

การเตรียมเรซินที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม



นางสาวพิชญนันท์ ภูเพียงใจ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF ULTRAVIOLET CURABLE RESIN FROM PALM KERNEL OIL

Miss Pichayanan Pupiangjai



สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

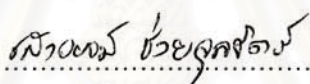
Copyright of Chulalongkorn University

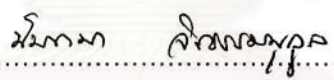
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมเรซินที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
โดย นางสาวพิชญนันท์ ภูเพียงใจ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิระธรรมนุกุล


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

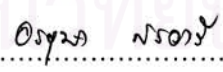

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเศวต)

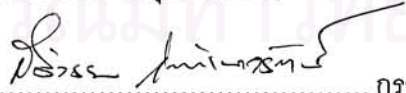
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจิตร์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิระธรรมนุกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรุษา สรวารี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิวีวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

พิชญนันท์ ภูเพียงใจ : การเตรียมเรซินที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
(PREPARATION OF ULTRAVIOLET CURABLE RESIN FROM PALM KERNEL OIL)
อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทนา จิรธรรมนุกุล, 80 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เพื่อนำมาใช้เป็นโพลิเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยได้ทำการศึกษาหาภาวะและสารเคมีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ ศึกษาหาสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมในการทำสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการบ่มตัวและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

น้ำมันเมล็ดในปาล์มทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสกับพอลิแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันต่อกับเมทิลเมทาคริเลตที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่มีตัวเร่ง จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นโพลิเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วพบว่า มีสมบัติความอ่อนตัวและความติดแน่นที่ดี แต่ใช้พลังงานในการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงกว่าสารเคลือบผิวทางการค้า การใส่โพลิเมอร์ทางการค้าเข้าไปเป็นองค์ประกอบร่วมในสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการบ่มตัวและเพิ่มสมบัติความทนต่อแรงกระแทกของฟิล์ม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มด้วยกัน พบว่าในสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิเมอร์จะใช้พลังงานในการบ่มที่ต่ำกว่า และให้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าสูตรสารเคลือบผิวที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิเมอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต..... นันทนา จิรธรรมนุกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... นันทนา จิรธรรมนุกุล

4672349623 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: KERNEL OIL / ACRYLATED RESINS / UV CURABLE COATING

PICHAYANAN PUPIANGJAI : PREPARATION OF ULTRAVIOLET CURABLE RESIN FROM PALM KERNEL OIL. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NANTANA JIRATUM-NUKUL, Ph.D, 80 pp.

The purpose of this research was to prepare fatty acid alcohol ester acrylate from kernel palm oil and use as an oligomer in ultraviolet curable coating formulation. The study was conducted to fine optimum conditions in preparation, and, proper ultraviolet curable coating formulation. In addition, the physical properties of cure film were also studied

Kernel palm oil was reacted with polyalcohol giving fatty acid alcohol ester. Then the product was esterified with methyl methacrylate at 60 °C for 1 hour without catalyst resulting fatty acid alcohol ester acrylate. The obtained acrylate was used as an oligomer in ultraviolet curable coating formulation. The synthetic acrylate required higher energy in curing process than commercial acrylate. However, using the blend of prepared acrylate and commercial acrylate as oligomers in the formulation lowered the energy in cure process and enhanced adhesion as well as impact strength of the films.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Materials Science

Student's signature.....

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....

Academic year 2006

Pichayanon Pupiongjai
Nantana Jiratumnukul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์ เพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านี้คือ ผศ. ดร. นันทนา จิระธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รศ. เสาวรจณี ช่วยจุลจิตร์ รศ. ไพพรรณ สันติสุข รศ. อรุษา สรวารี และ ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาค วิชาวัสดุศาสตร์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีสำหรับการทำวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัท Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited ให้ความอนุเคราะห์ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิด
2. บริษัท Cognis Thailand Limited. ให้ความอนุเคราะห์ตัวเจือจางที่ว่องไว และโพลิเมอร์ทางการค้า
3. บริษัท สุขสมบูรณ์ ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องชาย น้องสาวที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อต่างๆ เสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ

บทที่

1	บทนำ.....	1
2	วารสารปริทัศน์.....	3
	2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมัน.....	3
	2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน.....	3
	2.1.2 ปาล์มน้ำมัน.....	4
	2.1.3 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	5
	2.2 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี.....	7
	2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี.....	7
	2.2.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	7
	2.2.3 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	9
	2.2.4 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	10
	2.2.4.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง.....	10
	2.2.4.2 ตัวเจือจางที่ว่องไว.....	11
	2.2.4.3 สารเติมแต่ง.....	13
	2.2.4.4 โอลิโกเมอร์.....	13
	2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมัน.....	17
	2.4 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโอลิโกเมอร์.....	18
	2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
	3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	20
	3.2. เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....	20
	3.3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	20
	3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	21
	3.5 ขอบเขตการทดลอง.....	21
	3.6 การสังเคราะห์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	21
	3.7 การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์ เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	22
	3.8 การสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อใช้เป็น โพลิโกเมอริในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	24
	3.9 การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสียูวีของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	25
	3.10 การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิว.....	27
	3.10.1 ความอ่อนตัว.....	27
	3.10.2 ความติดแน่น	28
	3.10.3 ความทนทานต่อแรงกระแทก.....	29
	3.10.4 ความแข็ง.....	30
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	31
	4.1 การสังเคราะห์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	31
	4.1.1 การวิเคราะห์อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	31
	4.1.2 การวิเคราะห์อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	33
	4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์ เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	35
	4.2.1 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	35
	4.2.2 การวิเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy.....	37

4.3 การเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อนำไปทำสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	40
4.3.1 อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่สัดส่วนของ เมทิลเมทาคริเลตต่างๆ กัน.....	40
4.3.2 อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่สัดส่วนของ เมทิลเมทาคริเลตต่างๆ กัน.....	42
4.4 การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	45
4.4.1 การแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีเฉพาะ โพลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นองค์ประกอบ.....	47
4.4.2 ผลของตัวเจือจางว่องไวที่มีต่อการแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	48
4.4.3 ผลของโพลิโกเมอร์ร่วมที่มีต่อการแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	50
4.4.4 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน และอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลที่มีต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิว จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	51
4.5 การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	53
4.5.1 สมบัติความอ่อนตัวของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	55
4.5.2 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	55
4.5.3 สมบัติความทนต่อแรงกระแทกของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตรา- ไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	59
4.5.3 สมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	61
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65

บทที่	ญ หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
รายการอ้างอิง	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	80



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิต การนำเข้า-ส่งออก และการใช้ประโยชน์น้ำมันพืชของไทย ปี 2545	6
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	23
ตารางที่ 3.2 รหัสตัวอย่าง , ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	25
ตารางที่ 3.3 รหัสตัวอย่าง , ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	25
ตารางที่ 3.4 สูตรสารเคลือบผิวที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน เป็นโพลิโกลิเมอร์.....	26
ตารางที่ 3.5 การขั้บกรังของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี cross cut.....	28
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอล เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	36
ตารางที่ 4.2 ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน 3 ระดับ.....	40
ตารางที่ 4.3 ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน 3 ระดับ.....	43
ตารางที่ 4.4 สูตรและพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวทุกสูตร.....	46
ตารางที่ 4.5 พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวในสูตรที่มีเฉพาะ โกลิเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นองค์ประกอบ.....	47
ตารางที่ 4.6 พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเปรียบเทียบระหว่างสูตร ที่มีและไม่มีตัวเจือจางว่องไวเป็นองค์ประกอบ.....	49
ตารางที่ 4.7 สมบัติความอ่อนตัว , ความติดแน่น , ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง ของสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	54
ตารางที่ 4.8 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับ เมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1:3.....	57

ตารางที่ 4.9 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับ เมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1:6.....	57
ตารางที่ 4.11 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์ อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์.....	58
ตารางที่ 4.12 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์ อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์.....	58



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพผลปาล์มและเมล็ดในปาล์มที่สามารถสกัดแล้วให้น้ำมัน.....	5
รูปที่ 2.2 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี	7
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	8
รูปที่ 2.4 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากพระอาทิตย์	8
รูปที่ 2.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยอาศัยการแตกตัว ของอนุมูลอิสระ.....	9
รูปที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุภาคเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยา.....	11
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเคมีของ Phenol ethoxylate monoacrylate	12
รูปที่ 2.8 โครงสร้างเคมีของ Tripropylene glycol diacrylate	12
รูปที่ 2.9 โครงสร้างเคมีของ 1,6-Hexanediol diacrylate	12
รูปที่ 2.10 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate	13
รูปที่ 2.11 โครงสร้างเคมีของ bisphenol A epoxide with acrylic acid.....	14
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของ Urethane Acrylate Oligomer.....	15
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของ Polyester Acrylate	16
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโครงสร้างเคมี Polyether Acrylate.....	16
รูปที่ 2.15 ปฏิกริยารานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับกลีเซอรอล	17
รูปที่ 2.16 ปฏิกริยารานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับเอทาลีนไกลคอล	17
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโอลิโกเมอร์.....	18
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโอลิโกเมอร์.....	18
รูปที่ 3.1 เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโตมิเตอร์	22
รูปที่ 3.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น UV tech	27
รูปที่ 3.3 Conical Mandrel Test Apparatus	27
รูปที่ 3.4 Impact Strength Tester	29
รูปที่ 3.5 Mechanical Scratch Test Apparatus	30
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม เอทิลลีนไกลคอล และ อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	32

รูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 4.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับเอทิลีนไกลคอล.....	33
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม กลีเซอรอล และ อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	34
รูปที่ 4.4 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับกลีเซอรอล.....	34
รูป 4.5 FT-IR สเปกตรัมของอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	38
รูป 4.6 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เมทิลเมทาคริเลต และ อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	38
รูปที่ 4.7 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์กับเมทิลเมทาคริเลต.....	39
รูปที่ 4.8 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์กับเมทิลเมทาคริเลต.....	39
รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เมทิลเมทาคริเลต FAEGA1:1 FAEGA1:3 และFAEGA1:6.....	41
รูปที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เมทิลเมทาคริเลต FAGA1:1 FAGA1:3 และ FAGA1:6.....	44
รูปที่ 4.11 ผลของโวลิวเมอ์ทางการค้าที่มีต่อพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของ สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	51
รูปที่ 4.12 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุคที่มีต่อพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของ สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	52
รูปที่ 4.13 ผลของโวลิวเมอ์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงกระแทกของ สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	60
รูปที่ 4.14 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุคที่มีสมบัติความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	61
รูปที่ 4.15 ผลของโวลิวเมอ์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	62
รูปที่ 4.16 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุคที่มีสมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวจาก น้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	63

บทที่ 1

บทนำ

ทุกวันนี้คนเราอาศัยอยู่ในโลกที่วัตถุสิ่งของต่าง ๆ ถูกผลิต ถูกตกแต่ง หรือถูกปกป้องด้วยสารเคลือบผิว ในบ้านมีการทาสีที่ผนังห้องเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากอายุการใช้งานและก่อให้เกิดความสวยงามบ่งบอกถึงรสนิยมของผู้เป็นเจ้าของ บนถนนสัญญาณจราจรและเครื่องหมายจราจรล้วนถูกขีดเขียนด้วยสีที่ทนทานต่อการกัดกร่อนและสภาพแวดล้อม หรือแม้แต่ในที่ทำงานซึ่งอุปกรณ์สำนักงานหนังสือสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ถูกเคลือบไว้อย่างสวยงามเพื่อดึงดูดผู้พบเห็น จึงไม่น่าแปลกใจที่การขยายตัวของอุตสาหกรรมสารเคลือบผิวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง พร้อม ๆ กับการปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีด้านคุณภาพและกระบวนการผลิตควบคู่กัน

สำหรับแนวโน้มของงานวิจัยด้านสารเคลือบผิวในปัจจุบันนั้นได้ให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การบ่มสารเคลือบผิวโดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและนิยมใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากระบบดังกล่าวอาศัยการแตกตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงด้วยพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วได้อนุภาคที่มีความว่องไวสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้น เกิดเป็นฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบอยู่บนพื้นผิวที่ต้องการ จะเห็นได้ว่าระบบดังกล่าวนอกจากจะดีต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่ระบบเพื่อทำให้เกิดฟิล์ม (1)

เนื่องจากวิกฤตราคาน้ำมันที่ถีบตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้เกิดความพยายามที่จะนำวัตถุดิบอื่น ๆ จากธรรมชาติและมีอยู่ในประเทศมาใช้ในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวทดแทนการใช้การใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม น้ำมันพืชถือว่าเป็นตัวเลือกแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้ น้ำมันพืชมีข้อดีหลายประการ กล่าวคือ เป็นวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดผลิตทดแทนได้ตลอดเวลา, มีความสามารถในการสลายตัวตามธรรมชาติ และเมื่อนำมาทำเป็นสารเคลือบแล้วให้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่น (2)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชให้น้ำมันที่นิยมปลูกในประเทศไทยเนื่องจากมีสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ แม้ปัจจุบันจะมีกำลังการผลิตน้อยกว่าประเทศเพื่อนบ้านแต่ก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี ๆ ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันได้จากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ จากเปลือกหุ้มภายนอก และจากเนื้อในของเมล็ด อย่างไรก็ตามก็มีข้อน่าสังเกตบางประการจาก

ข้อมูลเอฟเอไอ ปี พ.ศ. 2545 กล่าวคือ น้ำมันจากเปลือกหุ้มภายนอกของผลปาล์มนั้นมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในประเทศ แต่น้ำมันเมล็ดในปาล์มนั้นไม่มีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศเลย ทั้ง ๆ ที่เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาน้ำมันเมล็ดในปาล์มมาผ่านกระบวนการดัดแปรทางเคมีเพื่อให้ได้เป็นมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงสามารถนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งถ้างานวิจัยประสบผลสำเร็จนอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางเกษตรอย่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มแล้ว จะทำให้ได้สารเคลือบผิวชนิดใหม่ที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์อีกทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมัน (3)

โดยทั่วไปแล้ว คำว่า น้ำมัน หมายความว่า สารประกอบ 2 ประเภท

ประเภทแรก คือ น้ำมันแร่ ซึ่งสูบขึ้นมาจากใต้ดิน ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น และผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ไม่สามารถใช้บริโภคได้ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

ประเภทที่สอง คือ น้ำมันพืช ที่บริโภคได้ ได้แก่ น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ ซึ่งเป็น สารประกอบเชิงอินทรีย์เคมีที่พืชและสัตว์สังเคราะห์ขึ้นและถูกนำไปสกัดออกมาใช้บริโภคหรือใช้เตรียมอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและแปรรูปให้ชวนรับประทานยิ่งขึ้น ในสมัยแรกที่มีการสกัดน้ำมันพืช นั้นก็เพื่อใช้ทดแทนหรือผสมกับน้ำมันสัตว์ให้มีปริมาณมากขึ้นเพียงพอต่อความต้องการเท่านั้น และก็พบว่ามีพืชหลายชนิดที่ใช้สกัดเอาน้ำมันได้ ประกอบกับวิทยาการในการเพาะปลูก การสกัด และการแปรรูปได้ก้าวหน้าตามลำดับ จึงได้นำน้ำมันพืชไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการบริโภคอีกมากมายหลากหลายชนิด เช่น เครื่องสำอาง ยารักษาโรค สบู่ ผงซักฟอก เส้นใยสังเคราะห์ หนังสืเทียม แผ่นพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่น (กรณีขาดแคลน) รวมไปถึงการนำน้ำมันพืชมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว ทำให้กล่าวได้ว่า น้ำมันพืช ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมัน

น้ำมันทั้งของพืชและสัตว์เป็นสารประกอบเชิงอินทรีย์ เกิดจากการรวมตัวของกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) หรือกรดไขมันหลายโมเลกุล โดยมีกลีเซอรอลหรือกลีเซอริน (Glycerol or Glycerine) เป็นตัวเชื่อม

กรดไขมันแต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างของตัวเองโดยเฉพาะ และยังแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่ (double bond) ในโครงสร้าง คาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่ จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีแต่กรดไขมันอิ่มตัวสูง อยู่ในโครงสร้าง จัดเป็นน้ำมันชนิดอิ่มตัว

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว โซไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่หรือพันธะไม่อิ่มตัวตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงจัดว่าเป็น น้ำมันไม่อิ่มตัว

2.1.2 ปาล์มน้ำมัน (4)

กลุ่มพืชให้น้ำมันที่สำคัญในตลาดโลก มี 4 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง เรปซีด และทานตะวัน เมื่อเทียบราคาต้นทุนผลิต ปาล์มน้ำมันมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ เนื่องจากเป็นพืชยืนต้น มีโอกาสเสี่ยงต่อผลกระทบภัยธรรมชาติน้อยเมื่อเทียบกับพืชอายุสั้นอื่น ๆ ทั้งยังเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี นอกจากนี้การที่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มสูงขึ้น ส่งผลให้การผลิตปาล์มน้ำมันขยายตัวอย่างรวดเร็วช่วง 3 ทศวรรษที่ผ่านมา

อย่างไรก็ตามมีเพียง 42 ประเทศเท่านั้นที่นิยมปลูกปาล์มน้ำมัน เพราะปาล์มน้ำมันมีข้อจำกัดซึ่งต่างจากพืชน้ำมันประเภทอื่นๆ ที่ปลูกกันกว้างขวางทั่วโลก เนื่องจากพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน จะอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 10 องศาเหนือ-ใต้เส้นศูนย์สูตร หรืออย่างสูงไม่เกิน 20 องศาเหนือ-ใต้เส้นศูนย์สูตร ทำให้แหล่งผลิตปาล์มน้ำมันหลักของโลก คือมาเลเซียและอินโดนีเซีย ซึ่งมีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 21.1 ล้านไร่และ 15 ล้านไร่ตามลำดับ คิดเป็น 31.3% และ 22.2% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันรวมของโลก

สำหรับประเทศไทย ปาล์มน้ำมันชนิดที่ปลูกเชิงการค้ามีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา และได้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทย โดยผ่านทางอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เมื่อประมาณ พ.ศ. 2470 ที่สถานีทดลองยางคอหงษ์ จังหวัดสงขลา และสถานีกสิกรรมพลิว จังหวัดจันทบุรี

ปัจจุบันถือว่ายังมีปริมาณการผลิตในประเทศที่น้อยมาก พื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 1.4 ล้านไร่ หรือ 0.02% ของพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตของโลก แต่มีข้อน่าสังเกตคือ อัตราการเพิ่มผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันของไทยเฉลี่ยต่อไร่ช่วงปี 2530-2545 เพิ่มสูงกว่าประเทศผู้ผลิตปาล์มน้ำมันรายอื่น ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของไทย น่าจะมีโอกาสสูงขึ้นอีก จนใกล้เคียงมาเลเซียในช่วง 3-6 ปีข้างหน้า

ปาล์มน้ำมันมีต้นทุนผลิตต่ำผลผลิตต่อพื้นที่สูง แม้ว่าราคาซื้อขายในตลาดไม่สูงนัก แต่เสี่ยงต่อการเสียหายจากภัยธรรมชาติน้อย สามารถผลิตได้ปริมาณมากรองรับต่อความต้องการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกได้

การที่พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันมีจำกัด จึงเป็นข้อได้เปรียบของประเทศไทย ประกอบกับ น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย กรดไขมันหลายชนิด อุดมด้วยวิตามินอีและวิตามินเอ องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ สามารถสกัดและใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมใช้ไอเลฟินเป็นวัตถุดิบ และอื่น ๆ ซึ่งเพิ่มมูลค่าได้อีกหลากหลาย

2.1.3 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม

น้ำมันปาล์มเกิดขึ้นจากผลปาล์ม 2 ส่วน คือ จากเปลือกหุ้มภายนอก และจากเนื้อในของเมล็ด

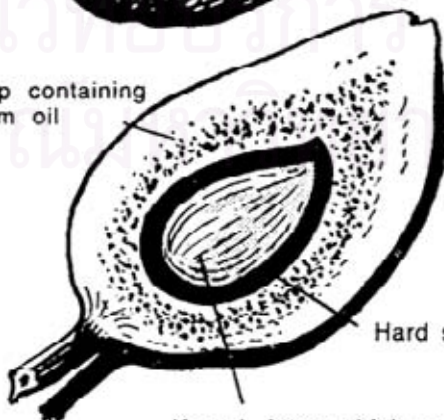
น้ำมันจากเปลือกของปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัว ประมาณร้อยละ 52 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 48 ดังนั้น จึงต้องนำน้ำมันดิบผ่านกรรมวิธีแยกกรดไขมันทั้งสองออกจากกัน นำน้ำมันไม่อิ่มตัวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ใช้ปรุงอาหาร ทำเนยเทียม หรือมาการีน เนยขาว เป็นส่วนผสมของนมข้นหวาน ไอศกรีม และขนมอีกหลายชนิด ส่วนที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวก็นำไปทำสบู่ ผงซักฟอก และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่น ๆ

