pinsakul, Pathavuth Monvisade, Suparat Rukchonlatee, Vara Chaiyanit, Potentially Use of Modified Plastisol Inks Based on EVA/EVOH, The 2014 IUPAC World Polymer Congress and MACRO 2014 and the Chemical Society of Thailand (CST), Chiang Mai international convention and exhibition center (CMICE), Chiang Mai, Thailand, July 6-11, 2014 p174-177.
25. Suebpong Suebwongnat, Pathavuth Monvisade and Punnama Siriphannon Mechanical property and biological testing of calcium silicate/poly(ethylene terephthalate-co-carprolactone) composites as potentially medical application, 5th EuCheMS Chemistry Congress, WOW Convention Center, Istanbul, Turkey, Aug 31-Sep 4, 2014 p 1306.
26. Thitatorn Boonwattanasophon, Pathavuth Monvisade and Vara Chaiyanitaya Development of water-based ink for silk screen printing from modified poly(vinyl alcohol) and natural rubber, Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015), Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand, 21 - 23 January, 2015, p 424-427.
27. Pitchaya Treenate and Pathavuth Monvisade Controlled Release of Paracetamol from pH-Sensitive Hydroxyethylacryl Chitosan/Sodium Alginate Films for Oral Drug Delivery, Burapha University International Conference 2015, Bangsaen Heritage Hotel, Bangsaen, Chonburi, Thailand, 10-12 July 2015
28. Pitchaya Treenate, Pathavuth Monvisade and Masayuki Yamaguchi The Effect of Glycerol/Water and Sorbitol/Water on the Plasticization of Hydroxyethylacryl Chitosan/Sodium Alginate Films, MATEC Web of Conferences 30, 02006, , 2015 DOI: 10.1051/ mateconf/20153002006. [the 4th International Conference on Material Science and Engineering Technology (ICMSET 2015) Singapore, October 26-28, 2015
29. Apichaya Jianprasert, Pathavuth Monvisade and Masayuki Yamaguchi Combination of Tung oil and Natural Rubber Latex in PVA as Water Based Coatings for Paperboard Application, MATEC Web of Conferences 30, 03010, 2015 DOI: 10.1051/ mateconf/20153003010. [the 4th International Conference on Material Science and Engineering Technology (ICMSET 2015) Singapore, October 26-28, 2015
30. Mongkhhol Prawatborisut and Pathavuth Monvisade, Preparation and characterization of β -cyclodextrin-modified hydroxyethylacrylchitosan and its inclusion complexes with methyl orange, Pure and Applied Chemistry International Conference 2016 (PACCON2016), Bangkok international trade & exhibition center (BITEC), Bangkok, Thailand, 9-11 February, 2016 p 1176-1180.

31. Apichaya Jianprasert and Pathvuth Monvisade, Study on crosslinked structure and thermal properties of polymer networks based on Tung oil and PVA with different catalytic systems, Polymer networks group meeting, KTH Campus, Brinellvägen 8, Stockholm, Sweden, June 19-23, 2016

32. Pitchaya Treenate and Pathvuth Monvisade, Crosslinker effects on properties of hydroxyethylacrylchitosan/sodium alginate hydrogel film, Polymer networks group meeting, KTH Campus, Brinellvägen 8, Stockholm, Sweden, June 19-23, 2016

33. Prawit Arnutnanon, Pathavuth Monvisade, Suparat Rukchonlatee and Vara Chaiyanit, Modified plastisol ink based on EVA/NR and EVA/ENR, The 6th International polymer conference of Thai (PCT-6), Pathumwan Princess Hotel, Bangkok, Thailand June 30 - July 1, 2016

34. Jarinya Mahamut and Pathvuth Monvisade, Development of Formaldehyde Free Adhesive from Oleic Acid Modified Poly(vinyl alcohol)/Tung Oil for Particle Board, The 6th International polymer conference of Thai (PCT-6), Pathumwan Princess Hotel, Bangkok, Thailand June 30 - July 1, 2016

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

ยื่นจดสิทธิบัตร ภัทธาร มนต์วิเศษ และ ภกพล ลักนาพรวิสิฐ (ผู้ประดิษฐ์) กาวติดไม้ชนิดไม่มีสารฟอร์มัลดีไฮด์ จากพอลิไวนิลอัลกอฮอล์กับน้ำมันชักแห้งเสริมแรงด้วยซิลิกาสำหรับงานพาร์ทิเคิลบอร์ด คำขอเลขที่ 1101002357 ยื่นคำขอเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้