ส่วนน้ำมันเนื้อในของเมล็ดปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85 - 90 ทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เครื่องสำอาง ผงซักฟอก อุตสาหกรรมสี และเรซิน เป็นต้น

Fruit of the oil palm



Pulp containing palm oil



Hard shell

Kernel from which palm kernel oil is extracted

รูปที่ 2.1 ผลปาล์ม และ เมล็ดในปาล์ม ที่สามารถสกัดแล้วให้น้ำมัน (5)

พิจารณาตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นข้อมูลเอฟเฟอไอ ปี พ.ศ. 2545 พบว่าการใช้ประโยชน์น้ำมันพืชภายในประเทศของไทยมีปริมาณสูงถึง 748,545 ตัน โดยน้ำมันปาล์มจัดเป็นน้ำมันที่มีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศสูงสุด รองลงมา คือน้ำมันถั่วเหลือง คิดเป็น 68.22% และ 18.54% ตามลำดับ ส่วนน้ำมันพืชอื่น ๆ มีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศในปริมาณที่น้อย อยู่ระหว่าง 0.01-5% ของปริมาณการใช้ทั้งหมด ข้อสังเกตคือน้ำมันปาล์มที่สกัดจากเมล็ดในปาล์มไม่มีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศเลย ทั้ง ๆ ที่เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับน้ำมันมะพร้าว (6)

ดังนั้นประเทศไทยควรพัฒนาการใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์มสกัดจากเมล็ดใน เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์แทนการส่งออก

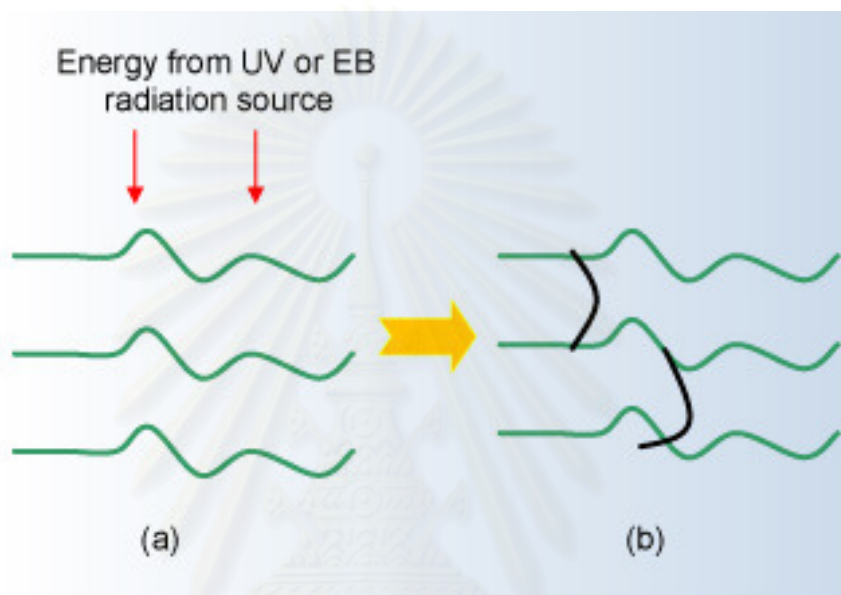
ตารางที่ 2.1 ปริมาณ การผลิต การนำเข้า-ส่งออก และการใช้ประโยชน์น้ำมันพืชของไทย ปี 2545

น้ำมันพืช	ปริมาณ (ตัน)				% ใช้ในประทศ
	ผลิตในประเทศ	นำเข้า	ส่งออก	ใช้ในประเทศ	
ปาล์ม	590,000	2,589	81,951	510,638	68.22
ถั่วเหลือง	170,000	4	31,196	138,808	18.54
มะพร้าว	42,049	5	992	41,062	5.49
ลพบุรี	5,399	15,322	1,552	19,169	2.56
ทานตะวัน	ไม่มีข้อมูล	13,691	59	13,632	1.82
ถั่วลิสง	12,696	0	0	12,696	1.7
งา	8,662	89	461	8,290	1.11
ฝ้าย	3,747	16	0	3,763	0.5
รำข้าว	18,900	61	16,114	2,847	0.38
ลินซีด	ไม่มีข้อมูล	1,246	4	1,242	0.17
โอเลฟ	ไม่มีข้อมูล	1,148	4	1,144	0.15
ข้าวโพด	ไม่มีข้อมูล	843	1	842	0.11
เรพซิด	ไม่มีข้อมูล	150	74	76	0.01
เมล็ดในปาล์ม	54,413	6	60,083	-5,664	-0.76
รวม	905,866	35,170	192,491	748,545	100

2.2 การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี (7)

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี เป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน, แสงอัลตราไวโอเล็ต, แสงขาว หรือรังสีอื่นๆ ในการพอลิเมอไรซ์สารเคลือบผิวที่เป็นของเหลวซึ่งมีองค์ประกอบของอนุภาคที่ว่องไวต่อการฉายรังสีทำให้เกิดการเชื่อมขวางได้เป็นฟิล์มที่แข็ง แสดงดังรูปที่ 2.2



รูป 2.2 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสี

การบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นที่นิยมใช้มาก ราวๆ 90% ของตลาดสารเคลือบผิวด้วยรังสีใช้เทคนิคนี้ สำหรับ 10% ที่เหลือเป็นการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ในขณะที่ใช้แสงขาวนั้นพบน้อยมาก ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวเฉพาะการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2.2.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (8)

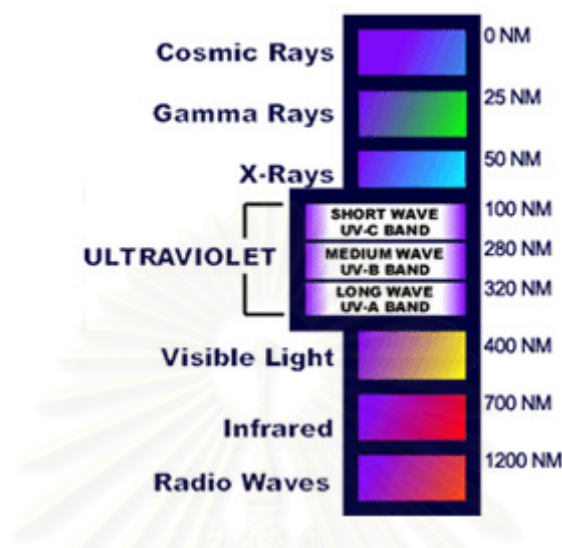
แสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100 – 400 นาโนเมตร หรือ มีช่วงสเปกตรัมอยู่ระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) กับแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible light) ซึ่งสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ตนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 สเปกตรัมด้วยกัน ซึ่งได้แก่

UV C เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-280 นาโนเมตร

UV B เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 280-320 นาโนเมตร

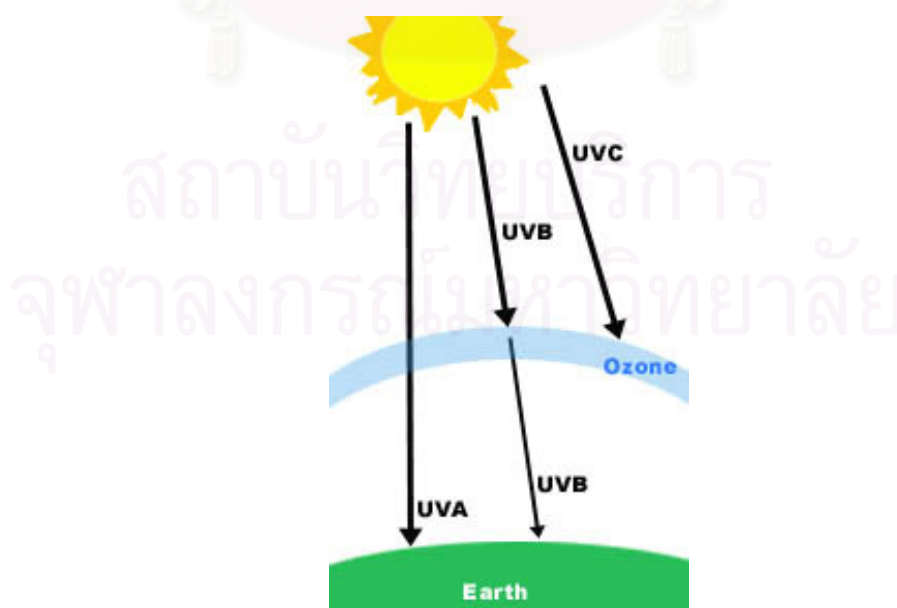
UV A เป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 320-400 นาโนเมตร

แสดงรูปสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 2.3



รูป 2.3 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

แสงอัลตราไวโอเล็ตสามารถสร้างได้จากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น หลอดไฟยูวี หลอดแบล็คไลท์ หลอดชั้นแทน หลอดฆ่าเชื้อ หลอดคาร์บอนอาร์ค การเชื่อมและติดโลหะ เตาลดม อุปกรณ์ทดสอบ และ อุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องทดลอง หรือในธรรมชาติ ดวงอาทิตย์ คือแหล่งที่ผลิตแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งมีเพียง UV B และ UV A ที่สามารถผ่านโอโซนของโลกเข้ามาได้ แสดงดังรูป 2.4



รูป 2.4 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากพระอาทิตย์

2.2.3 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (7)

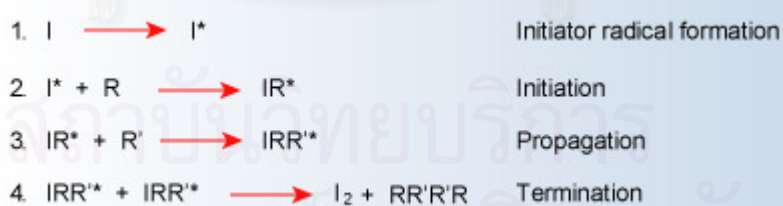
กลไกที่สำคัญในการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสียูวีมี 2 กลไกด้วยกัน นั่นก็คือ

1. กลไกที่อาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ (Free radical mechanism)
2. กลไกที่อาศัยการแตกตัวของประจุบวก (Cationic mechanism)

กลไกที่อาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระจะประกอบด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่ 4 ขั้นตอน อันได้แก่

- 1) ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระเริ่มปฏิกิริยา (Initiator radical formation)
- 2) ขั้นตอนการเริ่มปฏิกิริยา (Initiation)
- 3) ขั้นตอนการแพร่ของปฏิกิริยา (Propagation)
- 4) ขั้นตอนการสิ้นสุดของปฏิกิริยา (Termination)

ปฏิกิริยาแสดงได้ในรูปที่ 2.5 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (I) และโมโนเมอร์ที่ว่องไวต่อการกระตุ้น (R , R') จะแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยรังสียูวีซึ่งจะกลายเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาลูกโซ่ในขั้นตอนการแพร่ของปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นฟิล์มเคลือบแข็งต่อไป แต่ถ้าในระบบมีบรรยากาศของออกซิเจน โมเลกุลออกซิเจนจะเข้าไปแย่งทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำสารเคลือบผิวไม่แห้ง หรือได้สายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิว



รูป 2.5 กลไกการบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยอาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ

สำหรับกลไกที่อาศัยการแตกตัวของประจุบวก (Cationic mechanism) มีขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาคัดล้ายคลึงกัน เพียงแต่การอาศัยตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่แตกตัวแล้วให้ประจุบวกแทนการแตกตัวของอนุมูลอิสระ ข้อดีสำหรับกลไกนี้ก็คือไม่เกิดการหน่วงปฏิกิริยาโดยออกซิเจนเหมือนกลไกที่อาศัยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ ทำให้ได้ฟิล์มที่การหดตัวต่ำและยึดติดดี ส่วน

ข้อเสียก็คือตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้ส่วนมากไวต่อความชื้นและสารเคมีต้องเก็บรักษาเป็นอย่างดี

2.2.4 องค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (1)

สูตรที่ระบุถึงชนิดและปริมาณขององค์ประกอบของสารเคลือบผิวนั้นเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและลักษณะของฟิล์มที่ออกมา สารเคลือบผิวที่ได้จากการบ่มด้วยรังสีก็เช่นกัน ซึ่งในสูตรสารเคลือบผิวชนิดนี้จะประกอบด้วย

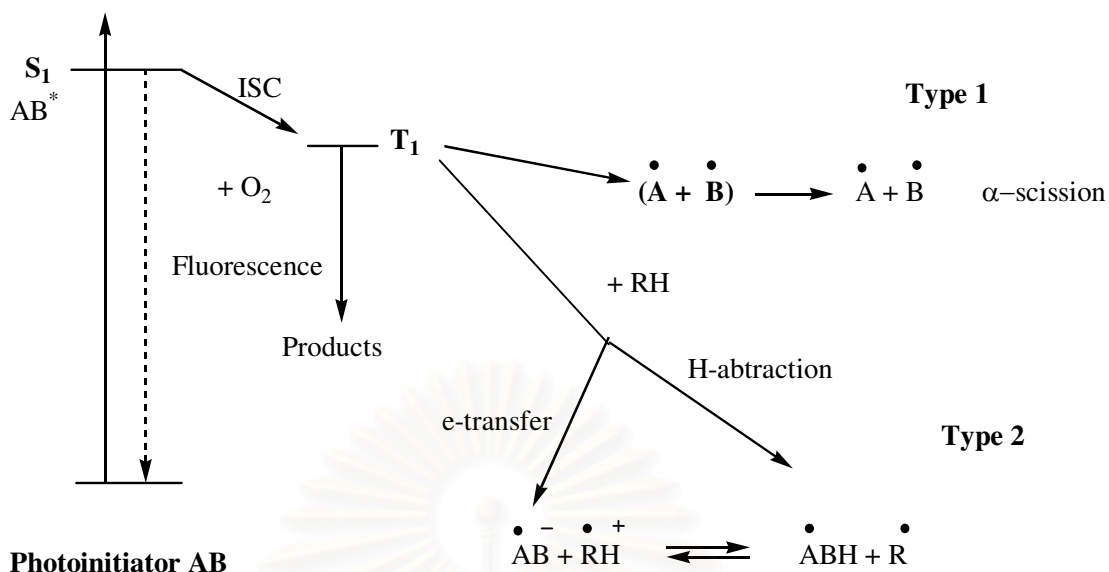
- 1) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator)
- 2) ตัวเจือจางที่ว่องไว (Reactive diluent)
- 3) สารเติมแต่ง (Additives)
- 4) โอลิโกเมอร์ (Oligomer)

2.2.4.1 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง

ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้อนุภาคว่องไวที่ใช้ริเริ่มปฏิกิริยา ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะถูกใส่ลงไปในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณ 1–20% เทียบเป็นสัดส่วนกับปริมาณรวมของสูตร การดูดกลืนคลื่นแสงของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงต้องอยู่ในช่วงความยาวคลื่นเดียวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต

โดยทั่วไปจะแบ่งตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- 1) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (Free radical photoinitiators) แตกตัวให้อนุมูลอิสระ มักใช้กับโอลิโกเมอร์ประเภท อะคริเลต เมทาคริเลต และเมทาคริเลต/ไวโนลอีเทอร์ เมื่อโมเลกุลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุมูลเสรี (AB) ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตโมเลกุลจะถูกกระตุ้นไปยัง singlet state (s_1) จากนั้นจะเกิด intersystem crossing (ISC) แล้วโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นนั้นจะตกมาอยู่ชั้น triplet state เพื่อให้มีเสถียรมากขึ้น ในระหว่างการเปลี่ยนขั้นนี้สามารถเกิดการปล่อยฟลูออเรสเซน (Fluorescence) หรือเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ทำให้สูญเสียอนุมูลเสรีได้ จากนั้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงที่ขึ้น triplet state นี้สามารถแตกตัวให้อนุมูลเสรีได้ 2 วิธี คือ - Norrish type I หรือ α - cleavage และ Norrish type II ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุมูลเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นกับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและชนิดของโอลิโกเมอร์ที่ใช้



รูปที่ 2.6 การแตกตัวให้อนุภาคเสรีของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

2) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวก (Cationic photoinitiators) ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดนี้จะรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วแตกตัวให้ Brønsted acid หรือ Lewis acid เพื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น (initiation) กับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นแล้วเกิดคาร์โบแคทไอออนที่มีความว่องไวก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่อไปได้ มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับสารริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดประจุบวกได้แก่ มอนอเมอร์ที่สามารถเปิดวงได้ เช่น อีพอกไซด์ ไซคลิกอีเทอร์ แลคโตน ไซคลิก-ซัลไฟด์ อะซิทาล ไซลอกเซน และ สารประกอบไวเนด เช่น ไวนิลอีเทอร์

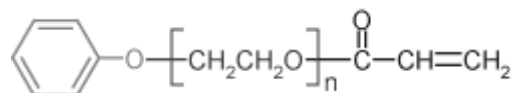
2.2.4.2 ตัวเจือจางที่ว่องไว (7)

ใช้สำหรับปรับความหนืดของสารเคลือบผิวให้มีค่าตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดพอลิเมอร์อีกด้วย แบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามจำนวนของหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่

1) ตัวเจือจางว่องไวที่มีหมู่ฟังก์ชันเดียว (Monofunctional diluent)

เป็นมอนอเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันว่องไวซึ่งมีโอกาสที่จะเข้าไปรวมกับสารเคลือบผิวกลายเป็นฟิล์มแข็งมากกว่าที่จะระเหยไปในบรรยากาศเหมือนตัวทำละลายเจือจางทั่วไป ตัวเจือจางว่องไวชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้เพราะว่ามีความสามารถ

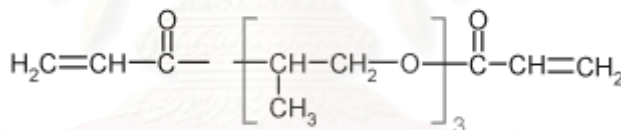
ในการเป็ยกที่ดี ยืดหยุ่น และมีการหดตัวต่ำ ให้ฟิล์มที่อ่อนนุ่มเพราะโครงสร้างของมันเป็นเส้นตรงและไม่ทำให้เกิดการเชื่อมขวาง ตัวอย่างเช่น Phenol ethoxylate monoacrylate สูตรโครงสร้างแสดงไว้ในรูป 2.7



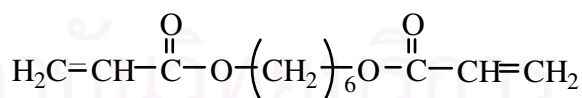
รูป 2.7 โครงสร้างเคมีของ Phenol ethoxylate monoacrylate

2) ตัวเจือจางว่องไวที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ (Difunctional diluent)

ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking Agents ช่วยทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลในสูตรสารเคลือบผิว มอนอเมอร์ชนิดนี้จะทำให้เกิดการแห้งตัวอย่างรวดเร็ว และมีอัตราการระเหยของตัวทำละลายต่ำ ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ให้ฟิล์มที่ยืดหยุ่น ตัวอย่างของตัวเจือจางว่องไวที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ได้แก่ Tripropylene glycol diacrylate และ 1,6-Hexanediol diacrylate แสดงโครงสร้างเคมีได้ดังรูป 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



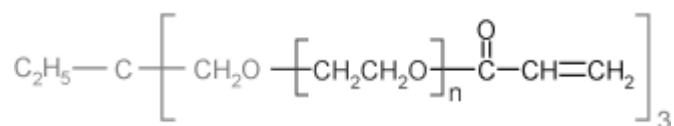
รูป 2.8 โครงสร้างเคมีของ Tripropylene glycol diacrylate



รูป 2.9 โครงสร้างเคมีของ 1,6-Hexanediol diacrylate

3) ตัวเจือจางว่องไวที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional diluent)

ทำหน้าที่เสมือน Crosslinking Agents เช่นเดียวกับตัวเจือจางว่องไวที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ เพราะมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยาได้หลายหมู่ทำให้สามารถแห้งตัวได้อย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดการเชื่อมขวางของพันธะอย่างหนาแน่น ได้ฟิล์มที่ยืดหยุ่นและทนต่อการกระแทกที่ผิว ตัวอย่างตัวเจือจางว่องไวชนิดนี้ ได้แก่ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate แสดงโครงสร้างเคมีดังรูป 2.10



รูป 2.10 โครงสร้างเคมีของ Trimethylolpropane ethoxylate triacrylate

2.2.4.3 สารเติมแต่ง (2)

สารเติมแต่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวในปริมาณเล็กน้อย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของสารเคลือบผิวให้เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน ตัวอย่างสารเติมแต่งที่นิยมใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่ปมด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีดังนี้

- 1) สารลดฟอง (Antifoaming Agent)
- 2) สารช่วยเปียก (Wetting Agent)
- 3) สารคงสภาพ (Stabilizers)
- 4) สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxygen Scavengers)
- 5) สารเพิ่มการยึดติด (Adhesion Promoters)
- 6) เม็ดสี (Pigments)
- 7) สารปรับความหนืด (Monomers Diluents)

2.2.4.4 โอลิโกเมอร์ (7)

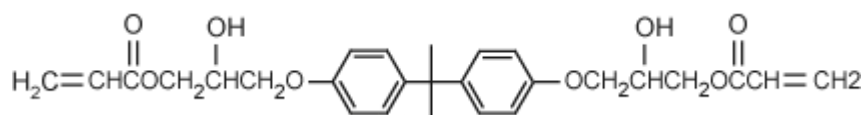
มักเป็นพวกโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional oligomer) ที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ สายโซ่หลักของโอลิโกเมอร์สามารถมีโครงสร้างเคมีที่หลากหลายอาจเป็น พอลิเอสเทอร์ ยูรีเทน หรือ อีพอกซี ซึ่งโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกันนี้เป็นตัวกำหนดสมบัติพิเศษเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความทนต่อการขีดสี ความทนต่อสารละลาย ความยืดหยุ่น เป็นต้น

โอลิโกเมอร์ที่นิยมใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่ปมได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้แก่

- 1) Epoxy Acrylate

เป็นโอลิโกเมอร์ที่สำคัญที่นิยมใช้กันมาในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งตัวด้วยรังสี โดยทั่วไปโอลิโกเมอร์ที่เป็นตัว Raw material จะไม่มีหมู่เอพอกซีอิสระอยู่ในโครงสร้าง แต่หมู่

ฟังก์ชันของอีพอกซีจะเกิดขึ้นที่พันธะไม่อิ่มตัวของโพลิโเมอร์ภายหลังการแห้งตัวกลายเป็นพอลิโเมอร์ ตัวอย่างของโพลิโเมอร์ชนิดนี้ได้แก่ bisphenol A epoxide with acrylic acid แสดงโครงสร้างได้ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างเคมีของ bisphenol A epoxide with acrylic acid

โพลิโเมอร์กลุ่มนี้แบ่งได้อีกหลายประเภทได้แก่ Aromatic difunctional epoxy acrylate , Acrylated oil epoxy acrylate , Novolac epoxy acrylate , Aliphatic epoxy acrylate เป็นต้น

Aromatic difunctional epoxy acrylate เป็นโพลิโเมอร์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ให้ฟิล์มที่มีความเงาสูงและทนต่อการกระแทกที่ผิว โพลิโเมอร์ชนิดนิยมไปใช้ในงานเคลือบผิวกระดาษ , บอร์ด , ไม้ , เฟอร์นิเจอร์ , พื้น , ซีดี และเส้นใยแก้วนำแสง แต่อย่างมีข้อจำกัดเรื่องความยืดหยุ่น ไม่ทนต่อแสงอาทิตย์เพราะจะทำให้สีจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ นอกจากนี้แล้วความเหนียวยังสูงอีกด้วย

Acrylated oil epoxy acrylate เป็นเรซินที่ความเหนียวต่ำ ราคาถูก และมีสมบัติการเปียกที่ดี นอกจากนี้ฟิล์มยังมีความยืดหยุ่นที่ดีอีกด้วย นิยมใช้ในการสูตรสารเคลือบผิวที่มีเม็ดสีช่วยในการลดต้นทุนการผลิต

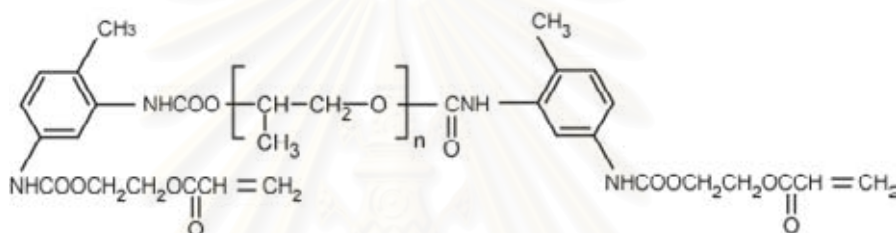
Epoxy novolac acrylate เป็นโพลิโเมอร์ชนิดพิเศษ ที่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะสมบัติความทนต่อความร้อนและความต้านทานต่อสารเคมีที่ดีของมัน อย่างไรก็ตามเป็นโพลิโเมอร์ที่มีความเหนียวสูง แม้จะให้ฟิล์มที่แข็งแรง แต่มีราคาแพง

Aliphatic epoxy acrylate มีหลากหลายชนิด มีทั้งแบบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ 3 หมู่ หรือมากกว่านั้น ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันเพียง 2 หมู่ จะให้ฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นที่ดี ว่องไว สมบัติยึดติดดี และความเหนียวของสารเคลือบต่ำ ส่วนชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันเท่ากับ 3 หรือมากกว่านั้นจะมีความเหนียวในระดับกลางๆ ความยืดหยุ่นไม่ค่อยดี แต่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา Aliphatic epoxy acrylate มีราคาสูงกว่า Aromatic epoxy acrylate จึงนิยมใช้ในงานชนิดพิเศษ

Epoxy acrylates นอกเหนือจากกลุ่มข้างต้นจะเป็นโพลิโอมเมอร์ที่ถูกปรับปรุงโครงสร้างด้วยกรดไขมันซึ่งจะทำให้ได้สมบัติในการเป็ยกที่ดีและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหมึกพิมพ์และการเคลือบผิวที่มีเม็ดสี

2) Urethane Acrylate

ฟิล์มพอลิเมอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polyisocyanate กับ Hydroxyl Acrylate โพลิโอมเมอร์ชนิดนี้มีราคาสูงที่สุดในบรรดาอะคริเลตโพลิโอมเมอร์ มีด้วยกันหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีสมบัติแตกต่างกันไป ตัวอย่างของ Urethane Acrylate แสดงตามรูปที่ 2.12



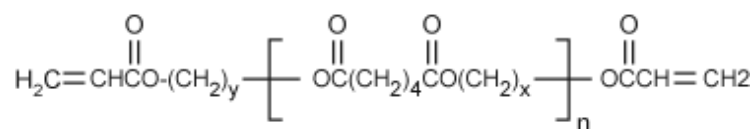
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของ Urethane Acrylate Oligomer

3) Polyester Acrylate

ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานหลายๆ อย่าง ข้อดีคือ ความเหนียวต่ำ ทำให้ในสูตรสารเคลือบผิวใช้ตัวเจือจางที่ว่องไวในปริมาณที่ต่ำ สมบัติของ Polyester Acrylate อยู่ระหว่างสมบัติของ Urethane Acrylate กับ Epoxy Acrylate ซึ่งขึ้นอยู่กับ หมู่ฟังก์ชัน , โครงสร้างเคมีของโซ่หลัก และ น้ำหนักโมเลกุล

หมู่ฟังก์ชันยังมีมากจะทำให้ความเหนียวลดลง ความอ่อนตัวของฟิล์มต่ำ แต่ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาจะดีขึ้น ส่วนโครงสร้างเคมีของโซ่หลักนั้นส่งผลกระทบต่อสมบัติด้านความว่องไวในการทำปฏิกิริยา , ความคงสภาพของสี , ความแข็ง เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันถ้า น้ำหนักโมเลกุลของ Polyester Acrylate เพิ่มขึ้นจะทำให้ สมบัติความยืดหยุ่น และ ความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาลดลง ตัวอย่างของโพลิโอมเมอร์ชนิดนี้แสดงตามรูปที่

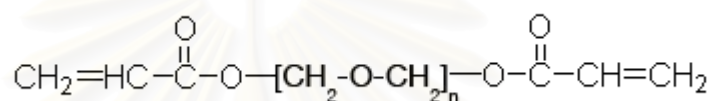
2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของ Polyester Acrylate

4) Polyether Acrylate

เป็นอะคริเลตโพลิเอเธอร์ที่มีความหนืดต่ำที่สุด ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเจือจางที่ว่องไวและตัวช่วยปรับความหนืดในสูตรสารเคลือบ Polyether Acrylate สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Polyetherol ด้วย Acrylic Acid ตัวอย่างโพลิเอเธอร์แสดงได้ตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโครงสร้างเคมีของ Polyether Acrylate

สมบัติโดยทั่วไปของฟิล์มที่ได้จากโพลิเอเธอร์ชนิดนี้ มีความยืดหยุ่นสูงแต่ความทนน้ำและสารเคมีต่ำ จึงนิยมใช้โพลิเอเธอร์ชนิดนี้ร่วมกับโพลิเอเธอร์และอะคริเลตชนิดอื่นๆ Polyether Acrylate สามารถปรับปรุงให้ว่องไวได้โดยการเติมหมู่อะมีนเข้าไปในโครงสร้างเคมี นอกจากนี้จะว่องไวขึ้นแล้วหมู่อะมีนยังทำให้สมบัติความต้านทานน้ำและสารเคมีของ Polyether Acrylate เพิ่มขึ้นด้วย

5) Acrylic Acrylate

มีหลากหลายชนิดขึ้นตามโครงสร้างเคมีที่ปรับเปลี่ยนไป คล้ายๆ กับในกรณีของ Urethane Acrylate แต่ละชนิดก็มีสมบัติแตกต่างกันสามารถเลือกมาใช้ทำสูตรได้ตามความต้องการ จุดเด่นของโพลิเอเธอร์ชนิดนี้คือ มีความสามารถในการยึดติดที่ดี เหมาะกับการนำไปใช้เคลือบพื้นผิวที่เคลือบยากมีพลังงานพื้นผิวต่ำ ตัวอย่างเช่น พลาสติกชนิดต่างๆ

6. โพลิเอเธอร์ชนิดอื่นๆ

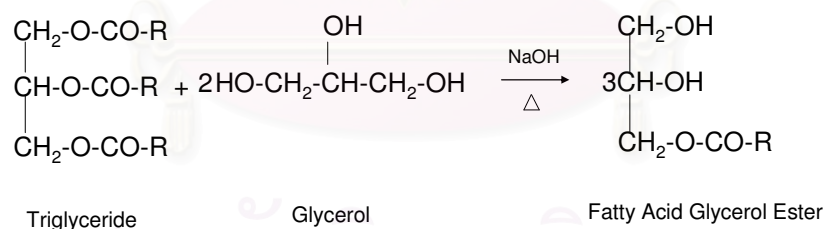
Melamine Acrylate และ Silicone Acrylate ถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดพิเศษที่ต้องการคุณสมบัติของฟิล์มที่โดดเด่น

Epoxy ether และ Glycidyl ether เป็นเรซินที่สำคัญที่ใช้ในกลไกที่อาศัยการแตกตัวของประจุบวก ให้ฟิล์มที่หดตัวต่ำและยึดติดดี ข้อเสียที่สำคัญคือความว่องไวต่ำ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการเติม Vinyl ether

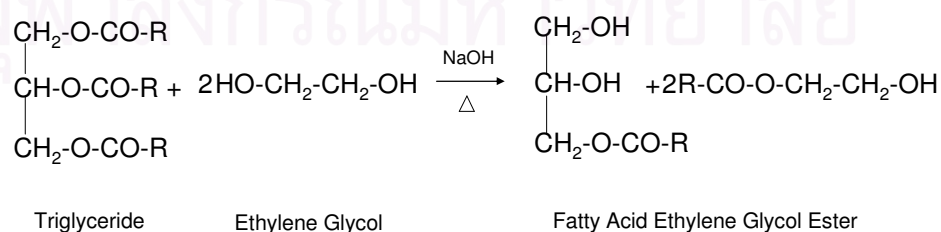
2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมัน (9)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ คือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอริน (Glycerin) เมื่อไตรกลีเซอไรด์นี้รวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นด่าง (Base catalyst) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ จะทำให้เกิดการรวมพันธะเอสเทอร์เชื่อมระหว่างโมเลกุลของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ เกิดเป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alcohol Ester) ซึ่งอาจจะเป็นมอนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride) หรือ ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของแอลกอฮอล์และชนิดของพอลิแอลกอฮอล์ที่ใช้ ในกรณีที่ปริมาณแอลกอฮอล์หรือหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีมากเกินไป (Excess alcohol) จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ เกิดเป็น กลีเซอรอล (glycerol) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน

พิจารณารูปที่ 2.15 กับ 2.16 แสดงตัวอย่างการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับกลีเซอรอลและเอทิลีนไกลคอลตามลำดับ



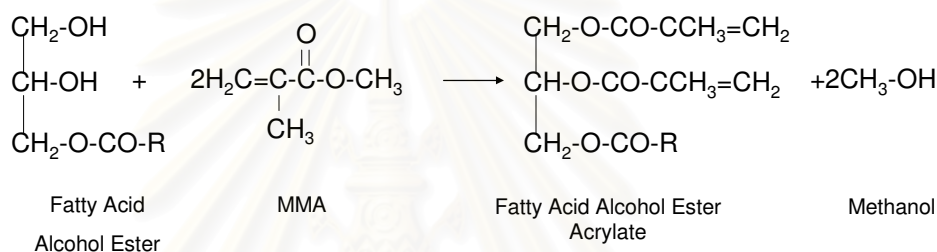
รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับกลีเซอรอล



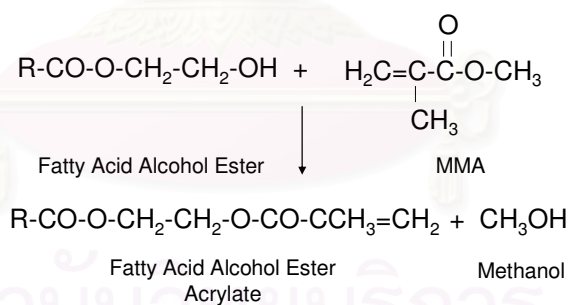
รูปที่ 2.16 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับเอทิลีนไกลคอล

2.4 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโพลิโกเมอร์

สารประกอบเอสเทอร์สามารถใช้กรรมวิธีทางเคมีดัดแปลงให้กลายเป็นโพลิโกเมอร์ที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยการนำไปทำปฏิกิริยากับอะคริเลต เพื่อทำให้เกิดพันธะคู่ในโครงสร้างของโพลิโกเมอร์ ตัวอย่างของการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโพลิโกเมอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18 ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์-เอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์อะคริเลตของกรดไขมัน (Fatty Acid Alcohol Ester Acrylate) มีผลพลอยได้จากปฏิกิริยาคือเมทานอล



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโพลิโกเมอร์



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโพลิโกเมอร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตโพลิโกเมอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยอ้างอิงจากปฏิกิริยาเคมีดังที่กล่าวไว้ในข้อ 2.3 และ 2.4 เพื่อให้ได้โพลิโกเมอร์ที่สามารถนำไปทำเป็นสูตรสารเคลือบผิวที่สามารถบ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อไป

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายชิ้นที่เกี่ยวข้องกับการดัดแปรน้ำมันพืชเพื่อมาใช้ประโยชน์ในงานด้านการเคลือบผิว ยกตัวอย่างเช่น

Dutta และคณะ (10) ได้สังเคราะห์เรซินจากน้ำมันเมล็ด Nahar Mesua ferrea ซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศอินเดีย โดยเริ่มต้นจากการนำน้ำมันเมล็ด Nahar ทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสได้เป็นมอนอกลีเซอไรด์ซึ่งไปทำปฏิกิริยาต่อกับ acid anhydride (phthalic และ/หรือ maleic anhydride) ได้ออกมาเป็นพอลิเอสเทอร์เรซินที่ให้ฟิล์มที่ทนต่อกรด ต่าง และน้ำอย่างดียเยี่ยม สามารถนำไปใช้ได้ ในอุตสาหกรรมการเคลือบผิวโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ภาณุพันธ์ ผาพันธุ์ (11) ได้ดัดแปรน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันทั้ง และนำมาทำปฏิกิริยาต่อกับกลีเซอรอลและอะคริลิกเรซินได้ออกมาเป็นอะคริลิก-อัลคิดเรซิน สามารถนำไปใช้ได้ ในสารเคลือบผิวสูตรน้ำ ซึ่งให้ฟิล์มที่มีสมบัติเทียบเท่ากับอัลคิดเรซินทางการค้า และยังมีสมบัติความทนน้ำและทนกรดที่ดียเยี่ยม

Bhabhe และ Athawale (12) ได้ดัดแปรน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันลินซีดผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แล้วนำมาทำปฏิกิริยาต่อกับบิวทานอลและอนุพันธ์ของกรดอะคริลิกโดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ออกมาเป็น อะคริลิคมอนอเมอร์ที่สามารถนำไปใช้เป็น reactive diluent ในสารเคลือบประเภท high solid ซึ่งมอนอเมอร์ที่ได้นอกจากจะเข้ากันได้ดีกับอัลคิดเรซินที่เป็นสารยึดแล้ว ยังเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ช่วยลดปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic content: VOC) ในสารเคลือบผิวให้น้อยลง

Wan Rosli และคณะ (13) ได้ทำสูตรสารเคลือบผิวที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีตัวริเริ่มปฏิกิริยาชนิดประจุบวก โดยใช้ epoxidized palm oil (EPO) เป็นมอนอเมอร์ ให้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี เนื่องจากการเกิดโครงสร้างร่างแหของวงอีพอกซีในโมเลกุล

Shelby Thames และคณะ (14) ใช้วิธีที่แตกต่างกันในการดัดแปรน้ำมันจากเมล็ด Lesquerella Lesquerella fendler ได้ออกมาเป็น methacrylate lesquerella oil และ hydroxyethyl methacrylated lesquerella oil เมื่อนำมาทำเป็นสารเคลือบที่บ่มได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ฟิล์มที่ออกมามีสมบัติในการยึดเกาะกับโลหะค่อนข้างดี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม จากบริษัทสุขสมบูรณ์
- 3.1.2 เอทิลีนไกลคอล
- 3.1.3 กลีเซอรอล
- 3.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.1.5 เอทานอล
- 3.1.6 เมทิลเมทาคริเลต
- 3.1.7 โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ
- 3.1.8 ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงชนิดอนุภาคเสรี (Darocur 1173), Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Limited
- 3.1.9 ตัวเชื่อมขวางวงไว 1,6-Hexanediol diacrylate (HDDA), Cognis Thai Ltd.
- 3.1.10 โอลิโกเมอร์ทางการค้า (PHOTOMER® 3005)), Cognis Thai Ltd.

3.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2.2 ท่อนำแก๊สไนโตรเจน
- 3.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (0-300°C)
- 3.2.4 เครื่องควบแน่นแบบไหลกลับ
- 3.2.5 กรวยแยก

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 แท่งแม่เหล็ก
- 3.3.2 heating mantle
- 3.3.3 กระดาษลิตมัส

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.4.1 พูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Nicolet Impact 400 D
- 3.4.2 เครื่องปั๊มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต
UV TEC บริษัทคอมพรีนซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 3.4.3 เครื่องวัดพลังงานรังสีอัลตราไวโอเลต
UV-integrator บริษัทคอมพรีนซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด
- 3.4.4 เครื่อง Mechanical Scratch
- 3.4.5 เครื่อง Impact Tester
- 3.4.6 เครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus

3.5 ขอบเขตการทดลอง

ขอบเขตการทดลองแบ่งเป็น 5 ส่วน

- การสังเคราะห์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน
- การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
- การสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อใช้เป็นโพลิเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต
- การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสียูวีของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
- การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิว

3.6 การสังเคราะห์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน

- 3.6.1 นำน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 25 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ ท่อนำก๊าซไนโตรเจน และเครื่องควบแน่น
- 3.6.2 ใส่เอทิลีนไกลคอลปริมาณ 4.5 กรัมและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.025 กรัมลงในขวดก้นกลม จากนั้นให้ความร้อนกับของผสมที่อุณหภูมิ 240°C โดยใช้ heating

mantle กวนของผสมตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน

- 3.6.3 ทุกๆ 1 ชั่วโมงนำของผสม 1 ส่วนมาทดสอบการละลายในเอทานอล 3 ส่วน จนกระทั่งเกิดการละลายที่สมบูรณ์ จึงลดความร้อนลงภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน พร้อมทั้งกวนของผสมตลอดเวลา จนถึงอุณหภูมิห้อง
- 3.6.4 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งก็คือ อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethylene Glycol Ester) มาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูป 3.1)
- 3.6.5 เตรียมอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Glycerol Ester) ได้ด้วยวิธีการเดียวกันแต่เปลี่ยนจากสารตั้งต้นจากเอทิลีนไกลคอล 4.5 กรัม เป็นกลีเซอรอล 6.5 กรัม



รูปที่ 3.1 เครื่องฟูรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.7 การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

- 3.7.1 นำเมทิลเมทาคริเลต 200 มิลลิลิตร ไปล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% โดยน้ำหนัก 2-3 ครั้ง เพื่อกำจัดสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้กรวยแยก จากนั้นล้างต่อด้วยน้ำกลั่นจนกว่าจะหมดไป (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส) ใส่โซเดียมซัลเฟตที่ปราศจากน้ำ ในอัตราส่วน 100 กรัม/ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองโซเดียมซัลเฟตออก ได้เมทิลเมทาคริเลตที่บริสุทธิ์นำไปใช้ในการทดลอง

- 3.7.2 นำขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตรที่บรรจุอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากขั้นตอนที่ 3.6 มาทำการทดลองต่อ โดยประกอบเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ ท่อน้ำก๊าซไนโตรเจน และเครื่องควบแน่น
- 3.7.3 ใส่เมทิลเมทาคริเลตที่ล้างแล้วปริมาณ 63 กรัม ลงในขวดก้นกลม กวนของผสมตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก ทำการทดลองภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ไม่มีการใช้ตัวเร่งในปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 °C และ 80 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ
- 3.7.4 หลังเสร็จสิ้นปฏิกิริยาตั้งตัวอย่าง 1 ส่วนมาทดสอบการละลายกับเอทานอล 3 ส่วน สังเกตลักษณะทางกายภาพของสารที่สังเคราะห์ได้ บันทึกผล
- 3.7.5 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.7.2 แต่ใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.025 กรัมเป็นตัวเร่ง ภาวะที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ทำการทดลองจนครบ 12 ภาวะการทดลอง แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ภาวะที่	ภาวะที่มี/ไม่มี NaOH เป็นตัวเร่ง	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
1	มีตัวเร่ง	80	1
2	มีตัวเร่ง	80	2
3	มีตัวเร่ง	80	3
4	มีตัวเร่ง	60	1
5	มีตัวเร่ง	60	2
6	มีตัวเร่ง	60	3
7	ไม่มีตัวเร่ง	80	1
8	ไม่มีตัวเร่ง	80	2
9	ไม่มีตัวเร่ง	80	3
10	ไม่มีตัวเร่ง	60	1
11	ไม่มีตัวเร่ง	60	2
12	ไม่มีตัวเร่ง	60	3

3.8 การสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเพื่อใช้เป็น โอลิโกเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

- 3.8.1 นำขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตรที่บรรจุอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากขั้นตอนที่ 3.6 มาทำการทดลองต่อ โดยประกอบเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ ท่อนำก๊าซไนโตรเจน และเครื่องควบแน่น
- 3.8.2 ใส่เมทิลเมทาคริเลตที่ล้างด้วยขั้วขั้วปฏิบัติการออกแล้วจำนวน 14 กรัมลงในขวดก้นกลมอย่างช้าๆ ผ่านกรวยแยก (อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันต่อเมทิลเมทาคริเลตเป็น 1:1) จากนั้นให้ความร้อนกับของผสมจนอุณหภูมิถึง 60°C ด้วย heating mantle กวนของผสมตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ภาวะการทดลองที่เหมาะสมอ้างอิงมาจากหัวข้อ 3.7) ควบกำหนดจึงยกขวดก้นกลมออกจาก heating mantle ปล่อยให้อุณหภูมิของผสมลดลงจนถึงอุณหภูมิต่ำ
- 3.8.3 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งก็คืออนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethylene Glycol Acrylate) มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy
- 3.8.4 ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.8.1 – 3.8.3 แต่เพิ่มปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้เป็น 3 เท่า และ 6 เท่าตามลำดับ ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 สูดทำยได้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตแตกต่างกัน
- 3.8.5 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.8.1 – 3.8.3 แต่เปลี่ยนมาใช้อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.6 เป็นสารตั้งต้นแทน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Glycerol Acrylate) ทำการสังเคราะห์ให้ได้ 3 ตัวอย่าง ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตแตกต่างกัน ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.2 รหัสตัวอย่าง , ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

รหัสตัวอย่าง	น้ำหนักของเมทิลเมทาคริเลต (กรัม)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ : เมทิลเมทาคริเลต
FAEGA _{1:1}	14	1 : 1
FAEGA _{1:3}	42	1 : 3
FAEGA _{1:6}	84	1 : 6

ตารางที่ 3.3 รหัสตัวอย่าง , ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

รหัสตัวอย่าง	น้ำหนักของเมทิลเมทาคริเลต (กรัม)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ : เมทิลเมทาคริเลต
FAGA _{1:1}	21	1 : 1
FAGA _{1:3}	63	1 : 3
FAGA _{1:6}	126	1 : 6

3.9 การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสียูวีของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

- 3.9.1 เตรียมสารเคลือบผิวที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์ ตามสูตรในตารางที่ 3.4
- 3.9.2 ปาดสารเคลือบบนแผ่นโลหะให้ได้ความหนาเท่าๆ กันที่ 30 ไมครอน นำไปผ่านเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (รูป 3.2)
- 3.9.3 บันทึกค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ทำให้สารเคลือบแห้งตัวในการผ่านเครื่องบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตครั้งเดียว โดยค่าพลังงานวัดได้จากจากเครื่องวัดพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ต UV-integrator

ตารางที่ 3.4 สูตรสารเคลือบผิวที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันเป็น โอลิโกเมอร์

สูตร	ชนิดของ โอลิโกเมอร์	ปริมาณ โอลิโกเมอร์ (g)	ปริมาณ โอลิโกเมอร์ ทางการค้า (g)	ปริมาณ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา ทางแสง (g)	ปริมาณ ตัวเจือจาง ว่องไว (g)
E	FAEGA _{1:3}	9.50	-	0.50	-
F	FAEGA _{1:3}	5.50	-	0.50	4.00
G	FAEGA _{1:3}	5.50	2.00	0.50	2.00
H	FAEGA _{1:3}	2.00	5.50	0.50	2.00
I	FAEGA _{1:6}	9.50	-	0.50	-
J	FAEGA _{1:6}	5.50	-	0.50	4.00
K	FAEGA _{1:6}	5.50	2.00	0.50	2.00
L	FAEGA _{1:6}	2.00	5.50	0.50	2.00
M	-	-	5.50	0.50	4.00
N	-	-	9.50	0.50	-
S	FAGA _{1:3}	9.50	-	0.50	-
T	FAGA _{1:3}	5.50	-	0.50	4.00
U	FAGA _{1:3}	5.50	2.00	0.50	2.00
V	FAGA _{1:3}	2.00	5.50	0.50	2.00
W	FAGA _{1:6}	9.50	-	0.50	-
X	FAGA _{1:6}	5.50	-	0.50	4.00
Y	FAGA _{1:6}	5.50	2.00	0.50	2.00
Z	FAGA _{1:6}	2.00	5.50	0.50	2.00



รูปที่ 3.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตรุ่น UV tech

3.10 การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิว

3.10.1 การเตรียมสารเคลือบผิว

นำสารเคลือบผิวมาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบที่เป็นโลหะตามที่มาตรฐานกำหนดด้วยแอปพลิเคเตอร์ ปาดฟิล์มให้ได้ความหนา 30 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปผ่านเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจนได้ฟิล์มแห้งแล้วนำมาทดสอบสมบัติ อันได้แก่ ความอ่อนตัว ความติดแน่น ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง

3.10.2 ความอ่อนตัว (Flexibility) (15)

ทำได้โดยการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าว หรือการหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบเมื่อนำไปดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (bending test) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 – 37 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร เครื่องทดสอบคือ Conical Mandrel Test Apparatus ดังรูป 3.3 การรายงานผลการทดสอบจะระบุเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้ผิวฟิล์มร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่มีพบข้อบกพร่องเมื่อใช้แกนทรงกระบอกอันเล็กที่สุด ให้ระบุขนาดแกนทรงกระบอกดังกล่าวตามมาตรฐาน ASTM D 522-41

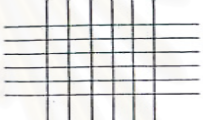
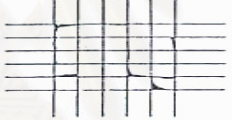



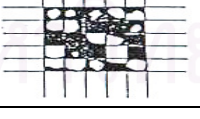


รูปที่ 3.3 Conical Mandrel Test Apparatus

3.10.3 ความติดแน่น (Adhesion) (16)

ความติดแน่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเป็นตัวบอกระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ ทดสอบโดยวิธีการ Cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-95 Method B ในการทดสอบใช้เครื่อง Cross Hatch Cutter กรีดเป็นตารางบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้นใช้เทปติดที่บริเวณรอยขีดให้สนิทแล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจดูข้อบกพร่องของฟิล์มแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน แล้วรายงานผลเป็นเกรด ซึ่งแบ่งเกรดไว้ตั้งแต่ 5B – 0B ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อบกพร่องของฟิล์มสารเคลือบผิวที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธี cross cut

การยึดติด	การหลุดของฟิล์มสารเคลือบผิว	ภาพแสดงการหลุดของฟิล์ม
5B	0%	
4B	น้อยกว่า 5%	
3B	5-15%	
2B	15-35%	
1B	35-65%	
0B	มากกว่า 65%	

3.10.4 ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) (17)

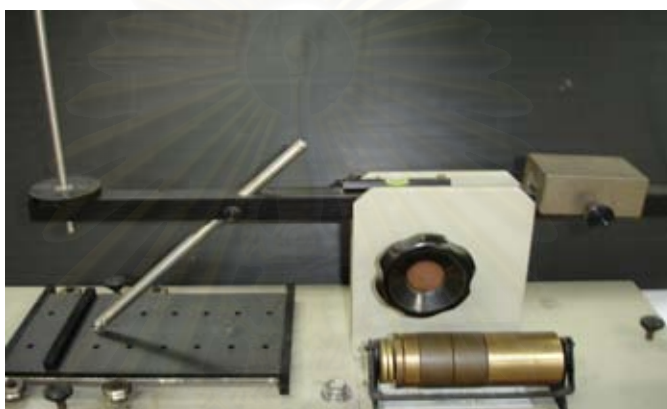
เป็นการวัดความคงทนของฟิล์มสารเคลือบเมื่อมีแรงกระแทก พิจารณารูป 3.4 แสดงเครื่อง Impact Strength Tester ที่ประกอบด้วยลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) และสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ในระยะทาง 40 นิ้ว ทำการทดสอบโดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่แห้งตัวแล้วไว้ที่ฐานของเครื่องมือ จากนั้นตั้งระยะทางที่ปล่อยให้ลูกตุ้มลงมากระทบกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จากนั้นทำการตรวจสอบแผ่นทดสอบว่าแตกร้าวหรือไม่ รายงานผลเป็นค่าผลคูณระหว่างน้ำหนักลูกตุ้ม (หน่วยเป็นปอนด์) กับ ระยะทางที่น้อยที่สุดที่ทำให้ฟิล์มแตกร้าว (หน่วยเป็นนิ้ว) เป็นการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 5628-06



รูปที่ 3.4 Impact Strength Tester

3.10.5 ความแข็ง (Hardness) (18)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มสารเคลือบที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกด หรือขีดด้วยของแข็ง การหาความแข็งของฟิล์มสารเคลือบที่ใช้โดยทั่วไปคือ การทดสอบการขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแ่งทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็มทดสอบด้วยเครื่อง Mechanical Scratch Test Apparatus ดังรูปที่ 3.5 รายงานค่าความแข็งเป็นน้ำหนักที่น้อยที่สุด (กรัม) ที่ทำให้เข็มแ่งทะลุผิวเคลือบ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 285 เล่ม 32-2527



รูปที่ 3.5 Mechanical Scratch Test Apparatus

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การสังเคราะห์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน

อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันสังเคราะห์ได้จากการนำน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์มาทำปฏิกิริยากับพอลิแอลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไกลคอลจะให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethylene Glycol Ester) ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลจะให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Glycerol Ester)

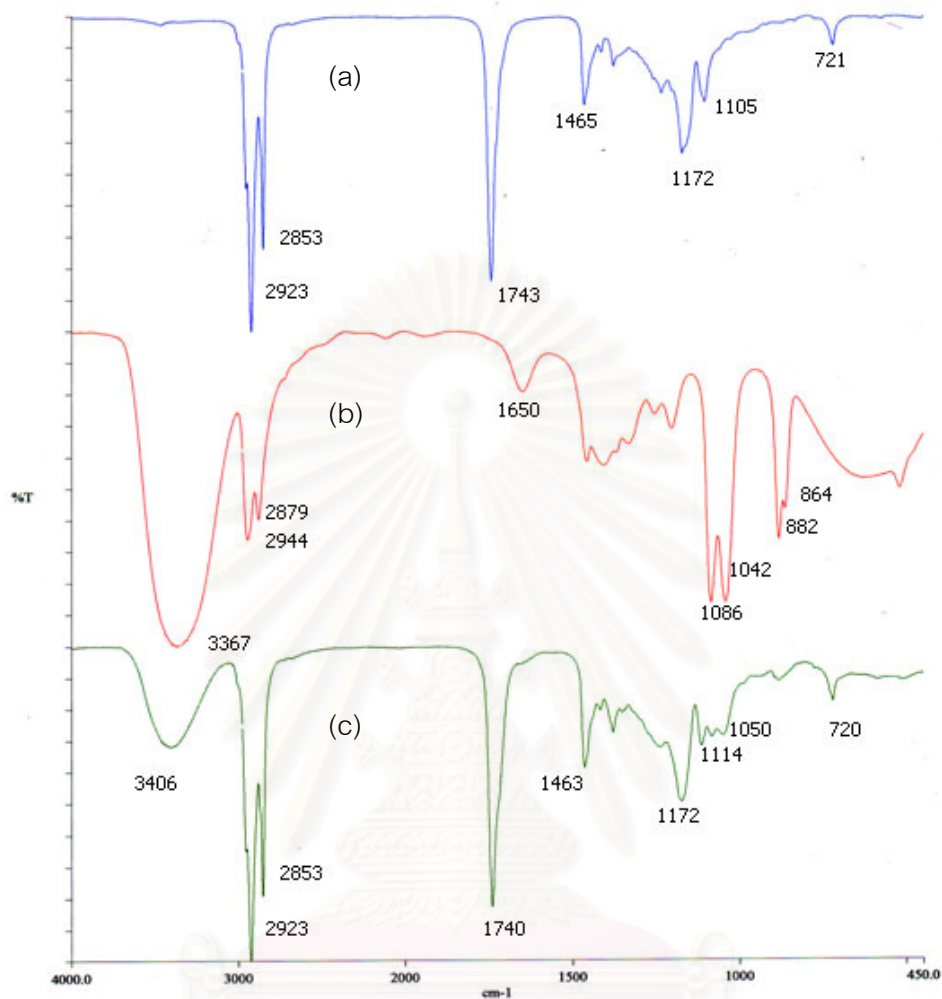
4.1.1 การวิเคราะห์อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ในการติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสของน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเอทิลีนไกลคอลโดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่ง สามารถทำได้โดยการตั้งสารผลิตภัณฑ์ออกมาเพื่อทำการทดสอบการละลายในเอทานอล (สารตัวอย่าง 1 ส่วน ในเอทานอล 3 ส่วน) พบว่าผลิตภัณฑ์สามารถละลายได้เป็นอย่างดีเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป 2 ชั่วโมง แสดงว่าสารตั้งต้นได้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขั้ว จึงสามารถละลายได้ในเอทานอลที่เป็นสารประกอบมีขั้วเหมือนกัน

เทคนิค FT-IR Spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของสาร ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา โดยที่พบพีกที่สำคัญๆ ดังนี้ (19)

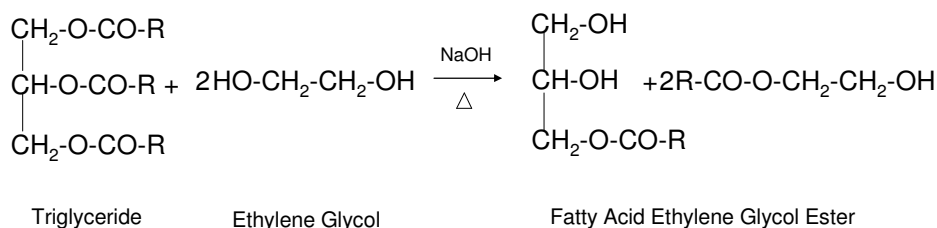
1. พบพีก -OH Stretching ที่ตำแหน่ง 3406 cm^{-1}
2. พบพีก C-H stretching ที่ตำแหน่ง 2923 และ 2853 cm^{-1}
3. พบพีก C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 1740 cm^{-1}
4. พบพีก CH_2 , CH_3 ที่ตำแหน่ง 1463 cm^{-1}
5. พบพีก -C-O-C ที่ตำแหน่ง 1172 cm^{-1}

เปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมระหว่าง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม เอทิลีนไกลคอล และ สารผลิตภัณฑ์ ได้ดังรูปที่ 4.1



รูป 4.1 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (a) น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (b) เอทิลีนไกลคอล (c) ผลิตภัณฑ์ : อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

FT-IR สเปกตรัมแสดงให้เห็นว่าหลังสิ้นสุดปฏิกิริยา สารตั้งต้นซึ่งได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และ เอทิลีนไกลคอล ได้เข้าทำปฏิกิริยากันเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามที่ต้องการ แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังรูป 4.2



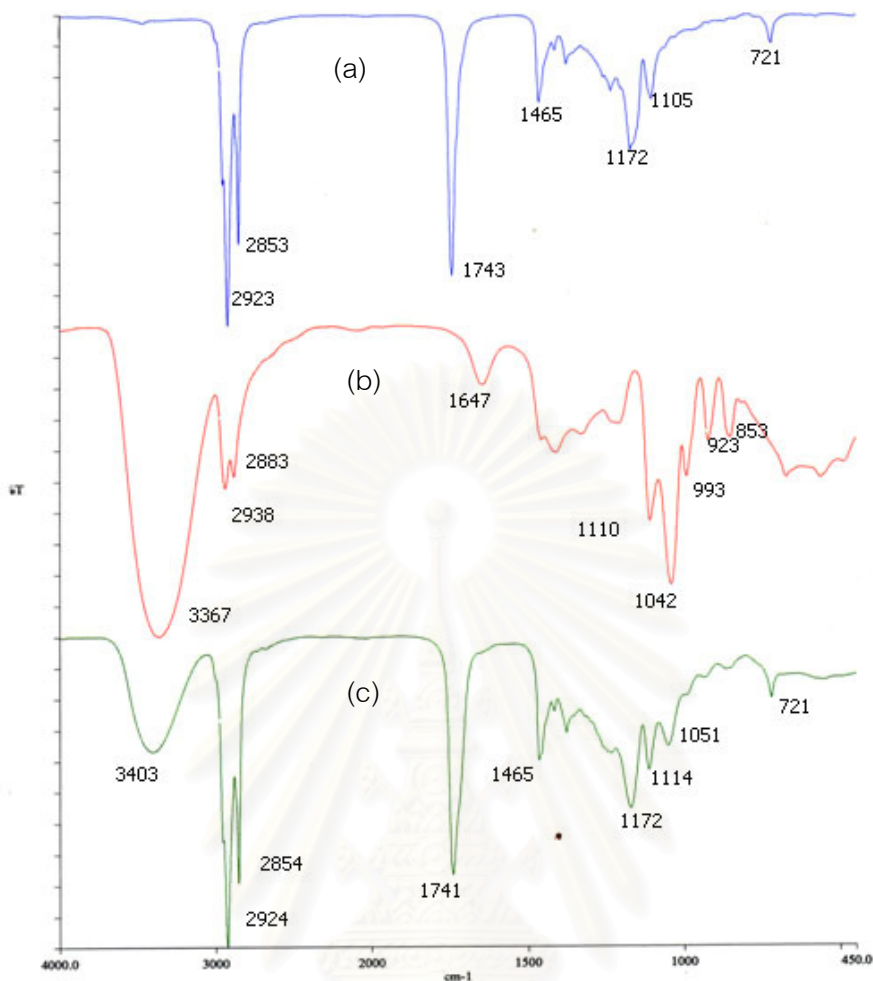
รูปที่ 4.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันกับเอทิลีนไกลคอล

4.1.2 การวิเคราะห์อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสเช่นเดียวกับการสังเคราะห์อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพียงแต่เปลี่ยนจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเอทิลีนไกลคอลมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลแทน ระหว่างการทำปฏิกิริยาได้มีการดึงผลิตภัณฑ์ออกมาเพื่อทดสอบการละลายในเอทานอล พบว่าผลิตภัณฑ์สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง และเมื่อนำมาวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงพีคที่สำคัญๆ ดังต่อไปนี้ (19)

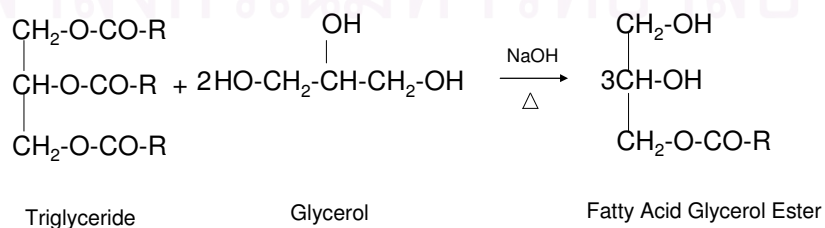
1. พบพีค -OH Stretching ที่ตำแหน่ง 3403 cm^{-1}
2. พบพีค C-H stretching ที่ตำแหน่ง 2924 และ 2854 cm^{-1}
3. พบพีค C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 1741 cm^{-1}
4. พบพีค CH_2 , CH_3 ที่ตำแหน่ง 1465 cm^{-1}
5. พบพีค -C-O-C ที่ตำแหน่ง 1172 cm^{-1}

เปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมระหว่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ดังรูป 4.3



รูป 4.3 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (a) น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (b) กลีเซอรอล (c) ผลิตภัณฑ์ : อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

FT-IR สเปกตรัมแสดงให้เห็นว่าหลังสิ้นสุดปฏิกิริยา สารตั้งต้นซึ่งได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และ กลีเซอรอล เข้าทำปฏิกิริยาดังรูป 4.4 เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันมาไปใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริลิตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันต่อไป



รูปที่ 4.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันกับกลีเซอรอล

4.2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

4.2.1 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ในการหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน ทำได้โดยการนำอนุพันธ์ลิเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตที่ล้างด้วยขี้ผึ้งปฏิกิริยาแล้ว ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนักสมมูล ที่ภาวะการทดลองต่างๆ กัน โดยปรับเปลี่ยนทั้ง อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ติดตามผลการทดลองได้โดยอาศัยการทดสอบการละลายในเอทานอลและสังเกตลักษณะของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองที่ภาวะแตกต่างกัน 12 ภาวะ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ภาวะที่	ตัวเร่ง NaOH	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ลักษณะของสารสังเคราะห์ที่สังเกตได้	การทดสอบการละลายด้วยเอทานอล
1	มีตัวเร่ง	80	1	ของผสมแยกออกเป็น 2 ส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ด้านบนเป็นของเหลวสีเหลืองใส ด้านล่างจับตัวเป็นก้อนสีขาวขุ่น	ส่วนที่เป็นของเหลวละลายได้ดีในเอทานอล แต่ส่วนที่เป็นของแข็งไม่ละลาย
2	มีตัวเร่ง	80	2	ความหนืดสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของผสมจับตัวเป็นก้อนแข็ง	ของแข็งไม่ละลายในเอทานอล
3	มีตัวเร่ง	80	3	ความหนืดสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของผสมจับตัวเป็นก้อนแข็ง	ของแข็งไม่ละลายในเอทานอล
4	มีตัวเร่ง	60	1	ได้ตัวอย่างเป็นของเหลวสีเหลืองใส	ของเหลวไม่ละลายในเอทานอล
5	มีตัวเร่ง	60	2	ได้ตัวอย่างเป็นของเหลวสีเหลืองใส	ของเหลวไม่ละลายในเอทานอล
6	มีตัวเร่ง	60	3	เกิดตะกอนผงสีขาวมากมายปนอยู่ในของเหลวสีเหลืองใส	ส่วนที่เป็นของเหลวละลายได้ในเอทานอล ส่วนที่เป็นผงไม่ละลาย
7	ไม่มีตัวเร่ง	80	1	ของผสมจะแยกออกเป็น 2 ส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ด้านบนเป็นของเหลวสีเหลืองใส ด้านล่างจับตัวเป็นก้อนสีขาวขุ่น	ส่วนที่เป็นของเหลวละลายได้ดีในเอทานอล แต่ส่วนที่เป็นของแข็งไม่ละลาย
8	ไม่มีตัวเร่ง	80	2	ความหนืดสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของผสมจับตัวเป็นก้อนแข็ง	ของแข็งไม่ละลายในเอทานอล
9	ไม่มีตัวเร่ง	80	3	ความหนืดสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของผสมจับตัวเป็นก้อนแข็ง	ของแข็งไม่ละลายในเอทานอล
10	ไม่มีตัวเร่ง	60	1	ได้ตัวอย่างเป็นของเหลวสีเหลืองใส	ของเหลวไม่ละลายในเอทานอล
11	ไม่มีตัวเร่ง	60	2	ได้ตัวอย่างเป็นของเหลวสีเหลืองใส	ของเหลวไม่ละลายในเอทานอล
12	ไม่มีตัวเร่ง	60	3	เกิดตะกอนผงสีขาวมากมายปนอยู่ในของเหลวสีเหลืองใส	ส่วนที่เป็นของเหลวละลายได้ในเอทานอล ส่วนที่เป็นผงไม่ละลาย

พิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ภาวะการทดลองที่ 4, 5, 10 และ 11 ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกมาแต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีส่วนที่เป็นของแข็งทำให้สามารถนำไปทำสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้อย่างสะดวก

นอกจากนี้ของเหลวที่สังเคราะห์จากภาวะดังกล่าวเมื่อนำมาทดสอบการละลายด้วยเอทานอลแล้ว พบว่าของเหลวนั้นไม่ละลายในเอทานอล ซึ่งเมื่อพิจารณาคูณลักษณะของสารตั้งต้นอันได้แก่ อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันและเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้วสามารถละลายได้ดีในเอทานอลซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้วเหมือนกัน ทำให้สามารถสรุปได้เบื้องต้นว่า เมทิลเมทาคริเลตเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเกิดเป็นอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ไม่ละลายในเอทานอลออกมา

และเมื่อพิจารณาภาวะที่ใช้ในการเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเปรียบเทียบกับกันระหว่างภาวะที่ 4, 5, 10 และ 11 พบว่า ภาวะการทดลองที่ 10 เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเนื่องจากเป็นภาวะที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์น้อยที่สุดและไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งก็สามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ออกมาได้ นำสารที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

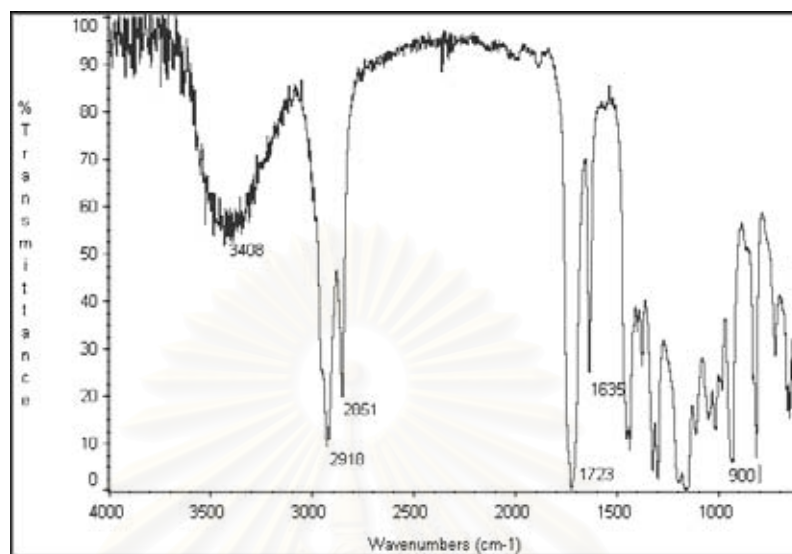
4.2.2 การวิเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

นำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 4.2.1 ภาวะการทดลองที่ 10 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทิลเมทาคริเลตที่ล้างตัวห่น่วงปฏิกิริยาแล้ว อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ได้ผลการทดลองดังรูป 4.5 โดยพบพีคที่สำคัญดังนี้ (19)

1. พบพีค -OH Stretching ที่ตำแหน่ง 3408 cm^{-1}
2. พบพีค C-H stretching ที่ตำแหน่ง 2918 และ 2851 cm^{-1}

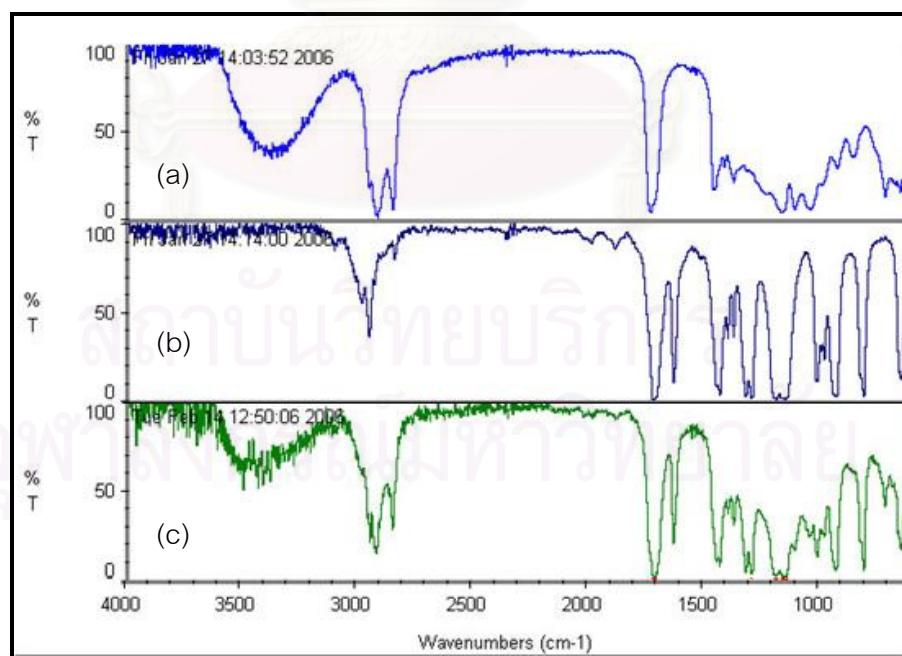
3. พบพีก C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1}

4. พบพีก C=C ของอะคริเลตที่ตำแหน่ง 1635 cm^{-1}



รูป 4.5 FT-IR สเปกตรัมของอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

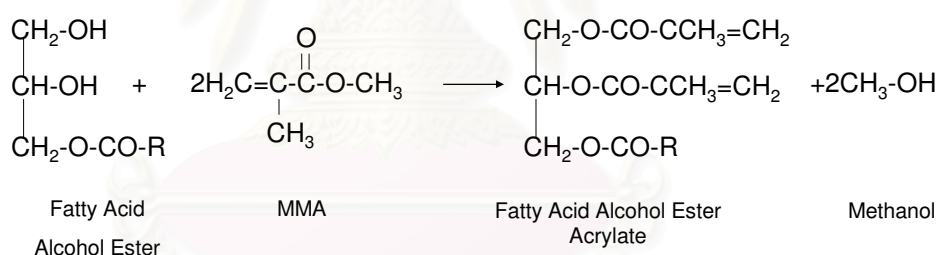
เมื่อนำ FT-IR สเปกตรัมของอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันและเมทิลเมทาคริเลตที่เป็นสารตั้งต้น มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังแสดงได้ในรูป 4.6



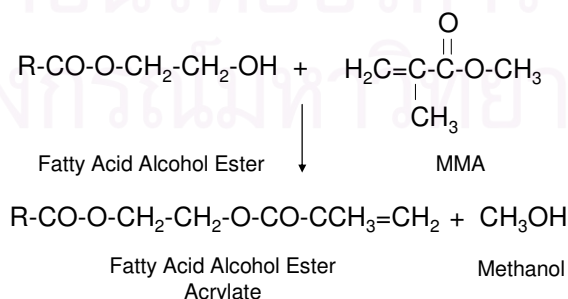
รูป 4.6 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (a) อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (b) เมทิลเมทาคริเลต (c) ผลิตภัณฑ์ : อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาคือ อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพราะให้สเปกตรัมที่ต่างออกไปจากสารตั้งต้นและปรากฏพีกหลายๆ พีกที่ไม่พบในอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพีก C=C ของอะคริเลตที่ตำแหน่ง 1635 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวมีความสำคัญเพราะสามารถแตกตัวเมื่อโดนกระตุ้นแล้วเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้สามารถนำไปใช้ในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

นอกจากนี้ยังพบว่าพีก hydroxyl ที่ตำแหน่ง 3408 cm^{-1} ของอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีขนาดเล็กกว่าพีก hydroxyl ที่อยู่ในสเปกตรัมของอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน สันนิษฐานว่าเนื่องจากในปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (รูป 4.7 - 4.8) เมทิลเมทาคริเลตได้เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ hydroxyl ในโครงสร้างของอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ทำให้หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ที่ออกมาซึ่งก็คือ อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์หมู่ฟังก์ชัน -OH ของอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันควรจะหายไปทั้งหมด แต่ที่ไม่เป็นเช่นนั้นอาจเป็นเพราะปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตที่ใช้ในระบบน้อยเกินไป จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของเมทิลเมทาคริเลตในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.7 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์กับเมทิลเมทาคริเลต



รูปที่ 4.8 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์กับเมทิลเมทาคริเลต

4.3 การเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อนำไปทำสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

4.3.1 อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่สกัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่าง ๆ กัน

เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนของเมทิลเมทาคริเลตในปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ จึงทำการเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตแตกต่างกัน 3 อัตราส่วน อันได้แก่ 1:1 1:3 และ 1:6 ตามลำดับ โดยใช้อุณหภูมิในการเตรียมเท่ากับ 60 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง (ใช้ภาวะการทดลองที่ 10 อ้างอิงตามหัวข้อที่ 4.2.1) ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ และผลทดสอบการละลายของผลิตภัณฑ์ในเอทานอล แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

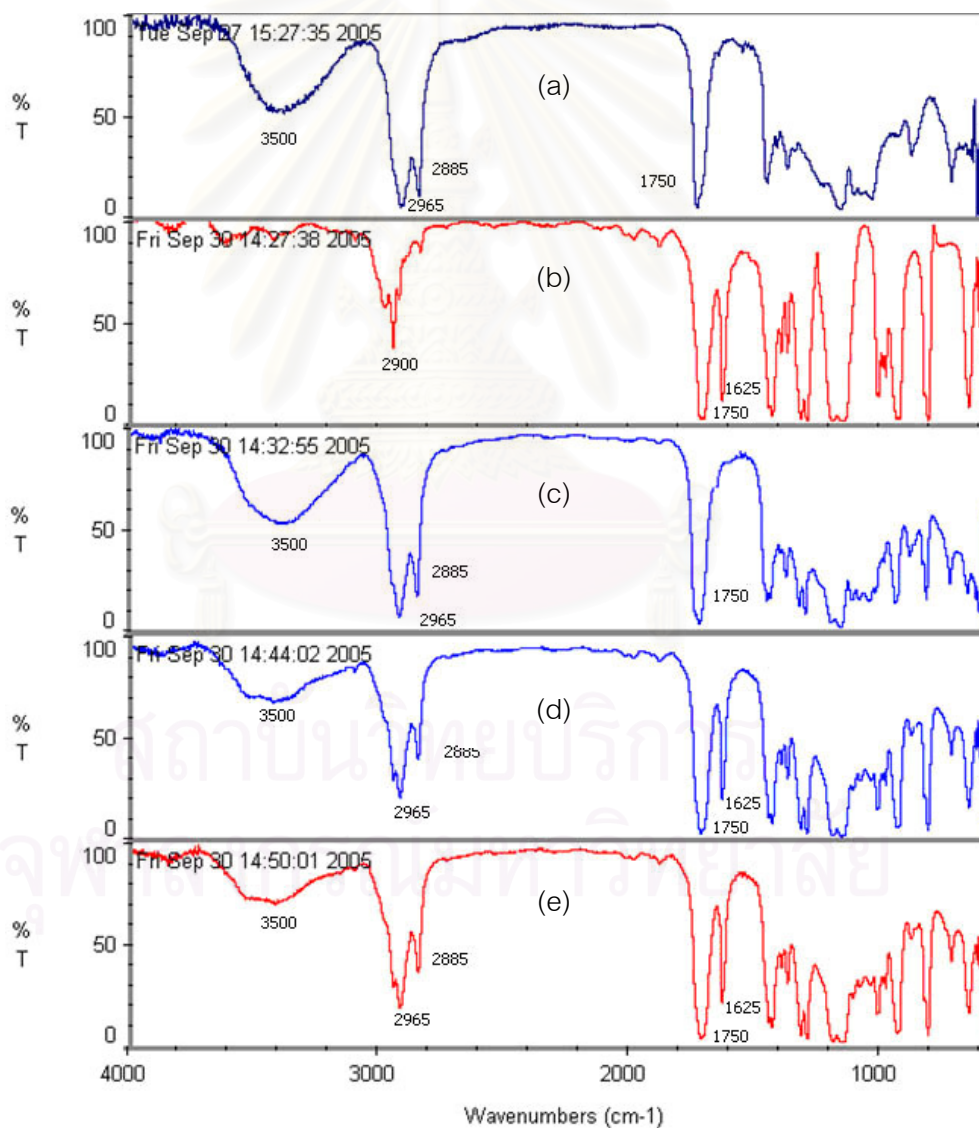
ตารางที่ 4.2 ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน 3 ระดับ

รหัสตัวอย่าง	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์: เมทิลเมทาคริเลต	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ สังเคราะห์ได้	การละลาย ในเอทานอล
FAEGA _{1:1}	1 : 1	ของเหลวสีเหลืองขุ่น	ละลาย
FAEGA _{1:3}	1 : 3	ของเหลวสีเหลืองใส	ไม่ละลาย
FAEGA _{1:6}	1 : 6	ของเหลวสีเหลืองใส	ไม่ละลาย

ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พบว่าการทดลองที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเป็น 1 : 3 และ 1 : 6 ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นของเหลวสีเหลืองใส ซ้ำยังไม่ละลายในเอทานอล สันนิษฐานเบื้องต้นว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1 : 3 และ 1 : 6 ในการสังเคราะห์จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ในขณะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเป็น 1 : 1 จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นของเหลวสีเหลืองขุ่นและยังละลายได้ดีในเอทานอลเช่นเดียวกับสารตั้งต้น คาดว่าคงเป็นเพราะปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตที่น้อยเกินไป ไม่เพียงพอที่จะไปทำปฏิกิริยากับอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังนั้นที่อัตราส่วนดังกล่าวไม่น่าจะเหมาะสมที่จะใช้ในการเตรียมอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างๆ กัน ในการเตรียม โดยเทคนิค FT-IR แสดงได้ในรูปที่ 4.9



รูป 4.9 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (a) อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (b) เมทิลเมทาคริเลต (c) FAEGA_{1:1} (d) FAEGA_{1:3} (e) FAEGA_{1:6}

จาก FT-IR สเปกตรัมเห็นได้ว่าสเปกตรัม 4.9 (d) และ 4.9 (e) มีความคล้ายคลึงกัน เพราะต่างแสดงพีคที่สำคัญๆ ของอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ อันได้แก่ หมู่ hydroxyl (-OH) ที่ตำแหน่ง 3500 cm^{-1} หมู่ C=C ที่ตำแหน่ง 1625 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ C=C ของอะคริเลต และพีค C=O ที่ตำแหน่ง 1750 cm^{-1} แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลของอะคริเลตเอสเทอร์ ซึ่งหมายความว่าสารผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นอนุพันธ์อะคริเลตไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ในขณะที่ 4.9 (c) ไม่มีปรากฏพีคของ C=C ของอะคริเลตปรากฏอยู่เลย นอกจากนี้พีค hydroxyl (-OH) เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นก็ไม่ลดลง แสดงว่าในระบบที่ใช้อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักสมมูลนั้น มีปริมาณอะคริเลตไม่เพียงพอที่จะแทนที่หมู่ไฮดรอกซีในอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จึงไม่สามารถสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันออกมาได้

4.3.2 อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างๆ กัน

ในการศึกษาสัดส่วนของเมทิลเมทาคริเลตในปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ทำได้โดยวิธีการเดียวกันกับหัวข้อ 4.3.1 แตกต่างกันที่อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันนั้นมีหมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตได้มากกว่าอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณของเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์มากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลแล้ว เป็นการใช้อัตราส่วนเดียวกัน คือ 1:1 1:3 และ 1:6 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเตรียมก็เท่ากัน คือ 60°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง (ใช้ภาวะการทดลองที่ 10 อ้างอิงตามหัวข้อที่ 4.2.1) ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ และผลทดสอบการละลายของผลิตภัณฑ์ในเอทานอล แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

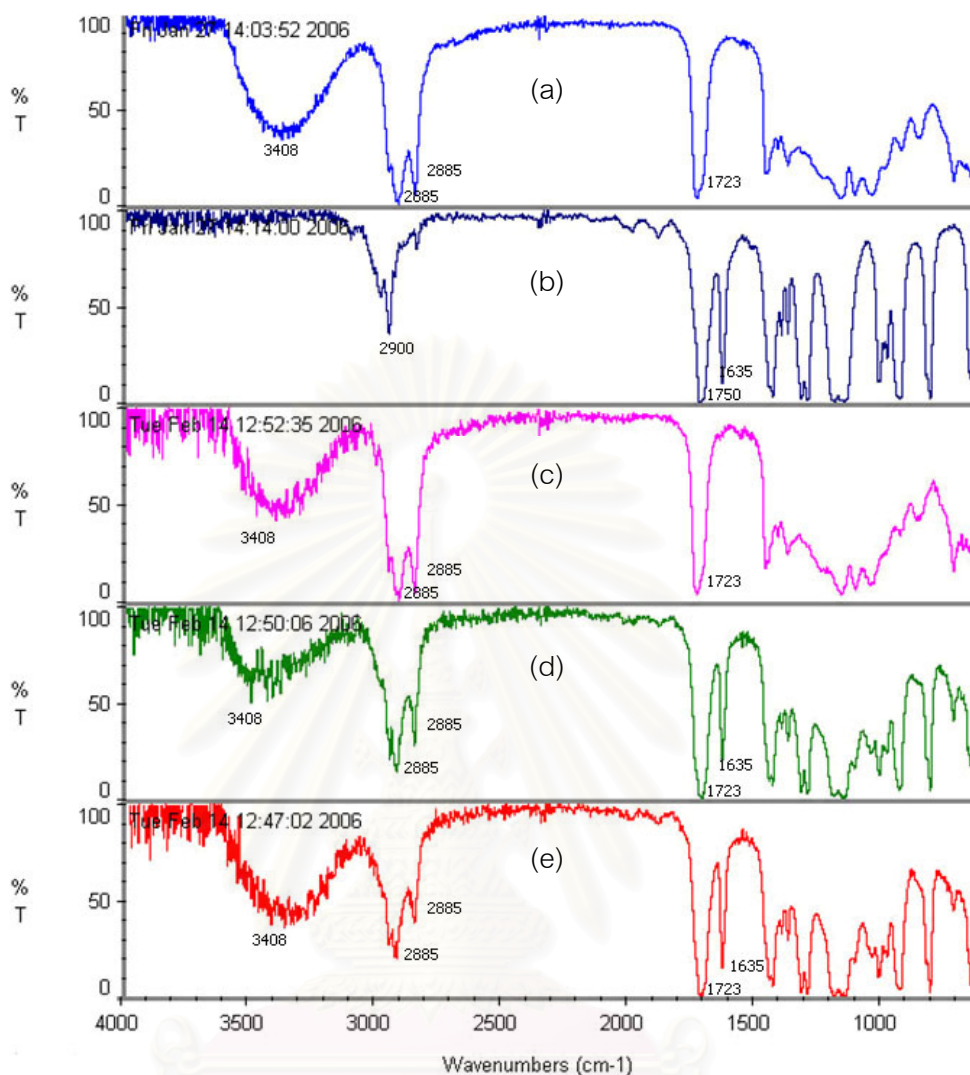
ตารางที่ 4.3 ผลการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างกัน 3 ระดับ

รหัสตัวอย่าง	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์: เมทิลเมทาคริเลต	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ สังเคราะห์ได้	การละลาย ในเอทานอล
FAGA _{1:1}	1 : 1	เป็นของเหลวสีขุ่น	ละลายได้
FAGA _{1:3}	1 : 3	ของเหลวสีเหลืองใส	ไม่ละลาย
FAGA _{1:6}	1 : 6	ของเหลวสีเหลืองใส	ไม่ละลาย

ผลการทดลองออกมาเช่นเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1:1 ให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ยังคงละลายได้ในเอทานอล จึงสันนิษฐานว่า อัตราส่วนดังกล่าวไม่สามารถสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามที่ต้องการได้ ในขณะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1 : 3 และ 1 : 6 ให้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นของเหลวสีเหลืองใส ไม่ละลายในเอทานอล สันนิษฐานว่าเป็นอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลของกรดไขมัน

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สัดส่วนเมทิลเมทาคริเลตต่างๆ กัน ในการเตรียม โดยเทคนิค FT-IR แสดงได้ในรูปที่ 4.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.10 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (a) อนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (b) เมทิลเมทาคริเลต (c) FAGA_{1:1} (d) FAGA_{1:3} (e) FAGA_{1:6}

จะเห็นได้ว่า 4.10 (d) และ 4.10 (e) มีความคล้ายคลึงกัน เพราะต่างแสดงพีกที่สำคัญๆ ของอนุพันธ์อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลของกรดไขมัน อันได้แก่ หมู่ hydroxyl (-OH) ที่ตำแหน่ง 3408 cm^{-1} หมู่ C=C ที่ตำแหน่ง 1635 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ C=C ของอะคริเลต และพีก C=O ที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1} แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลของอะคริเลตเอสเทอร์ ซึ่งหมายความว่า สารผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ในขณะที่ 4.10 (c) ไม่ปรากฏพีกของ C=C ของอะคริเลตปรากฏอยู่เลย และยังมีพีก hydroxyl (-OH) คงอยู่เท่าเดิม

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะพิกของหมู่ hydroxyl พบว่าสเปกตรัมของอนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลเท่ากับ 1:3 และ 1:6 นั้น พิก hydroxyl มีขนาดลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพิกที่พบในอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและยังลดลงมากกว่าที่พบในสเปกตรัมของอนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลเท่ากับ 1:1 ทำให้สรุปได้ว่าปริมาณอะคริเลตที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีที่มากขึ้นจึงทำให้เห็น %T ของหมู่ไฮดรอกซีที่ลดลงและการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์กับเมทิลเมทาคริเลตที่เป็นสารตั้งต้นเท่ากับ 1:1 ไม่สามารถสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันออกมาได้ เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณอะคริเลตไม่เพียงพอที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ hydroxyl ในโครงสร้างของอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์

4.4 การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

นำอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่สังเคราะห์ได้ ทั้งอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันและอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีระดับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์แตกต่างกันมาเตรียมเป็นสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้งหมด 18 สูตร จากนั้นทดสอบการแห้งตัวโดยการหาค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ทำให้สารเคลือบผิวซึ่งปาดเป็นฟิล์มหนา 30 ไมครอน แห้งตัวได้โดยการผ่านเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงรอบเดียว แสดงองค์ประกอบของแต่ละสูตรและผลการทดลองวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวได้ในตารางที่

4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 สูตรและพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

สูตร	ชนิดอนุพันธ์อะคริเลต	ปริมาณอนุพันธ์อะคริเลต (g)	ปริมาณโพลิโกเมอร์ทางการค้า (g)	ปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (g)	ปริมาณตัวเจือจางว่องไว (g)	พลังงานน้อยที่สุดในการแห้งตัว (mJ/cm ²)
E	FAEGA _{1:3}	9.5	-	0.5	-	ไม่แห้ง
F	FAEGA _{1:3}	5.5	-	0.5	4	281
G	FAEGA _{1:3}	5.5	2	0.5	2	171
H	FAEGA _{1:3}	2	5.5	0.5	2	44
I	FAEGA _{1:6}	9.5	-	0.5	-	ไม่แห้ง
J	FAEGA _{1:6}	5.5	-	0.5	4	186
K	FAEGA _{1:6}	5.5	2	0.5	2	146
L	FAEGA _{1:6}	2	5.5	0.5	2	44
M	-	-	5.5	0.5	4	44
N	-	-	9.5	0.5	-	44
S	FAGA _{1:3}	9.5	-	0.5	-	ไม่แห้ง
T	FAGA _{1:3}	5.5	-	0.5	4	96
U	FAGA _{1:3}	5.5	2	0.5	2	52
V	FAGA _{1:3}	2	5.5	0.5	2	44
W	FAGA _{1:6}	9.5	-	0.5	-	ไม่แห้ง
X	FAGA _{1:6}	5.5	-	0.5	4	106
Y	FAGA _{1:6}	5.5	2	0.5	2	63
Z	FAGA _{1:6}	2	5.5	0.5	2	44

นำผลการทดลองดังกล่าวมาจัดจำแนกและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ตามหัวข้อต่อไปนี้

- สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีเฉพาะโอลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นองค์ประกอบ
- ผลของตัวเจือจางว่องไวที่มีต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
- ผลของโอลิโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม
- ผลของชนิดอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน
- ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์

4.4.1 การแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีเฉพาะโอลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นองค์ประกอบ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในสูตรสารเคลือบผิวที่มีเฉพาะโอลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นองค์ประกอบ (ดูตาราง 4.5)

ตารางที่ 4.5 พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวในสูตรที่มีเฉพาะโอลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็นองค์ประกอบ

สูตร	ชนิดของโอลิโกเมอร์	พลังงานน้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัว (mJ/cm ²)
E	FAEGA _{1:3}	ไม่แห้ง
I	FAEGA _{1:6}	ไม่แห้ง
N	โอลิโกเมอร์ทางการค้า	44
S	FAGA _{1:3}	ไม่แห้ง
W	FAGA _{1:6}	ไม่แห้ง

จะเห็นว่าสูตร E , I , S และ W เป็นสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้เป็นโพลิโกเมอร์ในอัตราส่วนร้อยละ 95 ผสมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงแบบอนุมูลอิสระในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรากฏว่า ทั้งหกสูตรไม่สามารถแห้งตัวได้ด้วยการผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงครั้งเดียว เป็นผลการทดสอบที่แตกต่างไปจากสูตร N ซึ่งมีโพลิโกเมอร์ทางการค้าและตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเป็นองค์ประกอบ พบว่า สูตร N นั้นสามารถแห้งตัวได้

ดังนั้นจึงสรุปได้จากผลการทดลองว่า อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นโพลิโกเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่มีเฉพาะโพลิโกเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาเพียงสองตัว เพราะไม่สามารถทำให้แห้งได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ต่างไปจากโพลิโกเมอร์ทางการค้าที่สามารถแห้งตัวได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ทั้งนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเพราะโพลิโกเมอร์ทางการค้าที่ใช้เปรียบเทียบนั้นเป็น Epoxidized soya oil acrylate oligomer ที่มีทั้งหมู่อีพอกซีและหมู่อะคริเลตซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถแตกตัวก่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหได้ทั้งสองหมู่ (20) ในขณะที่อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นั้นมีแต่หมู่อะคริเลตเพียงหมู่เดียว ความสามารถในการแห้งตัวจึงน้อยกว่า

4.4.2 ผลของตัวเจือจางว่องไวที่มีต่อการแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

จากหัวข้อ 4.4.1 จะเห็นได้ว่าอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มไม่สามารถแห้งตัวได้ในสูตรที่มีแต่โพลิโกเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงเพียงสององค์ประกอบ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการใส่ตัวเจือจางว่องไวเข้าไปในสูตรสารเคลือบผิวเพื่อช่วยในการแห้งตัว พิจารณาตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีและไม่มีตัวเจือจางว่องไวเป็นองค์ประกอบ

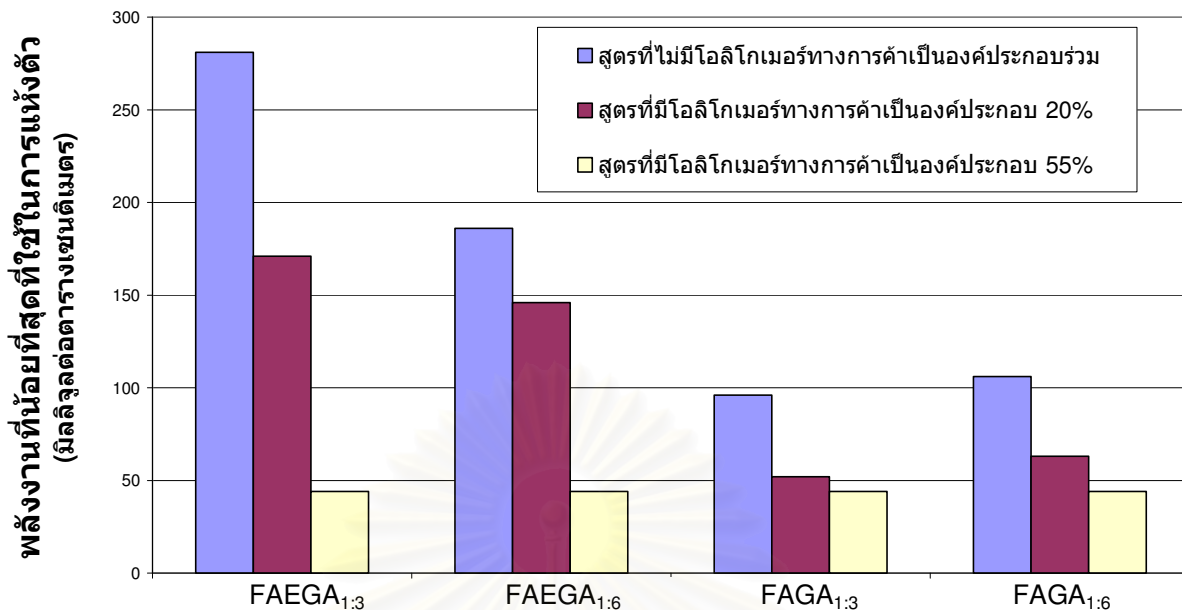
สูตร	ชนิดของโพลิโเมอร์	องค์ประกอบในสูตรสารเคลือบผิว	พลังงานน้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัว (mJ/cm ²)
E	FAEGA _{1:3}	ไม่มีตัวเจือจางว่องไว	ไม่แห้ง
F		มีตัวเจือจางว่องไว	281
I	FAEGA _{1:6}	ไม่มีตัวเจือจางว่องไว	ไม่แห้ง
J		มีตัวเจือจางว่องไว	186
N	โพลิโเมอร์ทางการค้า	ไม่มีตัวเจือจางว่องไว	44
M		มีตัวเจือจางว่องไว	44
S	FAGA _{1:3}	ไม่มีตัวเจือจางว่องไว	ไม่แห้ง
T		มีตัวเจือจางว่องไว	96
W	FAGA _{1:6}	ไม่มีตัวเจือจางว่องไว	ไม่แห้ง
X		มีตัวเจือจางว่องไว	106

สูตร E , I , S และ W เป็นสูตรที่มีองค์ประกอบเพียงสองตัว ซึ่งได้แก่ อนุพันธ์อะคริลิกของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นโพลิโกลิเมอร์และตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง ในขณะที่สูตร F , J , T และ X เป็นสูตรที่มีการเพิ่มตัวเจือจางว่องไวเข้าไปคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวมของสูตร จะเห็นได้ว่าสูตรที่มีตัวเจือจางว่องไวเป็นองค์ประกอบสารเคลือบผิวสามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านเครื่องบ่ม แม้ว่าจะใช้พลังงานในการแห้งตัวมากกว่าสูตร M ที่เป็นสูตรที่ใช้โพลิโกลิเมอร์ทางการค้าผสมกับตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงและตัวเจือจางว่องไวก็ตาม แต่ก็แสดงให้เห็นว่าตัวเจือจางว่องไวได้เข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดเป็นพอลิเมอร์ทำให้ได้ฟิล์มที่แข็งตัว

4.4.3 ผลของโพลิโกลิเมอร์ร่วมที่มีต่อการแห้งตัวของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

เนื่องจากโพลิโกลิเมอร์ทางการค้ามีความสามารถในการแห้งตัวที่ดี จึงมีแนวคิดที่จะนำโพลิโกลิเมอร์ทางการค้าเข้าไปเป็นโพลิโกลิเมอร์ร่วมในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อช่วยในการแห้งตัวของฟิล์ม แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการแห้งตัวของสูตรที่ไม่มีโพลิโกลิเมอร์ทางการค้ากับสูตรที่มีโพลิโกลิเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบ ได้ผลตามรูปที่ 4.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน

รูปที่ 4.11 ผลของโวลีโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเข้ารหัสของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

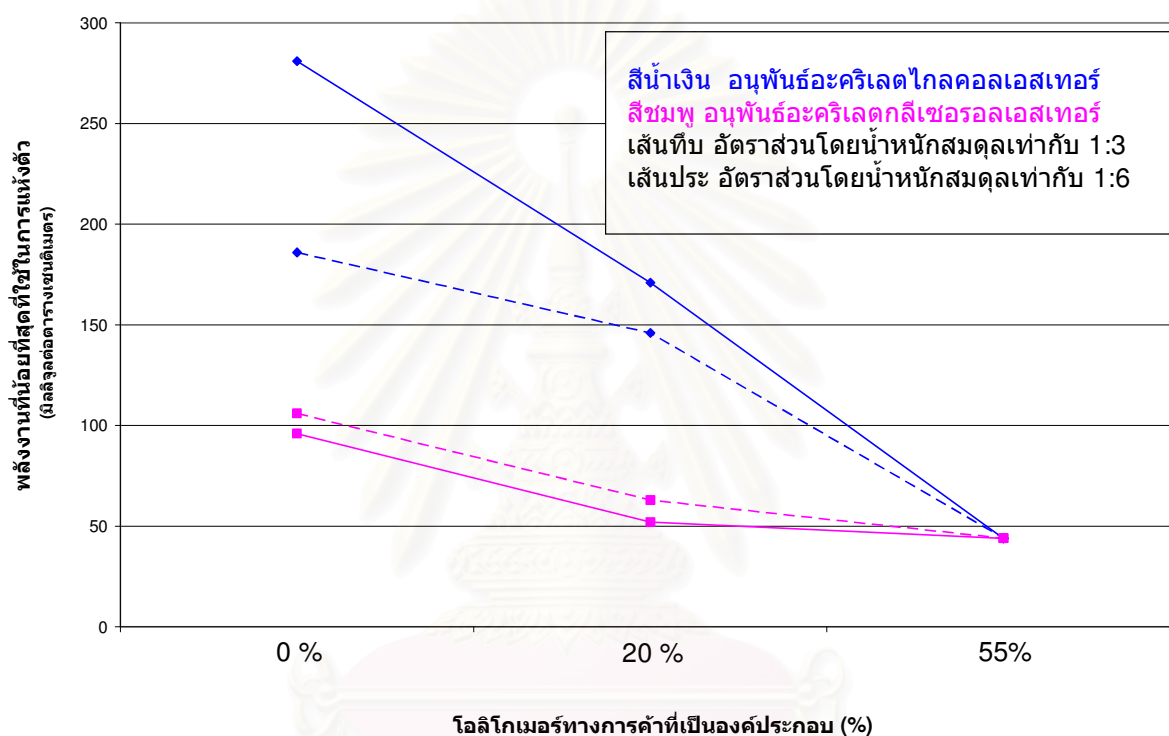
พบว่าโวลีโกเมอร์ทางการค้าจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการเข้ารหัสของสารเคลือบผิวทุกสูตร ยิ่งเพิ่มสัดส่วนของโวลีโกเมอร์ทางการค้าให้มากขึ้นสารเคลือบผิวมีแนวโน้มที่จะแห้งตัวได้ดีขึ้น โดยเฉพาะสูตรที่มีโวลีโกเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบ 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่าสารเคลือบผิวสามารถแห้งตัวได้ที่พลังงานต่ำสุดของเครื่องบ่มสารเคลือบผิวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (พลังงาน 44 มิลลิจูล/ตารางเซนติเมตร) ทั้งนี้เนื่องจากโวลีโกเมอร์ทางการค้ามีสมบัติการแห้งตัวที่ดีกว่าอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้ การใช้โวลีโกเมอร์ทางการค้าในสูตรจึงช่วยปรับปรุงความสามารถในการแห้งตัวของฟิล์มสารเคลือบ

4.4.4 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลที่มีต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด นั่นคือ อนุพันธ์อะคริเลตที่ได้จากอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน และอนุพันธ์อะคริเลตที่ได้จากอนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ในขณะที่อัตราส่วนระหว่าง

อนุพันธ์อนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ที่ทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตมีทั้งหมด 3 อัตราส่วน แต่อัตราส่วนที่สามารถสังเคราะห์แล้วได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นอนุพันธ์อะคริเลตสามารถนำมาเป็นสูตรสารเคลือบผิวได้มีแค่ 2 อัตราส่วนคือ อัตราส่วน 1:3 และ 1:6 โดยน้ำหนักสมดุล

ผลของชนิดอนุพันธ์อะคริเลตและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลที่มีต่อการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมลิตในปาล์มแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลที่มีต่อพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมลิตในปาล์ม

จากรูป 4.12 พบว่าทุกสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์มีแนวโน้มที่จะใช้พลังงานในการแห้งตัวต่ำกว่าสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะสารตั้งต้นซึ่งก็คืออนุพันธ์กลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำปฏิกิริยากับเมทิลเมทาคริเลตได้มากกว่าอนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เมื่อสังเคราะห์เป็นอนุพันธ์อะคริเลตจึงทำให้ได้โครงสร้างที่มีหมู่ C=C ที่ช่วยในการแตกตัวเป็นพอลิเมอร์ได้มากกว่า ส่งผลให้อนุพันธ์อะคริเลตของกลี-

เซอรอลเอสเทอร์มีสมบัติการแห้งตัวที่ดีกว่าเมื่อนำมาใช้เป็นโพลิโกลิเมอร์ในสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

นอกจากนี้ยังพบว่า ในสูตรของอนุพันธ์อะคริเลตของโกลคอลเอสเทอร์ การที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์โกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นจาก 1:3 เป็น 1:6 เมื่อนำมาทำเป็นสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะใช้พลังงานในการแห้งตัวลดลง ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ต่างออกไปจากผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับสูตรของอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลเพิ่มขึ้นจาก 1: 3 เป็น 1:6 กลับต้องใช้พลังงานในการแห้งตัวมากขึ้นกว่าเดิม

4.5 การทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ในการทดสอบสมบัติของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ได้เลือกทดสอบเฉพาะสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งและให้ฟิล์มที่สมบูรณ์ ซึ่งมีทั้งหมด 13 สูตร แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพอันได้แก่ สมบัติความอ่อนตัว, ความติดแน่น, และความทนต่อแรงกระแทก, ความแข็ง ผลการทดสอบได้แสดงรวมไว้ดังตาราง 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 สมบัติความอ่อนตัว , ความตืดแน่น , ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็งของสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

สูตร	ชนิดของโพลิโกเมอร์ที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิว	เปอร์เซ็นต์โพลิโกเมอร์ทางการค้าที่เป็นองค์ประกอบ	ความอ่อนตัว (เส้นผ่านศูนย์กลาง, มิลลิเมตร)	ความตืดแน่น	ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)	ความแข็ง (กรัม)
F	FAEGA _{1:3}	0%	3	3B	4	100
G		20%	3	2B	4	150
H		55%	3	0B	25	170
J	FAEGA _{1:6}	0%	3	3B	4	100
K		20%	3	2B	4	150
L		55%	3	0B	24	170
M	โพลิโกเมอร์ทางการค้า		3	0B	112	200
T	FAGA _{1:3}	0%	3	3B	4	500
U		20%	3	1B	32	200
V		55%	3	0B	100	150
X	FAGA _{1:6}	0%	3	3B	4	490
Y		20%	3	1B	16	300
Z		55%	3	0B	96	150

นำผลการทดลองมาจัดจำแนกและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

4.5.1 สมบัติความอ่อนตัวของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ผลการทดลองในตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีความอ่อนตัวที่ดีมาก กล่าวคือ เมื่อทำการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าวหรือการหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ โดยการนำไปตัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (bending test) โดยเลือกใช้แกนทรงกระบอกอันเล็กที่สุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ปรากฏว่าสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มทุกสูตรไม่เกิดการแตกร้าวหรือหลุดล่อนที่เส้นผ่านศูนย์กลางดังกล่าว ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับสูตร M ซึ่งเป็นสูตรสารเคลือบผิวทางการค้า แสดงให้เห็นว่าฟิล์มของสารเคลือบที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีสมบัติความอ่อนตัวเทียบได้กับฟิล์มของสารเคลือบทางการค้า

การที่สูตรสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีความอ่อนตัวที่ดีนั้น เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่เป็นโอลิโกเมอร์ ประกอบด้วยส่วนที่แข็งไม่ยืดหยุ่นของอะคริเลตที่ได้จากเมทิลเมทาคริเลต และส่วนที่ยืดหยุ่นของกรดไขมันที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม การที่น้ำมันเมล็ดในปาล์มมีสายโซ่คาร์บอนที่ยาวจะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นที่ดี (21)

4.5.2 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความติดแน่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเป็นตัวบอกระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ ทดสอบโดยวิธีการ Cross-cut tape เป็นการใช้เครื่อง Cross Hatch Cutter กรีดเป็นตารางบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้นใช้เทปติดที่บริเวณรอยขีดให้สนิทแล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจสอบขอบร่องของฟิล์มแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน

จากตาราง 4.7 จะเห็นได้ว่าสูตร M ที่เป็นสูตรทางการค้ามีค่าความติดแน่นเท่ากับ OB หมายความว่ามีการหลุดลอกของฟิล์มทดสอบมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสูตรทางการค้ามีความสมบัติความติดแน่นที่ต่ำเมื่อเทียบกับสูตร F, J, T และ X ซึ่งเป็นสารเคลือบผิว

จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีสัดส่วนองค์ประกอบเท่าๆ กัน แสดงให้เห็นว่าโพลิโกเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ให้ฟิล์มที่มีความสมบัติความตึงเครียดที่ต่ำกว่าโพลิโกเมอร์ทางการค้า

การที่สูตรเคลือบจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีความสามารถในการติดแน่นที่ดีกว่าสูตรทางการค้า ทั้งนี้เพราะอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันยังมีหมู่ -OH หลงเหลืออยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารเคลือบกลายเป็นฟิล์มแข็งก็จะได้ฟิล์มที่พื้นผิวมีขั้วมีความสามารถในการยึดเกาะกับพื้นผิวโลหะได้ดี (22)

คาดว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความตึงเครียดของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม อันได้แก่ ผลของโพลิโกเมอร์ทางการค้า, ผลของชนิดอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน และ ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์โพลิโกเมอร์

ผลของโพลิโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความตึงเครียด

พิจารณาตาราง 4.7 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างสูตรที่ใช้โพลิโกเมอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นองค์ประกอบกับสูตรที่มีโพลิโกเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ 20 และ 55 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ชัดว่าสมบัติความตึงเครียดของสารเคลือบนั้นลดลงในสูตรที่มีโพลิโกเมอร์ทางการค้าเข้ามาเป็นองค์ประกอบร่วม ยิ่งมีสัดส่วนของโพลิโกเมอร์ทางการค้ามากเท่าไร ยิ่งทำให้สมบัติความตึงเครียดของฟิล์มลดลง ทั้งนี้ทั้งนั้นอธิบายได้ตามหลักการของพอลิเมอร์ผสมโดยทั่วไป ในการนำโพลิโกเมอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ให้สมบัติความตึงเครียดที่ดีมาใช้ร่วมกับโพลิโกเมอร์ทางการค้าที่ให้สมบัติความตึงเครียดที่ต่ำกว่า ฟิล์มของสารเคลือบที่เป็นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมจะแสดงสมบัติอยู่ระหว่างสมบัติของโพลิโกเมอร์ทั้งสองตัว การจะได้สมบัติดีมากขึ้นหรือน้อยขึ้นสัดส่วนระหว่างโพลิโกเมอร์ผสมในสูตรสารเคลือบผิว (23)

ผลของชนิดอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีต่อสมบัติความตึงเครียด

จับคู่เปรียบเทียบสมบัติความตึงเครียดของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ต่างชนิดกันเป็นโพลิโกเมอร์ แสดงไว้ในตาราง 4.8 - 4.9

ตารางที่ 4.8 สมบัติความตืดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วนโดย น้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1:3

สูตร	เปอร์เซ็นต์โพลิโกเมอร์ ทางการค้า ที่เป็นองค์ประกอบ	ชนิดของโพลิโกเมอร์ ที่ใช้ในสูตรสารเคลือบผิว	ความตืดแน่น
F	0%	FAEGA	3B
T		FAGA	3B
G	20%	FAEGA	2B
U		FAGA	1B
H	55%	FAEGA	0B
V		FAGA	0B

ตารางที่ 4.9 สมบัติความตืดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วนโดย น้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตเท่ากับ 1:6

สูตร	เปอร์เซ็นต์โพลิโกเมอร์ ทางการค้า ที่เป็นองค์ประกอบ	ชนิดของโพลิโกเมอร์ที่ใช้ ในสูตรสารเคลือบผิว	ความตืดแน่น
J	0%	FAEGA	3B
X		FAGA	3B
K	20%	FAEGA	2B
Y		FAGA	1B
L	55%	FAEGA	0B
Z		FAGA	0B

พบว่าสูตรเพียงสองคู่ คือสูตร G กับ U, K กับ Y เท่านั้นที่จับคู่เปรียบเทียบระหว่างโพลิโกเมอร์ต่างชนิดกันแล้วมีค่าความตืดแน่นต่างกัน แต่เป็นเกรดที่ต่างกันเพียงระดับเดียว ขณะที่สูตรคู่อื่น ๆ มีค่าความตืดแน่นเท่ากับทุกคู่ และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของผลการทดลองโดยรวมแล้ว อาจอนุมานได้ว่าชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติความตืดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตที่มีต่อสมบัติความติดแน่น

จับคู่เปรียบเทียบสมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูลระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตแตกต่างกัน แสดงผลไว้ในตาราง 4.10 - 4.11

ตารางที่ 4.10 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์

สูตร	เปอร์เซ็นต์โพลิโกเมอร์ ทางการค้า ที่เป็นองค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์: เมทิลเมทาคริเลต	ความติดแน่น
F	0%	1:3	3B
J		1:6	3B
G	20%	1:3	2B
K		1:6	2B
H	55%	1:3	0B
L		1:6	0B

ตารางที่ 4.11 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์

สูตร	เปอร์เซ็นต์โพลิโกเมอร์ ทางการค้า ที่เป็นองค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมมูล อนุพันธ์ไกลคอลเอสเทอร์: เมทิลเมทาคริเลต	ความติดแน่น
T	0%	1:3	3B
X		1:6	3B
U	20%	1:3	1B
Y		1:6	1B
V	55%	1:3	0B
Z		1:6	0B

พบว่า สูตรที่ทำการเปรียบเทียบมีค่าความตืดแน่นเท่ากันทุกคู่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนของเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์โพลิโกเมอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มไม่มีผลต่อสมบัติความตืดแน่นของฟิล์มสารเคลือบผิว

4.5.3 สมบัติความทนต่อแรงกระแทกของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

สมบัติความทนต่อแรงกระแทกเป็นสมบัติที่แสดงถึงความคงทนของฟิล์มสารเคลือบผิวต่อแรงมาตกกระแทก สามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่อง Impact Strength Tester และดูการแตกร้าวของฟิล์ม

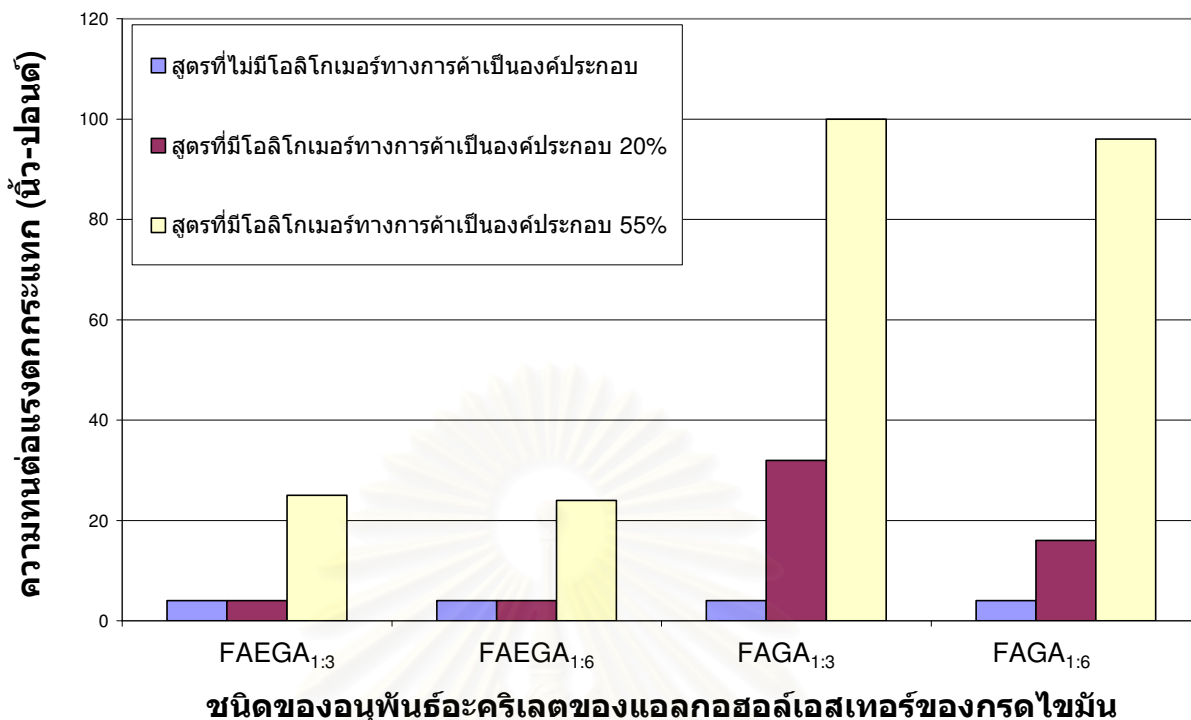
จากตาราง 4.7 พบว่าสารเคลือบผิวสูตร M ที่เป็นสูตรทางการค้ามีความทนทานต่อแรงกระแทกมากที่สุด (112 นิว-ปอนด์) เมื่อเทียบกับสารเคลือบผิวที่ได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มสูตรอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าสูตรสารเคลือบผิวทางการค้ามีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกที่ดีกว่าสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.5.2 ได้ทำการพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติความทนต่อแรงกระแทกของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังต่อไปนี้

ผลของโพลิโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงกระแทก

สำหรับผลของการใช้โพลิโกเมอร์ทางการค้าเป็นโพลิโกเมอร์ร่วมในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงกระแทก ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

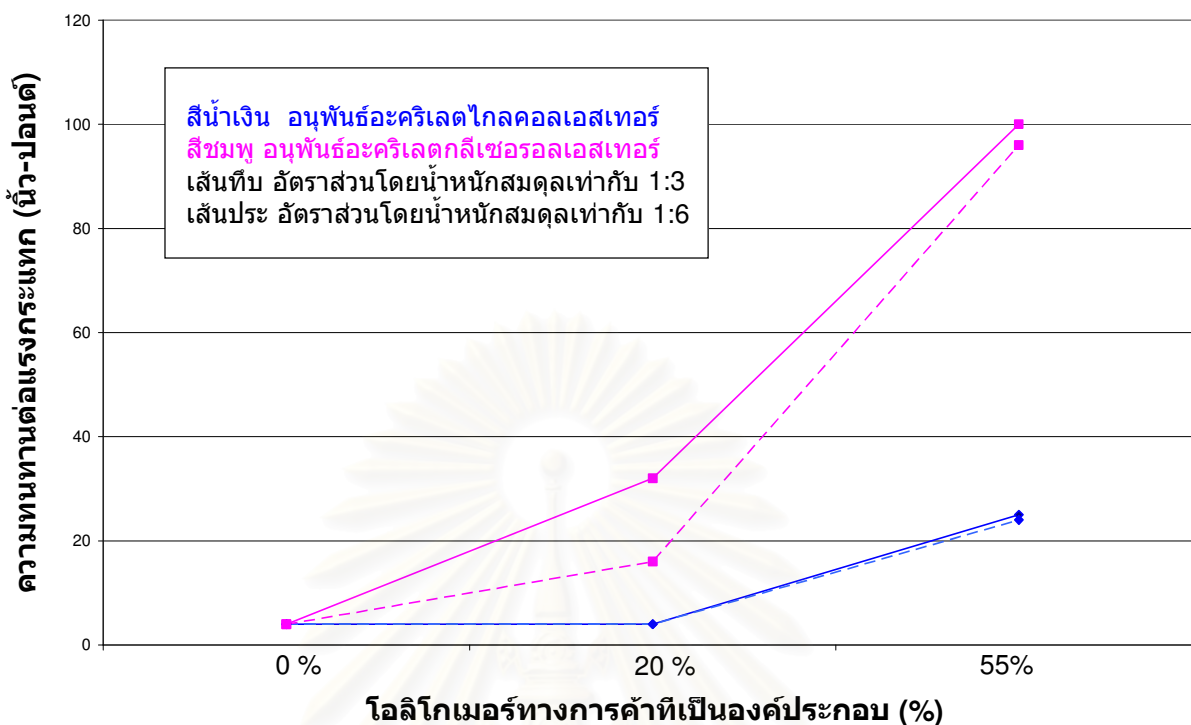


รูปที่ 4.13 ผลของโพลิโกลีเมอร์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

พบว่าสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ไม่มีโพลิโกลีเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบอยู่เลย มีความสามารถในการทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ กล่าวคือมีค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเท่ากับ 4 นิว-ปอนด์ การใส่โพลิโกลีเมอร์ทางการค้าที่ทนต่อแรงกระแทกได้ดีเข้าไปองค์ประกอบร่วม โพลิโกลีเมอร์ทางการค้าจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการทนต่อแรงตกกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มให้ดีขึ้นกว่าเดิม ยังมีสัดส่วนของโพลิโกลีเมอร์ทางการค้ามากขึ้นเท่าไร ความทนทานต่อแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้นเท่านั้น เป็นไปตามหลักการของพอลิเมอร์ผสม (23)

ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลงที่มีต่อสมบัติความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ทำการเปรียบเทียบผลของโพลิโกลีเมอร์ที่มีต่อสมบัติความทนแรงตกกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ได้ผลแสดงได้ตามรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

จะเห็นได้ว่าในสูตรที่ไม่มีโพลิโเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบไม่สามารถเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างได้ เพราะทุกสูตรมีความทนทานต่อแรงกระแทกน้อยกว่า 4 นิว-ปอนด์ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบของสูตรคู่อื่น ๆ นั้นสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ กล่าวคือ สูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโเมอร์จะมีความทนทานต่อแรงกระแทกที่ดีกว่าสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์โพลิโเมอร์ไม่มีผลต่อสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของสารเคลือบผิว

4.5.4 สมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

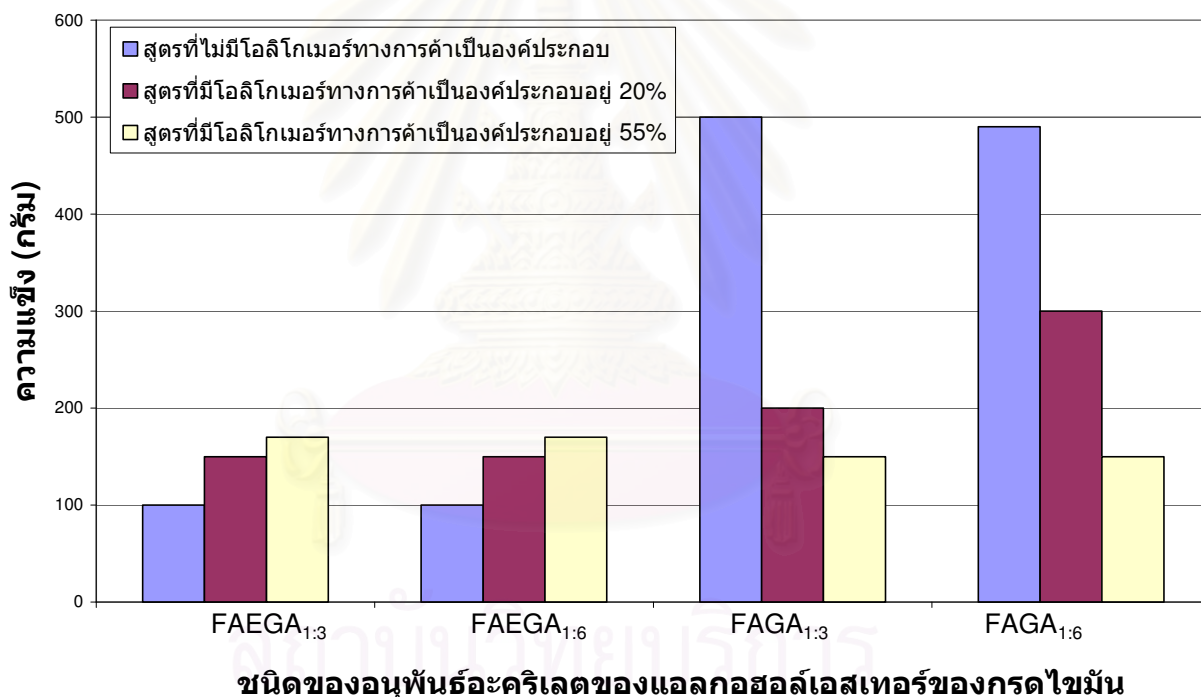
ความแข็งนั้นเป็นสมบัติที่แสดงถึงความทนทานของวัสดุต่อการขูดขีด วัสดุจะแข็งมากหรือน้อยเป็นผลของความเชื่อมแน่นที่ทำให้เกิดการจับตัวของอะตอม ความเชื่อมแน่นระหว่างอะตอมมีมาก วัสดุก็จะแข็งมากขึ้น ความแข็งของสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจาก

น้ำมันเมล็ดในปาล์มสามารถทดสอบได้จากการหาค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ

ผลการทดลองจากตาราง 4.7 จะเห็นได้ว่าสูตร M ซึ่งเป็นสูตรสารเคลือบผิวทางการค้ามีค่าความแข็งเท่ากับ 200 กรัม ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่อยู่ระหว่าง 100 – 500 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าความแข็งของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยที่ค่าเฉลี่ยของความแข็งของสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ทำการทดสอบทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 220 กรัม

ผลของโอลิโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความแข็ง

สัดส่วนของโอลิโกเมอร์ทางการค้าที่แตกต่างกันในองค์ประกอบของสารเคลือบผิวส่งผลต่อความแข็งของฟิล์มดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.15

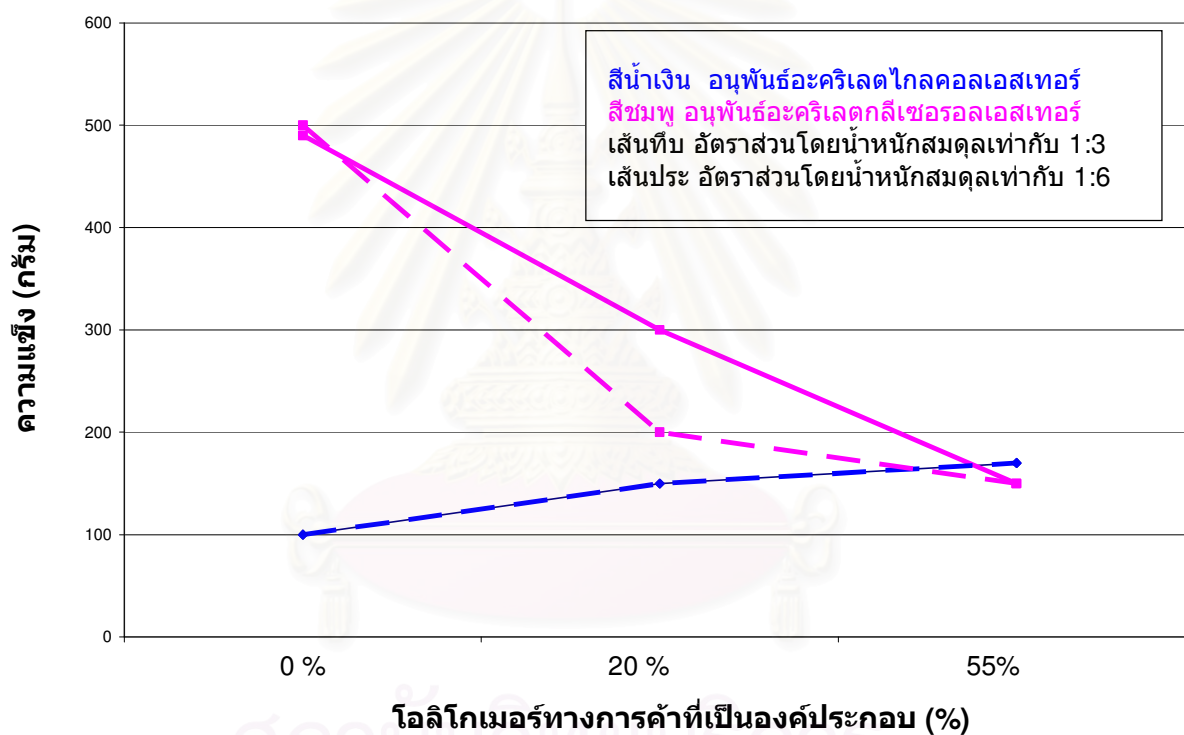


รูปที่ 4.15 ผลของโอลิโกเมอร์ทางการค้าที่มีต่อสมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

พบว่า ในสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของโอลิโกเมอร์ทางการค้าเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างไปจากผลการทดลองในสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์ที่ค่าความแข็งจะลดลงเมื่อสัดส่วนของโอลิโกเมอร์ทางการค้าเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้อธิบายได้ว่าโอลิโกเมอร์ทางการค้า นั้นให้ฟิล์มที่มีค่าความแข็งอยู่ระหว่างความแข็งของฟิล์มจากอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์กับฟิล์มจากอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ เมื่อเป็นไปตามหลักการพอลิเมอร์ผสม (23) การใส่โอลิโกเมอร์ทางการค้าลงในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม จะช่วยปรับปรุงสมบัติความแข็งของฟิล์มอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ที่มีค่าความแข็งต่ำกว่าฟิล์มทางการค้า แต่จะทำให้ฟิล์มอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ที่มีค่าความแข็งที่ดีกว่าฟิล์มทางการค้ามีค่าความแข็งลดลง

ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลที่มีต่อความแข็งของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม



รูปที่ 4.16 ผลของชนิดของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันและอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุลที่มีสมบัติความแข็งของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

จากรูป 4.16 พบว่าสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์จะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ในสูตรที่ไม่มีโอลิโกเมอร์ทางการค้ากับสูตรที่มีโอลิโกเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่สูตรที่มีโอลิโกเมอร์ทางการค้าเป็นองค์ประกอบ 55 เปอร์เซ็นต์นั้น ชนิด

อนุพันธ์ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของสารเคลือบจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพราะได้ฟิล์มที่มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน

เมื่อจับคู่เปรียบเทียบค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตที่แตกต่างกันในขั้นตอนการสังเคราะห์โพลิโกเมอร์ พบว่ามีผลการทดลองเพียงคู่เดียวของอนุพันธ์อะคริเลตกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ให้ค่าความแข็งต่างกันมาก ในขณะที่คู่อื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน จึงอนุมานได้ว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักสมดุระหว่างอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันกับเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์โพลิโกเมอร์ไม่มีผลต่อสมบัติความแข็งของสารเคลือบผิว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. อนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันสามารถเตรียมได้จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มและสามารถนำมาใช้เป็นโพลิโกเมอร์ในสูตรสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้
2. ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมัน ได้แก่ ภาวะที่ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยไม่ต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา
3. อนุพันธ์อะคริเลตแอลกอฮอล์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่สังเคราะห์ได้นั้นปรากฏหมู่ฟังก์ชัน C=C ที่สามารถแตกตัวได้ด้วยรังสียูวีฟอर्मตัวเป็นพอลิเมอร์ต่อไปได้ แต่ขณะเดียวกันก็ยังคงเหลือหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของอนุพันธ์แอลกอฮอล์เอสเทอร์อยู่ การใช้ปริมาณเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์จะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลลดลง
4. สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีเฉพาะโพลิโกเมอร์กับตัวริเริ่มปฏิกิริยาไม่สามารถป่นให้แห้งได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ต้องผสมตัวเจือจางว่องไวเข้าไปมีส่วนร่วมสูตร จึงทำให้สารเคลือบผิวแห้งตัว
5. สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มใช้พลังงานในการบ่มตัวสูงกว่าสารเคลือบผิวทางการค้า และการใส่โพลิโกเมอร์ทางการค้าเข้าไปเป็นโพลิโกเมอร์ร่วมในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มช่วยลดพลังงานในการแห้งตัวของสารเคลือบ
6. สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์ใช้พลังงานในการแห้งตัวน้อยกว่าสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์
7. สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์ เมื่ออัตราส่วนเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์จะช่วยลดพลังงานในการแห้งตัวของสารเคลือบ กลับกันกับสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโพลิโกเมอร์ ถ้าใช้อัตราส่วนเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นพลังงานในการแห้งตัวของสารเคลือบจะเพิ่มขึ้นตาม

8. สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีสมบัติความอ่อนตัวที่ดีเทียบเท่ากับสารเคลือบผิวทางการค้า
9. สารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีสมบัติความติดแน่นที่ดีกว่าสารเคลือบผิวทางการค้า แต่มีสมบัติความทนต่อแรงกระแทกด้อยกว่าสารเคลือบผิวทางการค้า การใส่โอลิโกเมอร์ทางการค้าเข้าไปเป็นโอลิโกเมอร์ร่วมในสูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะทำให้สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มลดลง แต่สมบัติความทนแรงกระแทกของสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะดีขึ้น
10. สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์ให้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าสูตรที่ใช้อนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์ กล่าวคือมีความสมบัติความทนต่อแรงกระแทกและสมบัติความแข็งที่ดีกว่า ขณะที่สมบัติความติดแน่นนั้นเทียบเท่ากัน
11. สูตรสารเคลือบผิวจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของไกลคอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์ เมื่ออัตราส่วนเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอนการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งของฟิล์มสารเคลือบเพิ่มขึ้น กลับกันกับสูตรที่มีอนุพันธ์อะคริเลตของกลีเซอรอลเอสเทอร์ของกรดไขมันเป็นโอลิโกเมอร์ ถ้าอัตราส่วนเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของฟิล์มลดลง

ข้อเสนอแนะ

ในการสังเคราะห์อนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเตอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อนำมาทำเป็นสารเคลือบผิวที่แห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ควรศึกษาหาภาวะการทดลองที่สามารถทำให้ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของอนุพันธ์เอสเตอร์ของกรดไขมันทำปฏิกิริยากับอะคริเลตได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ปรากฏฟังก์ชันไฮดรอกซิลในโครงสร้างของอนุพันธ์อะคริเลตของแอลกอฮอล์เอสเตอร์ของกรดไขมัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- (1) P.K.T. Oldring (Ed.), Chemistry & Technology of UV & EB Formulation For Coating, Inks & Paints Vol. 1: **Markets and Curing Equipment**. London : SITA,1991.
- (2) J.P. Fouassier, J.F. Rabek (Ed.), Radiation Curing in Polymer Science and Technology Vol. 1: **Fundamentals and Methods**. New York : Elsevier, 1993.
- (3) โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. 2542. พืชน้ำมัน [Online]. Available form : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK19/chapter2/t19-2-11.htm>,[26 ตุลาคม 2549]
- (4) ผู้จัดการออนไลน์. 2547. พืชเศรษฐกิจที่น่าจับตามอง [Online]. Available form : <http://www.manager.co.th/Business/ViewNews.aspx?NewsID=9470000093275>, [26 ตุลาคม 2549]
- (5) Food and agriculture organization of the united nations. 2006. The oil palm [Online]. Available form : <http://www.fao.org/DOCREP/006/T0309E/T0309E01.htm>,[2006, October 26]
- (6) ชีระ เอกสมทราเมษฐ์. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปีที่ 5 ฉบับที่ 4 เดือน มีนาคม-พฤษภาคม 2547
- (7) SpecialChme. 2006. Radiation curing center [Online]. Available form : <http://www.specialchem4coatings.com/tc/radiation-curing>, [2006, October 26]
- (8) The Library of Congress. 2006. Why does ultraviolet light cause color to fade? [Online]. Available form : <http://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/colors.html>,[2006, June 27]
- (9) อรุษา สรวารี; **สารเคลือบผิว(สี วาร์นิช และแล็กเกอร์)**. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- (10) N. Dutta, N. Karak, S.K. Dolui, Synthesis and Characterization of Polyester Resins Based on Nahar Seed Oil. **Progress in Organic Coatings** 49 (2004) : 146-152.
- (11) ภาณุพันธ์ ฝาพันธุ์. การสังเคราะห์สารยึดสูตรน้ำชนิดอะคริลิก-อัลคิดเรซินจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปร. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- (12) M.D. Bhabhe, V.D. Athawale, Chemoenzymatic Synthesis of Oil-Modified Acrylic Monomers as Reactive Diluents for High Solids Coatings. **Progress in Organic Coatings** 30 (1997) : 207-211.

- (13) W.D. Wan Rosli, R.N. Kumar, S. Mek Zah, M. Mohd. Himi, UV Radiation Curing of Epoxidized Palm Oil-Cycloaliphatic Diepoxide System Induced by Cationic Photoinitiators for Surface Coatings. **European Polymer Journal** 39 (2003) : 593-600.
- (14) Shelby F. Thames, Haibin Yu, Thomas P. Schuman, Min D. Wang, Acrylated lesquerella oil in ultraviolet cured coatings. **Progress in Organic Coatings** 28 (1996) : 299-305.
- (15) American Society for Testing and Materials.1996. Method of Test for Elongation of Attached Lacquer Coatings wiht the Conicla Mandrel Test Apparatus [Online]. Available form : <http://www.astm.org>, [2007, Febuary 19]
- (16) American Society for Testing and Materials.1996. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Taape Test [Online]. Available form : <http://www.astm.org>, [2007, February 19]
- (17) American Society for Testing and Materials.1996. Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass) [Online]. Available form : <http://www.astm.org>, [2006, June 27]
- (18) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, การทดสอบการชุบซีด. **มอก. 285** เล่ม 32 (2527).
- (19) Koenig and Jack L. **Spectroscopy of polymer**. Washington, D.C. : American Chemical Society, 1992.
- (20) SpecialChme. 2007. PHOTOMER® 3005 [Online]. Available form : <http://www.specialchem4coatings.com/resources>, [2006, June 27]
- (22) Jiri E. Eresta . **Polymer additives**. New York : Plenum Press, 1984.
- (21) J.M.G. Cowie. **Polymer : Chemistry and physics of modern materials**. London : Blackie, 1991.
- (23) D.R. Paul and C.B. Bucknall. **Polymer blends**. New York: John Wiley : 2000.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การทดสอบการแห้งตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของสารเคลือบผิว

ก.1 ตารางวัดค่าพลังงานแสงยูวีแปรผันตามความเร็ว

ความเร็ว สายพาน (m/min)	เวลาที่ ชิ้นงาน อยู่ได้ หลอดยูวี (s)	กำลังไฟที่ใช้ Low		กำลังไฟที่ใช้ Medium		กำลังไฟที่ใช้ High	
		พลังงาน (mJ/cm ²)	อุณหภูมิ (°C)	พลังงาน (mJ/cm ²)	อุณหภูมิ (°C)	พลังงาน (mJ/cm ²)	อุณหภูมิ (°C)
4.80	1.325	288	32	672	33	956	36
6.72	0.916	189	32	459	33	655	34
8.64	0.738	146	32	370	33	466	34
10.56	0.602	106	32	281	33	380	33
12.48	0.509	96	32	239	33	337	32
14.40	0.441	82	32	192	32	296	32
16.32	0.389	72	32	171	32	261	32
18.24	0.348	63	32	154	32	241	32
20.16	0.315	57	32	140	32	207	32
22.08	0.238	52	31	132	32	186	32
24.00	0.265	47	31	121	32	179	32
25.92	0.245	44	31	109	32	164	32

ก.2 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร F สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1 (288 mJ/cm ²)	1	1
6.72	2	1	1
8.64	-	1	1
10.56	-	1 (281 mJ/cm ²)	1
12.48	-	2	1
14.40	-	-	1 (296 mJ/cm ²)
16.32	-	-	2
18.24	-	-	-
20.16	-	-	-
22.08	-	-	-
24.00	-	-	-
25.92	-	-	-

ก.3 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร G สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1 (189 mJ/cm ²)	1	1
8.64	2	1	1
10.56	-	1	1
12.48	-	1	1
14.40	-	1	1
16.32	-	1 (171 mJ/cm ²)	1
18.24	-	2	1
20.16	-	-	1
22.08	-	-	1
24.00	-	-	1 (179 mJ/cm ²)
25.92	-	-	2

ก.4 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร J สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1 (189 mJ/cm ²)	1	1
8.64	2	1	1
10.56	-	1	1
12.48	-	1	1
14.40	-	1 (192 mJ/cm ²)	1
16.32	-	2	1
18.24	-	-	1
20.16	-	-	1
22.08	-	-	1 (186 mJ/cm ²)
24.00	-	-	2
25.92	-	-	-

ก.5 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร K สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1	1	1
8.64	1 (146 mJ/cm ²)	1	1
10.56	2	1	1
12.48	-	1	1
14.40	-	1	1
16.32	-	1	1
18.24	-	1 (154 mJ/cm ²)	1
20.16	-	2	1
22.08	-	-	1
24.00	-	-	1
25.92	-	-	1

ก.6 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร T สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1	1	1
8.64	1	1	1
10.56	1	1	1
12.48	1 (96 mJ/cm ²)	1	1
14.40	2	1	1
16.32	-	1	1
18.24	-	1	1
20.16	-	1	1
22.08	-	1	1
24.00	-	1	1
25.92	-	1	1

ก.7 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร U สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1	1	1
8.64	1	1	1
10.56	1	1	1
12.48	1	1	1
14.40	1	1	1
16.32	1	1	1
18.24	1	1	1
20.16	1	1	1
22.08	1 (52 mJ/cm ²)	1	1
24.00	2	1	1
25.92	-	1	1

ก.8 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร X สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1	1	1
8.64	1	1	1
10.56	1 (106 mJ/cm ²)	1	1
12.48	2	1	1
14.40	-	1	1
16.32	-	1	1
18.24	-	1	1
20.16	-	1	1
22.08	-	1	1
24.00	-	1	1
25.92	-	1	1

ก.9 จำนวนรอบที่สารเคลือบผิวสูตร Y สามารถแห้งตัวได้เมื่อผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเร็วสายพาน (m/min)	กำลังไฟที่ใช้ Low	กำลังไฟที่ใช้ Medium	กำลังไฟที่ใช้ High
4.80	1	1	1
6.72	1	1	1
8.64	1	1	1
10.56	1	1	1
12.48	1	1	1
14.40	1	1	1
16.32	1	1	1
18.24	1 (63 mJ/cm ²)	1	1
20.16	2	1	1
22.08	-	1	1
24.00	-	1	1
25.92	-	1	1

ภาคผนวก ข

การทดสอบการสมบัติของสารเคลือบผิว

ข.1 การทดสอบความอ่อนตัวของฟิล์ม

สูตร	ความอ่อนตัว (เส้นผ่านศูนย์กลาง,mm)			
	1	2	3	เฉลี่ย
F	3	3	3	3
J	3	3	3	3
G	3	3	3	3
K	3	3	3	3
H	3	3	3	3
L	3	3	3	3
M	3	3	3	3
T	3	3	3	3
X	3	3	3	3
U	3	3	3	3
Y	3	3	3	3
V	3	3	3	3
Z	3	3	3	3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 สมบัติความติดแน่นของสารเคลือบผิว

สูตร	ความติดแน่น			
	1	2	3	เฉลี่ย
F	3B	3B	3B	3B
J	3B	3B	3B	3B
G	2B	2B	2B	2B
K	2B	2B	2B	2B
H	0B	0B	0B	0B
L	0B	0B	0B	0B
M	0B	0B	0B	0B
T	3B	3B	3B	3B
X	3B	3B	3B	3B
U	1B	1B	1B	1B
Y	1B	1B	1B	1B
V	0B	0B	0B	0B
Z	0B	0B	0B	0B

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 การทดสอบสมบัติความทนต่อแรงกระแทก

สูตร	ความทนต่อแรงกระแทก (นิวตัน)			
	1	2	3	เฉลี่ย
F	4	4	4	4
J	4	4	4	4
G	4	4	4	4
K	4	4	4	4
H	25	25	25	25
L	24	24	24	24
M	112	112	112	112
T	4	4	4	4
X	4	4	4	4
U	32	32	32	32
Y	16	16	16	16
V	100	100	100	100
Z	96	96	96	96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.4 การทดสอบสมบัติความทนความแข็งด้วยวิธีชูดขีด

สูตร	ความแข็ง (กรัม)			
	1	2	3	เฉลี่ย
F	100	100	100	100
J	100	100	100	100
G	150	150	150	150
K	150	150	150	150
H	170	170	170	170
L	170	170	170	170
M	190	210	200	200
T	500	500	500	500
X	495	490	485	490
U	200	200	200	200
Y	305	300	295	300
V	150	150	150	150
Z	150	150	150	150

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิชญนันท์ ภู่เพียงใจ เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้น จึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นของปีการศึกษา 2546 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2549 รวมระยะเวลาในการศึกษา 4 ปี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย