

การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่ง/น้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่ง/น้ำมันสนคู่คำ

นายสันต์ ประดิษฐ์วัฒนกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM CASTOR OIL/PALM OIL AND CASTOR OIL/PHYSIC NUT OIL

Mr Sun Praditvatanakit

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

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

สัณห์ ประดิษฐ์วิวัฒน์กิจ: การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่ง/น้ำมันปาล์มและ
น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันสบู่ดำ (SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM CASTOR
OIL/PALM OIL AND CASTOR OIL/PHYSIC NUT OIL) อ. ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์
หลัก: รศ.อรอุษา สรวารี, 107 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำหรือน้ำมันลินสีด นำมาทำปฏิกิริยากับ
น้ำมันละหุ่งและโพลีอินไดไฮโดรไซยาเนต ที่อัตราส่วนโดยโมเลกุลระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่
ไฮโดรไซยาเนต เท่ากับ 1:0.8 ทั้งที่ใช้และและไม่ใช้เมทานอลเป็นสารบดล็อก ได้เป็นยูรีเทนออยล์
นำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่งมาวิเคราะห์ และทดสอบสมบัติเปรียบเทียบกับ
คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ และยูรีเทนออยล์ทางการค้า จากการทดลองพบว่า การสังเคราะห์
ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่งจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่าการสังเคราะห์จากกลีเซอรอล
โดยยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลือง และยูรีเทนออยล์ที่
สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งมีความหนืดต่ำกว่าและใช้เวลาในการแห้งตัวนานกว่าคอนเว็นชันนอล
ยูรีเทนออยล์ ซึ่งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันปาล์มใช้เวลาในการแห้งเป็นฟิล์มนานที่สุด
และที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันลินสีดใช้เวลาในการแห้งน้อยที่สุด นอกจากนี้ ยังพบด้วยว่า เมื่อใช้
เมทานอลเป็นสารบดล็อกจะทำให้ยูรีเทนออยล์แห้งตัวเป็นฟิล์มเร็วขึ้น

จากการทดสอบสมบัติและเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า พบว่ายูรีเทนออยล์ที่
สังเคราะห์ได้มีความหนืดต่ำกว่าและใช้เวลาในการแห้งตัวนานกว่า สำหรับสมบัติของฟิล์ม พบว่า
ส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือฟิล์มมีความติดแน่น ความอ่อนตัว ความทนทานต่อแรงกระแทก
ความทนน้ำ และความทนกรดดีเยี่ยม อย่างไรก็ตาม ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์มีความแข็งและ
ทนต่างต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า โดยยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่งมีความ
ทนต่างต่ำที่สุด

ภาควิชา..... วัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..... 2552.....

#5072504223: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS: URETHANE OIL / CASTOR OIL / PALM OIL / JATROPHA OIL

SUN PRADITVATANAKIT: SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM CASTOR OIL/PALM OIL AND CASTOR OIL/PHYSIC NUT OIL. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. ONUSA SARAVARI, 107 pp.

Palm oil, physic nut oil or linseed oil was reacted with castor oil and toluene diisocyanate to obtain urethane oils at hydroxyl to isocyanate ratio of 1:0.8 with and without methanol acting as a blocking agent. The synthesized urethane oils were characterized and their properties were determined and compared with those of the conventional and commercial urethane oils. It was found that the reaction time of urethane oil preparation using castor oil was longer than that of using glycerol. All the synthesized urethane oils were yellowish viscous liquids. The castor oil-based urethane oils had lower viscosity and took longer time to dry than the conventional urethane oils. Using palm oil in urethane oil preparation resulted in longest drying time while the drying time of the urethane oil prepared from linseed oil was shortest. It was also found that the presence of a blocking agent resulted in shorter drying time.

Compared to the commercial urethane oil, all the synthesized urethane oils had lower viscosity and took longer time to dry. The film properties of all the synthesized urethane oils were comparable to those of the commercial urethane oil. The films exhibited excellent adhesion, flexibility, impact resistance, and water and acid resistance. However, the films of the synthesized urethane oils had lower hardness and alkali resistance than those of the commercial urethane oil whereas the castor oil-based urethane oils had poorest alkali resistance.

Department: Materials Science Student's Signature

Field of Study: Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพราะได้รับความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความช่วยเหลือและคำแนะนำทางวิชาการอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนาม ต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ อรุณา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ การแก้ไขปัญหา การสนับสนุนทุนในการวิจัย รวมทั้งการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยและให้คำแนะนำอย่างดีเสมอมา
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริธน์วี เจียมศิริเลิศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
4. รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักกิจ และ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขรูปเล่ม
5. คุณพีรียา คมสาคร ที่ให้คำแนะนำและการแก้ปัญหาอย่างดียิ่งโดยเสมอมา
6. บริษัท สยามเคมีคัลอินดัสตรี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุดิบในการทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง GPC
7. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรควิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 สารเคลือบผิว.....	3
2.1.1 วัตถุประสงค์ของสารเคลือบผิว.....	3
2.1.2 ประเภทของสารเคลือบผิว.....	4
2.1.3 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว.....	4
2.1.4 การเกิดฟิล์ม.....	5
2.1.5 การแห้งของสารเคลือบผิว.....	6
2.2 สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	7
2.2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	7
2.2.1.1 ไอโซไซยานาต.....	7
2.2.1.2 พอลิฮอล.....	8
2.2.1.3 สมบัติของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	8
2.2.2 ประเภทสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	9
2.3 ยูรีเทนออยล์.....	10
2.3.1 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	11
2.3.1.1 น้ำมัน.....	11
2.3.1.2 ไดไอโซไซยานาตและพอลิฮอล.....	25
2.3.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	26

บทที่	หน้า
2.3.3 สมบัติและการใช้งานของยูรีเทนออยล์.....	27
3. การทดลอง.....	30
3.1 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	30
3.1.1 สารเคมี.....	30
3.1.2 อุปกรณ์.....	32
3.1.3 เครื่องทดสอบ.....	32
3.1.4 วิธีการทดลอง.....	34
3.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันและยูรีเทนออยล์.....	37
3.2.1 การทดสอบสมบัติของน้ำมันและยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว.....	37
3.2.1.1 ความหนืด.....	37
3.2.1.2 ค่าของกรด.....	38
3.2.1.3 สี.....	38
3.2.1.4 ความสามารถในการละลาย.....	38
3.2.1.5 ระยะเวลาในการแห้งตัว.....	39
3.2.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์.....	40
3.2.2.1 ความแข็ง.....	40
3.2.2.2 ความทนทานต่อแรงกระแทก.....	41
3.2.2.3 ความอ่อนตัว.....	42
3.2.2.4 ความติดแน่น.....	43
3.2.2.5 ความทนน้ำ.....	45
3.2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับ ยูรีเทนออยล์ทางการค้า.....	45
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
4.1 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	46
4.1.1 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นตอนที่หนึ่งของการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	46
4.1.1.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี.....	46
4.1.1.2 การทดสอบการละลายในเอทานอล.....	50

บทที่

4.1.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิคFT-IRสเปกโทรสโกปี	52
4.1.2.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จาก น้ำมันผสม	52
4.1.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์	60
4.1.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์	61
4.1.4.1 การทดสอบสมบัติในสถานะของเหลว	61
4.1.4.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์	68
4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่ง คอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์ และยูรีเทนออยล์ทางการค้า	71
4.2.1 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว	71
4.2.2 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะฟิล์มแห้ง	72
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	75
5.1 สรุปผลการทดลอง	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	76
รายการอ้างอิง	77
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก	80
ภาคผนวก ข	94
ภาคผนวก ค	103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	13
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม	16
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม.....	16
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดสบูดำ.....	17
ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีน้ำมันสบูดำ.....	18
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของพอลิออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	25
ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่งสูตรต่างๆ.....	35
ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์คอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ.....	36
ตารางที่ 3.3 การจัดลำดับความบกพร่องของฟิล์มจากการกรีดเป็นตาราง.....	44
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอลกับ น้ำมันปาล์มน้ำมันสบูดำ หรือน้ำมันลินสีด.....	50
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	51
ตารางที่ 4.3 น้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง.....	60
ตารางที่ 4.4 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว.....	62
ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของยูรีเทนออยล์.....	65
ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์.....	66
ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ปรับปรุงด้วยยูรีเทนออยล์ทางการค้า.....	67
ตารางที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของฟิล์มยูรีเทนออยล์.....	68
ตารางที่ 4.9 สมบัติความหนา ทนกรด และทนด่างของฟิล์มยูรีเทนออยล์.....	70
ตารางที่ 4.10 สมบัติในสถานะของเหลวของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับ ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์ สูตรที่บดด้วยเมทานอล.....	72
ตารางที่ 4.11 สมบัติในสถานะฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับ ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์ สูตรที่บดด้วยเมทานอล.....	74

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลปาล์มน้ำมัน.....	15
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันภายในโมเลกุล และปฏิกริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโมเลกุล.....	24
รูปที่ 3.1 พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	32
รูปที่ 3.2 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟ รุ่น Shimazu GPC 10 A.....	33
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	36
รูปที่ 3.4 มาตรฐานวัดความหนืดแบบบรู๊กฟิลด์.....	37
รูปที่ 3.5 สารละลายการ์ดเนอร์.....	38
รูปที่ 3.6 แอปพลิเคเตอร์.....	40
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขีด.....	41
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก.....	42
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย.....	42
รูปที่ 3.10 Cross Hatch Cutter.....	43
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันลินสีด และน้ำมันละหุ่ง/น้ำมันลินสีด.....	47
รูปที่ 4.2 ปฏิกริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันละหุ่งกับน้ำมันปาล์ม.....	48
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง กลีเซอรอล น้ำมันปาล์ม และมอนอและ ไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม.....	49
รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และ ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากมอนอและไดกลีเซอไรด์.....	52
รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และน้ำมันปาล์ม เปรียบเทียบระหว่าง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง.....	54
รูปที่ 4.6 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง.....	55

รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมของคอนเวนท์ชันนอลยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีด เปรียบเทียบระหว่าง สูตร Con Linseed และสูตร Con Linseed -Block.....	56
รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์เปรียบเทียบระหว่าง สูตร Palm-Block สูตร Con Palm-Block และสูตร Commercial.....	57
รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์เปรียบเทียบระหว่าง สูตร Palm สูตร Con Palm และสูตร Commercial	59
รูปที่ 4.10 สีและลักษณะของยูรีเทนออยล์สูตรต่าง ๆ.....	64

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมสารเคลือบผิวเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้มีการนำน้ำมันจากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันถั่ว น้ำมันลินสีด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันละหุ่ง มาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งน้ำมันจะช่วยให้เพิ่มความอ่อนตัวและลดความเปราะของฟิล์ม หรือช่วยปรับปรุงสมบัติการละลายของสารเคลือบผิว ทั้งนี้การนำน้ำมันแต่ละชนิดมาใช้เป็นองค์ประกอบในสารเคลือบผิวให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคลือบผิว

ยูรีเทนออยล์เป็นที่นิยมอย่างมากในการทำเป็นวารนิชเคลือบพื้น เนื่องจากมีสมบัติเด่นในด้านการทนทานต่อการขีดสี ความเหนียว และทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศเป็นอย่างดี สมบัติดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่มีหมู่มีซี้อย่างมากในสายโซ่พอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่อะมิโนซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้กับผิววัสดุที่เคลือบและกับออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอนิลในตัวมันเอง นอกจากนี้พันธะยูรีเทนยังเกิดไฮโดรไลซิสได้ยาก ทำให้ทนทานต่อสารเคมี ตัวทำละลาย และความชื้นได้ดี และที่สำคัญคือสามารถเกิดการแห้งตัวได้อย่างรวดเร็วที่ภาวะปกติ โดยฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ได้จะมีความแข็งแต่อ่อนตัวไม่เปราะ มีความเงา และมีความทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายได้ดี

ยูรีเทนออยล์เป็นสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทนประเภทที่ดัดแปรด้วยน้ำมัน สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตหรือพอลิไอโซไซยาเนตกับกลีเซอไรต์ที่ได้จากกระบวนการแอลกอฮอล์ซิสของน้ำมัน ลักษณะของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ได้ขึ้นกับธรรมชาติของน้ำมัน พอลิแอลกอฮอล์และไดไอโซไซยาเนตที่ใช้ในการผลิต ซึ่งโดยทั่วไปการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จะใช้อัตราส่วนระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตต่อหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่า 1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร และป้องกันไม่ให้มีไอโซไซยาเนตตกค้างเหลืออยู่ โดยน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์จะเป็นตัวกำหนดสมบัติการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ เนื่องจากกลไกการแห้งตัวจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดทีฟพอลิเมอไรเซชันของพันธะคู่ที่อยู่ในสายโซ่โมเลกุลของน้ำมัน

สารพอลิแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการเตรียมยูรีเทนออยล์ได้แก่ กลีเซอรอลและเพนตะอริทริออล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม ซึ่งนับวันจะมีปริมาณน้อยลงและราคาสูงขึ้น ดังนั้น การใช้สารอื่นที่สามารถหาได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ทดแทนสารพอลิแอลกอฮอล์จากปิโตรเลียม จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ยกตัวอย่างเช่นการใช้น้ำมันละหุ่งซึ่งประกอบด้วยปริมาณของกรดไขมันในเชิง

มาก โดยกรดชนิดนี้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุล จึงทำให้น้ำมันละหุ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่างๆได้มากมาย เช่น ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน เป็นต้น โดยหมู่ไฮดรอกซิลนี้สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตได้เป็นพอลิยูรีเทน

วัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมยูรีเทนออยล์ ได้แก่ น้ำมัน โดยน้ำมันที่ใช้จะต้องมีความไม่อิ่มตัวเพื่อให้ยูรีเทนออยล์สามารถแห้งได้เองในอากาศ โดยน้ำมันที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่น้ำมันลินสีดและน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งปริมาณการผลิตน้ำมันทั้งสองชนิดนี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการต่อการใช้ภายในประเทศ ดังนั้น การนำน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ประเทศไทยสามารถผลิตได้เกินความต้องการต่อการใช้ภายในประเทศ และน้ำมันสบู่ดำ ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ประเทศไทยส่งเสริมให้มีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลาย มาใช้ทดแทนน้ำมันลินสีดและน้ำมันถั่วเหลือง จะช่วยทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ น้ำมันทั้งสองชนิดนี้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ มีความสนใจที่จะศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์มและน้ำมันสบู่ดำ โดยนำน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันสบู่ดำมาทำปฏิกิริยากับน้ำมันละหุ่ง แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ โดยให้ทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนต แล้วนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ มาทดสอบสมบัติและเปรียบเทียบกับคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์ซึ่งสังเคราะห์จากกลีเซอรอลและยูรีเทนออยล์ทางการค้า

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 สารเคลือบผิว (Surface Coatings) [1]

สารเคลือบผิว หมายถึง วัสดุที่เมื่อเคลือบบาง ๆ ลงบนพื้นผิวใด ๆ แล้วจะเกิดเป็นฟิล์ม ซึ่งมีการยึดเกาะกันระหว่างสารเคลือบผิวด้วยตัวเองและระหว่างสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ต้องการเคลือบ

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

สารเคลือบผิวได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิวจากมลภาวะต่าง ๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขีดสี และช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น
2. เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังจากเคลือบผิวหน้าอาจมาจากสี (color) ความเงา (gloss) ลวดลายจากการตกแต่ง (texture) ความสว่าง (lighting) หรือจากปัจจัยหลายๆอย่างรวมกัน
3. เพื่อจุดประสงค์เฉพาะอย่างเช่น การทาสีทองเรือเพื่อกันสนหรือกันเพรียง การเคลือบใยแก้วนำแสง เพื่อกันรอยขีดข่วน การทาสีช่องแบ่งจราจร และการทาสีเครื่องบิน เป็นต้น

2.1.2 ประเภทของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สี (Paint) คือ สารที่มีส่วนผสมของผงสี (Pigment) สารยึด (Binder) หรือสิ่งนำสี (Vehicle) ตัวทำละลาย (Solvent) และสารเติมแต่ง (Additives)
2. วาร์นิช (Varnish) คือ สารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยึดเพียงอย่างเดียว
3. แล็กเกอร์ (Lacquer) คือ สารละลายซึ่งได้จากการนำเรซินหรือสารยึดมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

2.1.3 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. สารยึด (Binder)

สารยึดเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของสารเคลือบผิวทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ และทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ของสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน สารยึดส่วนใหญ่จะเป็นพวกพอลิเมอร์เรซิน การพิจารณาเลือกสารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงชนิดและคุณภาพของสารยึด เพราะฟิล์มของสารเคลือบผิวจะติดแน่นให้ความสวยงามทนทาน ขึ้นกับสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของสารยึด โดยสารยึดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าสารเคลือบผิวชนิดนั้นควรนำไปใช้งานประเภทใด

2. ตัวทำละลาย (Solvents)

เนื่องจากสมบัติความเป็นของเหลวของตัวทำละลาย จึงทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการไหลตัว และจะระเหยไปหลังจากที่ส่วนประกอบอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายมีหน้าที่ปรับความหนืด และช่วยในการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ ของสารเคลือบผิว ตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมีมากมายหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายชนิดใด จะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ต่อไปนี้

- (1) ความสามารถในการละลายสารยึด
- (2) กรรมวิธีในการเคลือบ เช่น การทาด้วยแปรงหรือลูกกลิ้ง และการพ่นด้วย air spray
- (3) อัตราความเร็วในการแห้งของฟิล์มสารเคลือบผิว
- (4) ความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น สารที่ระเหยออกมาจะต้องไม่เป็นพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

3. ผงสี (Pigment)

ผงสีเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเฉดสีและความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิว นอกจากนี้ ในบางกรณียังทำหน้าที่พิเศษอื่น ๆ เช่น เพิ่มความทนทานการกัดกร่อนหรือการทนไฟ ดังนั้นสารเคลือบผิวที่ดีต้องมีผงสีที่เหมาะสมกับสารเคลือบผิวประเภทนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวบางประเภทก็ไม่จำเป็นต้องใส่ผงสี เช่น วาร์นิชและแล็กเกอร์ เป็นต้น

4. สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่ง คือ สารผสมพิเศษที่ใส่ลงไปปริมาณเล็กน้อย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบผิวให้มีสมบัติพิเศษตามต้องการ ตัวอย่างของสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิว ได้แก่

- (1) พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ช่วยลดความเปราะและเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มและสารเคลือบผิวเมื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทนแรงกระแทกและแรงดัดโค้งได้ดีขึ้น
- (2) สารกันบูด (Bactericide) ส่วนใหญ่ใช้ในสีน้ำพลาสติก เพื่อป้องกันมิให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย
- (3) สารป้องกันเชื้อรา (Fungicide) ใช้ในสีน้ำพลาสติกและสีน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อรา
- (4) สารกันการเกิดฟอง (Defoamer) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิต การบรรจุและระหว่างการใช้งาน
- (5) สารข้น (Thickener) เพื่อปรับความข้นหนืดของสารเคลือบผิวทั้งในขณะที่อยู่ในภาชนะบรรจุและระหว่างการใช้งาน
- (6) สารเร่งแห้ง (Drier) ช่วยเร่งการแห้งของสารเคลือบผิว

2.1.4 การเกิดฟิล์ม (Film Formation)

การเกิดฟิล์ม เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุไปเป็นฟิล์มยึดติดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. แอพพลิเคชั่น (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ ขึ้น อาจทำการใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้
2. ฟิกเซชัน (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ การเกิดฟิล์มในขั้นตอนของฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้า

สารเคลือบผิวเป็นระบบลาเท็กซ์ (Latex system) ชั้นตอนฟิสิกส์จะเกิดโดยอาศัยการระเหยของน้ำ เป็นต้น

3. การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มซึ่งผ่านชั้นตอนฟิสิกส์แล้วมีความทนทานดีขึ้นซึ่งอาจทำได้โดยใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่มโดยอาศัยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ (enamel) ที่เป็นการนำพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตไปอบ ก็เป็นการบ่มอีกวิธีหนึ่ง

2.1.5 การแห้งของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไป สารเคลือบผิวจะแห้งโดยกรรมวิธีต่าง ๆ กันได้ 2 แบบ คือ

1. แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary bond) อย่างอ่อน ๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดขึ้นจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของสารเคลือบผิวนั้น ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ แล็กเกอร์ เป็นต้น

2. แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ยึดติดกับผิวหน้าโดยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะมีความแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย

การแห้งตัวโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้อาจเกิดโดย

2.1 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูออกซิเจนในอากาศ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดอนุภาคของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้นจนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิเดเรซิน เป็นต้น การแห้งตัวโดยวิธีการนี้อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง

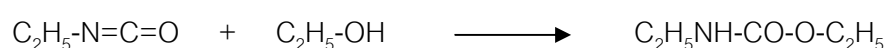
2.2 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกันก่อนใช้จึงต้องนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมกันแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สีเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน (urea resin) พอลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่าสารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving or baking coating)

2.2 สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน (Polyurethane Coating)

พอลิยูรีเทน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “พอลิคาร์บาเมต” เป็นอนุพันธ์เอสเทอร์แอมิดของกรดคาร์บาเมก ($R_2NHCOOH$) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารเคลือบผิว อีลาสโตเมอร์ เส้นใย หรือโฟมทั้งชนิดแข็งและยืดหยุ่น เป็นต้น

พอลิยูรีเทนสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง ได- หรือพอลิไอโซไซยาเนต และ ได- หรือพอลิไฮดรอกซิลแอลกอฮอล์ หรือสารประกอบอื่นๆ ที่มีไฮโดรเจนอะตอมที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล โดยอาศัยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบขั้น (step polymerization)

ในปี ค.ศ.1848 Wurth พบว่าเอทิลไอโซไซยาเนตสามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลแอลกอฮอล์ ได้เอทิลคาร์บาเมตซึ่งเรียกอีกอย่างว่า “ยูรีเทน” ดังสมการ



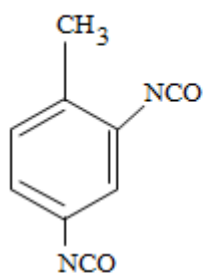
ในงานเคลือบผิว สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนสำหรับงานด้านการเคลือบผิว นั้น จะต้องต้องมีฟังก์ชันแนลลิตี (functionality) อย่างน้อยเท่ากับ 3 ซึ่งอาจได้มาจากปฏิกิริยาระหว่าง ไตรออลและไดไอโซไซยาเนต หรือ ระหว่างไดออลและไตรไอโซไซยาเนต แต่โดยทั่วไปมักให้ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลสูงกว่า

2.2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

2.2.1.1 ไอโซไซยาเนต (Isocyanates)

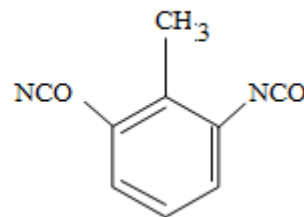
ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว ไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (tolylene diisocyanate; TDI) และเมทิลีนบิสฟีนิล-4,4'-ไดไอโซไซยาเนต (methylene bisphenyl-4,4'-diisocyanate; MDI) โดย TDI ผลิตได้ง่ายกว่าและมีราคาถูกกว่า

TDI ที่ผลิตในทางการค้ามี 2 ประเภทคือ TDI 80/20 และ TDI 60/40 ซึ่งตัวเลขที่ตามหลัง แสดงอัตราส่วนร้อยละของส่วนผสม 2,4- และ 2,6-isomers ตามลำดับ ดังสูตรโครงสร้าง



Toluene 2,4-diisocyanate

(2,4- TDI)



Toluene 2,6-diisocyanate

(2,6- TDI)

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมเคลือบผิวนิยมใช้ TDI 80/20 มากกว่า TDI 60/40 เนื่องจากหมู่ไอโซไซยาเนตในตำแหน่งที่ 4 มีความว่องไวมากกว่าในตำแหน่งที่ 6 [2]

2.2.1.2 พอลิออล (Polyols)

สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวและนิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน ได้แก่ กลีเซอรอล ไกลคอล ไตรเมทิลโพรเพน เพนตะอริทริทอล ฟีนอล พอลิไกลคอล พอลิอีเทอร์ พอลิเอสเทอร์ และอนุพันธ์ของซูโครส เป็นต้น [3]

2.2.1.3 สมบัติของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

สารเคลือบผิวที่ได้จากพอลิยูรีเทนมีสมบัติดังนี้ คือ

- (1) พันธะยูรีเทนเกิดไฮโดรลิซิสได้ยาก จึงทนต่อต่าง น้ำ และกรดได้ดี
- (2) फिल्मของพอลิยูรีเทนทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ โดยเฉพาะตัวทำละลายอะโรมาติก และคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน และยังทนต่อน้ำมัน
- (3) फिल्मที่ผ่านการบ่มเต็มที่แล้ว มีแรงยึดผิวหน้าดี มีความทนทานต่อการขีดถูสูง มีความเหนียวและทนทานต่อลมฟ้าอากาศ
- (4) สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน ซึ่งมีอะโรมาติกไอโซไซยาเนตเป็นองค์ประกอบ มักจะเหลืองได้ง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต และเหลืองง่ายขึ้นถ้าโมเลกุลมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวซึ่งสามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์กับออกซิเจนได้ เชื่อกันว่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดส์หมู่ อะโรมาติกทำให้เกิดเป็นสารสีเหลือง

2.2.2 ประเภทของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

สารเคลือบผิวจากพอลิยูรีเทนสามารถจำแนกได้เป็น 5 ชนิด คือ

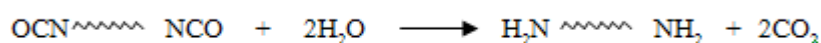
1. ยูรีเทนออยล์ หรือ ยูรัลคิิด (Urethane Oil or Urakyd; ASTM Type1)

เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับกลีเซอไรด์ที่ได้จากกระบวนการแอลกอฮอล์ซิสของน้ำมัน

2. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบปมด้วยความชื้น (One-pack Moisture Cured Urethane; ASTM Type 2)

ประกอบด้วยพรีพอลิเมอร์ซึ่งมีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ พรีพอลิเมอร์ที่ใช้ทั่วไปคือ พอลิอีเทอร์ที่ปลายโซ่เป็นหมู่ไอโซไซยาเนต กลไกการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนชนิดนี้ คือ น้ำจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดเป็นหมู่อะมิโน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไอโซไซยาเนตที่มีอยู่ในพรีพอลิเมอร์เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเดิม

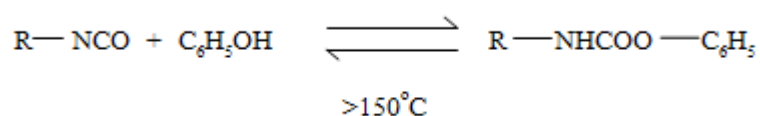
ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะระเหยออกไปพร้อมตัวทำละลาย ดังสมการ



พอลิยูรีเทนชนิดนี้ต้องการความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อยที่สุด 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20°C จึงจะเกิดการปมได้รวดเร็วพอเพียง

3. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบอบ (One-pack Urethane Stoving Systems; ASTM type 3)

การเตรียมพอลิยูรีเทนชนิดนี้ ทำได้โดยการปิด (block) หมู่ไอโซไซยาเนตด้วยฟีนอล ซึ่งทำให้เกิดฟีนิลยูรีเทน (phenyl urethane) ที่ไม่เสถียรและจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C เกิดเป็นหมู่ไอโซไซยาเนตขึ้นมาใหม่ ดังนี้



หมู่ไฮโซไซยานาตที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเอสเทอร์ที่ใส่รวมอยู่ด้วยและขณะเดียวกัน ฟีนอลที่เกิดขึ้นจะระเหยไป ถ้าอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C

4. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วนที่แบบบ่มด้วยความชื้นและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Two-pack Moisture Cured Urethane Plus Catalyst; ASTM Type 4)

ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮโซไซยานาตอิสระกับความชื้น โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กัน คือ เมทิลไดเอทานอลแอมีน

5. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วน (Two-pack Polyisocyanate Plus Polyol; ASTM Type 5)

ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮโซไซยานาตอยู่ที่ปลายโซ่กับพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโซ่ พอลิยูรีเทนชนิดนี้มีจุดอ่อน คือผสมแล้วต้องใช้งานให้หมด มิฉะนั้นถ้าเหลือจะแข็งตัว [4]

2.3 ยูรีเทนออยล์ (Urethane Oil)

ยูรีเทนออยล์หรือยูรัลคิด จัดเป็นพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรด้วยน้ำมัน สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไฮโซไซยานาตกับกลีเซอไรต์ที่ได้จากกระบวนการแอลกอฮอล์ซิสของน้ำมัน

ยูรีเทนออยล์ สามารถพิจารณาเป็นอัลคิดเรซินได้เมื่อแทนที่ไดไฮโซไซยานาตด้วยฟทาสิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งอัลคิดเรซินเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแอนไฮไดรด์กับกลีเซอไรต์ที่ได้จากกระบวนการแอลกอฮอล์ซิสของน้ำมัน

ลักษณะของฟิล์มยูรีเทนออยล์ขึ้นกับธรรมชาติของน้ำมัน พอลิออล และไดไฮโซไซยานาตที่ใช้ในการผลิต โดยทั่วไป การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ มักจะใช้อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮโซไซยานาตต่อหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่า 1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร และป้องกันไม่ให้เกิดไฮโซไซยานาตเหลืออยู่ [3]

2.3.1 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

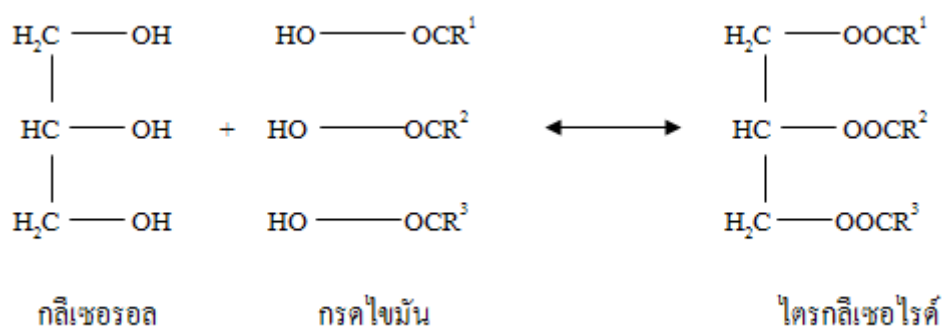
2.3.1.1 น้ำมัน

น้ำมัน ถูกใช้เป็นสารยึดในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันการนำน้ำมันเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยึดมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ยังมีการใช้ไขมันเป็นส่วนผสมของวารนิชหรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อื่น เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์ม หรือ ช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น

น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ น้ำมันจากพืช (vegetable oil) และน้ำมันจากทะเล (marine oil) ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันปลา (fish oil)

องค์ประกอบของน้ำมัน

น้ำมัน เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กล่าวคือ เป็นไตรเอสเทอร์ (trimer) ของกลีเซอรอล (glycerol) กับกรดไขมัน (fatty acid) ดังนี้



$R^1, R^2, R^3 =$ โซ่ของกรดไขมัน (C_9-C_{22})

กรดไขมัน

สมบัติของน้ำมัน จะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้าง เนื่องจากในโมเลกุลของน้ำมันมีปริมาณของกรดไขมันมากถึง 95% กรดไขมันเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิกต่ออยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 9-22 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม

กรดไขมันแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล คาร์บอนอะตอมทุกอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลจะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีสมบัติไม่แข็งตัว เนื่องจากไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งพันธะคู่ได้
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลตั้งแต่ 1 พันธะเป็นต้นไป น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงจะสามารถแข็งตัวได้เอง เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศที่ตำแหน่งพันธะคู่ได้ และตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป ถ้ามีพันธะเดี่ยวคั่นอยู่ระหว่างพันธะคู่ เรียกพันธะคู่แบบนี้ว่า พันธะคู่สลับเดี่ยว (conjugated double bond) แต่ถ้าตำแหน่งของพันธะคู่และพันธะเดี่ยวไม่สลับกัน เรียกพันธะคู่แบบนี้ว่า พันธะคู่แบบห่าง (isolated double bond) โดยพันธะคู่สลับเดี่ยว จะเกิดปฏิกิริยาและแข็งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่แบบห่าง

โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆแสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	สูตรโครงสร้าง
กรดไขมันอิ่มตัว	
กรดคาโปรอิก (Caproic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
กรดคาปริลิก (Caprylic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
กรดคาปริก (Capric)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
กรดลอริก (Lauric)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
กรดไมริสติก (Myristic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
กรดสเตียริก (Stearic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
กรดอะราซิดิก (Arachidic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
กรดโอเลอิก (Oleic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดลิโนเลนิก (Linolenic)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดอีลีโอสเตียริก (Eleostearic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดลิคานิก (Licanic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
กรดริซินโอเลอิก (Ricinoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CHOCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดปาล์มมิโตเลอิก (Palmitoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดพารินาริก (Parinaric)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)$ $\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

ชนิดของน้ำมัน

ถ้าพิจารณาตามสมบัติการแห้งตัว สามารถแบ่งชนิดของน้ำมันได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. น้ำมันแห้งเร็ว (Drying Oil) เป็นน้ำมันที่แห้งเร็วที่สุด กล่าวคือ เป็นน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลมาก ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ จึงจะสามารถที่จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนอากาศได้ดี เปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นฟิล์มที่แห้งแข็งได้ ตัวอย่างของน้ำมันแห้งเร็ว ได้แก่ น้ำมันทัง (Tung Oil) และน้ำมันลินสีด (Linseed Oil) เป็นต้น
2. น้ำมันแห้งช้า (Semi-Drying Oil) เป็นน้ำมันที่แห้งตัวได้ แต่ช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว เนื่องจากประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ ตัวอย่างของน้ำมันแห้งช้า ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil) น้ำมันทอลล์ (Tall Oil) น้ำมันละหุ่งที่ถูกขจัดน้ำออก (Dehydrated Castor Oil) น้ำมันทานตะวัน (Sunflower Oil) และน้ำมันดอกคำฝอย (Safflower Oil) เป็นต้น
3. น้ำมันไม่แห้ง (Non-Drying Oil) เป็นน้ำมันที่ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้จะประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มักนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดในแลกเกอร์ ตัวอย่างของน้ำมันไม่แห้ง ได้แก่ น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil) เป็นต้น

โดยทั่วไป ปริมาณพันธะคู่หรือความอิ่มตัวของน้ำมัน สามารถวัดได้จากค่าไอโอดีน (iodine value) น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีพันธะคู่อยู่มาก ดังนั้นจึงสามารถแห้งตัวได้ในอากาศเร็วกว่าน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำ [3]

สำหรับน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ นิยมใช้น้ำมันชนิดแห้งเร็วและน้ำมันแห้งช้า ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแห้งตัวได้เองในอากาศ

น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) [5-7]

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่ได้มาจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชในตระกูล Palmae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis Guineeses* Jacq. เป็นพืชที่อยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีฝนตกชุก การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของโลกจึงจำกัดอยู่ในเขตที่ราบต่ำของภูมิภาคแถบเส้นศูนย์สูตรที่มีความชื้นสูง ซึ่งอยู่ในช่วงละติจูด 20 องศาเหนือ-ใต้ เป็นที่ราบใกล้ฝั่งทะเล เนื้อดินสมบูรณ์และไม่มีน้ำขัง ดินจะต้องมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ ถ่ายเทอากาศได้ดี เช่น ดินเหนียวปนทราย

ผลปาล์มน้ำมัน (รูปที่ 2.1) ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อของผล (pericarp) และส่วนที่เป็นเมล็ดซึ่งมีเนื้ออยู่ข้างในเมล็ด (palm kernel) ซึ่งต่างก็สามารถให้น้ำมันปาล์มออกมาได้ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของน้ำมันปาล์มได้ 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) สกัดได้จากส่วนเปลือกสดหรือเนื้อผลของผลปาล์ม น้ำมัน
2. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Crude palm kernel oil) สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์ม น้ำมัน

โดยที่ปริมาณน้ำมันในเนื้อขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพดินฟ้าอากาศ การดูแลบำรุงรักษา และกรรมวิธีในการสกัด แต่โดยเฉลี่ยตามมาตรฐานสากลแล้ว เนื้อของผลปาล์มจะมีปริมาณน้ำมันอยู่ร้อยละ 45-50 ซึ่งในขณะนี้ ทั่วโลกมีการใช้เนื้อของผลปาล์มเพื่อสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ร้อยละ 60-80 และมีการใช้เมล็ดปาล์มสกัดน้ำมันปาล์มอยู่ร้อยละ 20-40



รูปที่ 2.1 ผลปาล์มน้ำมัน

สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มแสดงไว้ในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	Palm Kernel oil	Palm Oil
ค่าไอโอดีน	14-20	43-59
ค่าของกรด (น้ำมันดิบ)	20	15
ค่าสะปอนิฟิเคชัน	240-257	195-210
สารที่สะปอนิฟายไม่ได้ (%)	1	1
ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 25°C	0.900-0.913	0.893-0.905
ค่าดัชนีหักเหที่ 25°C	1.449-1.452	1.445-1.449

การสกัดน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์ม ทำได้โดยการอัดแบบไฮดรอลิกหรือใช้การเหวี่ยง ภายหลังจากการอบผลปาล์มในถังที่มีชั้นไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 95°C น้ำมันปาล์มดิบจะมีสีแดงเข้มอมส้ม ซึ่งเป็นสีของแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 0.03-0.15% สีของน้ำมันปาล์มจะถูกทำให้จางลงในขั้นตอนการฟอกสี

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

องค์ประกอบกรดไขมัน		(หน่วย : น้ำหนัก %)
กรดปาล์มมิติก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	17
กรดสเตียริก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	1
กรดโอเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)7\text{HC}=\text{CH}(\text{CH}_2)7\text{COOH}$	42
กรดลิโนเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)4\text{HC}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)7\text{COOH}$	40

น้ำมันสบู่ดำ (Physic Nut or Jatropha Oil) [8-9]

น้ำมันสบู่ดำ เป็นน้ำมันที่ได้มาจากเมล็ดสบู่ดำ โดยต้นสบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกา กลาง โดยชาวโปรตุเกสนำเข้ามาเมืองไทยนานกว่า 200 ปี ในปลายสมัยกรุงศรีอยุธยาเพื่อวัตถุประสงค์รับซื้อเมล็ดไปอัดบีบเอาน้ำมันสำหรับทำสบู่ น้ำมันสบู่ดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า (*Jatropha curcas*. Linn) อยู่ในตระกูล Euphorbiaceae ลักษณะทั่วไปเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาด กลางสูงประมาณ 2-7 เมตร มีอายุยืนไม่น้อยกว่า 20 ปีลำต้นและยอดคล้ายละหุ่งแต่ไม่มีขน ลำต้นเกลี้ยงเกลารอบอ้วนแต่อ่อนให้มือหักออกได้ง่ายเพราะเนื้อไม้ไม่มีแก่น ทนต่อความแห้งแล้ง ได้ดี ขึ้นในที่ดอนดินลูกรัง ถิ่นทุรกันดาร

องค์ประกอบและสมบัติของน้ำมันสบู่ดำ แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

องค์ประกอบกรดไขมัน		(หน่วย : น้ำหนัก %)
กรดปาล์มมิติก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	17
กรดสเตียริก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	1
กรดโอเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{HC}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	42
กรดลิโนเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{HC}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	40

ตาราง 2.5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมันสบูดำ

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะที่ 25 °C	0.9136
ดัชนีหักเหที่ 25 °C	1.4670
ค่าของกรด	4.80
ค่าสะaponิฟิเคชัน	197.13
ค่าไอโอดีน	97.08

น้ำมันลินสีด [1]

น้ำมันลินสีด เป็นน้ำมันที่ได้จากเมล็ดแฟลกซ์ (Flax) (*Linum usitatissimum L.*) ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดที่ปลูกเพื่อเอาใยลินิน (linin fiber) และที่ปลูกเพื่อเอาน้ำมันลินสีด

ต้นแฟลกซ์ เป็นพืชในเขตอบอุ่น ปลูกได้ทั้งในอินเดีย ออสเตรเลีย อูรุกวัย แคนาดา และรัสเซีย สำหรับประเทศไทย ได้เริ่มนำเข้ามาปลูกตั้งแต่ พ.ศ. 2525 ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ และได้ขยายพื้นที่การปลูกออกไปอีกหลายแห่ง ในที่ที่มีอากาศหนาวเย็น

ปริมาณของน้ำมันในเมล็ดแฟลกซ์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อากาศ ละส่วนประกอบของดิน เมล็ดแฟลกซ์ที่ปลูกในที่ร้อนจะมีน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนและปริมาณกรดลินินิกต่ำกว่าเมล็ดแฟลกซ์ที่ปลูกในที่หนาว และดินที่ใช้ปลูกถ้ามีปริมาณโปแตชและคลอรีนสูง จะทำให้น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงกว่าเมล็ดที่ปลูกด้วยดินที่มีปุ๋ยขาว และฟอสฟอรัสสูง

การสกัดน้ำมันลินสีดดิบ ทำได้โดยการนำเมล็ดแฟลกซ์ไปตากแห้ง แล้วเก็บไว้อีกระยะหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้การหีบได้ผลดีเมื่อเมล็ดสุกเต็มที่และมีน้ำไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ล้างเอาฝุ่นและสิ่งสกปรกออกให้หมด แล้วให้ผ่านเข้าไปในเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (roller mill) เพื่อกะเทาะเปลือกออก นำเมล็ดที่ได้กะเทาะเปลือกออกแล้วไปผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาซึ่งจะทำให้ผนังเซลล์แตกออก จากนั้น นำไปบีบในเครื่องบีบ (screw press) ซึ่งเรียกกันว่าเอกซ์เพลเลอร์

(expellers) ในขั้นนี้จะบีบน้ำมันออกมาได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากที่เหลืออาจเอาไปทำให้อ่อนแล้วบีบน้ำมันออกที่ความดันสูงก็ได้ แต่ส่วนมากมักเอาไปสกัดด้วยตัวทำละลายต่อ

สำหรับกากที่เหลือ จะมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณ 1-6 เปอร์เซ็นต์ แล้วแต่วิธีที่สกัดที่ใช้ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนรวมทั้งสารอื่น ๆ เช่น สารประกอบไนโตรเจนหรือพวกเศษโลหะ (trace metals) ปนอยู่ด้วย ซึ่งใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

น้ำมันดิบที่ได้จากการสกัดนี้จะขุ่น ไม่ใส เพราะมีพวกเมล็ดปนอยู่ด้วย ดังนั้น ก่อนที่นำไปใช้งานต้องนำไปกรองเสียก่อน

น้ำมันลินสีดจะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กัน ดังนี้

กรดปาล์มมิติก	6.72	เปอร์เซ็นต์
กรดสเตียริก	2.73	เปอร์เซ็นต์
กรดโอเลอิก	21.63	เปอร์เซ็นต์
กรดลิโนเลอิก	13.29	เปอร์เซ็นต์
กรดลิโนเลนิก	56.61	เปอร์เซ็นต์

โดยทั่วไปน้ำมันลินสีดดิบถ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะแข็งภายใน 4 วัน บางทีอาจถึง 10 วันก็ได้ถ้าปัจจัยหรือภาวะต่าง ๆ ไม่ดี หากต้องการให้แข็งเร็วขึ้น ต้องเติมสารเร่งแข็ง เช่น สารประกอบของแมงกานีส หรือโคบอลต์ลงไปด้วย

น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil) [10]

น้ำมันละหุ่ง เป็นน้ำมันที่ได้มาจากเมล็ดละหุ่ง (*Ricinus communis* L.) ละหุ่งเป็นพืช น้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของโลก เมล็ดละหุ่งประกอบด้วย ส่วนของเปลือกหุ้ม (shell) ที่ไม่มีน้ำมัน มีน้ำหนัก 20 –25 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อใน (kernel) ซึ่งมีสีขาว มีน้ำมัน 60 –65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นละหุ่งทั้งเมล็ดจึงมีปริมาณน้ำมัน 46 – 50 เปอร์เซ็นต์ ปกติภายในเมล็ดมีเอนไซม์ที่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยอีเทอร์ เอนไซม์นี้จะย่อยน้ำมันให้เป็นกรดไขมันอิสระ โดยที่ปริมาณกรดไขมันอิสระเกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันละหุ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด มีค่า pH 4.7 – 5.0 เป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและไม่สามารถหาน้ำชนิดอื่นมาทดแทน น้ำมันละหุ่งมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) และความหนืด (viscosity) สูงกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น

ส่วนประกอบของกรดไขมันที่สำคัญของน้ำมันละหุ่งคือ กรดริซิโนเลอิก 86 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก 6 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลอิก 2 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอิ่มตัวอีก 2 เปอร์เซ็นต์

การแบ่งประเภทของน้ำมันละหุ่ง สามารถแบ่งได้โดยใช้หลักการ 2 อย่าง ได้แก่ แบ่งตามสมบัติของน้ำมันและแบ่งตามวิธีการสกัดน้ำมัน

การแบ่งประเภทตามสมบัติของน้ำมันแบ่งออกได้ 5 ประเภท ดังนี้

1. เกรดยา ใช้ในอุตสาหกรรมทำยา เช่น ยาระบาย ยารักษาโรคอื่น ๆ และเครื่องสำอาง
2. เกรด extra pale ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง และครีมใส่ผม
3. เกรด pale press ใช้ในการทำจารบี ครีมขัดเงา ยาขัดรองเท้า อุตสาหกรรมทำสี และหมึกพิมพ์
4. เกรด no.1 ใช้ในการทำหนังเทียม น้ำยาเคลือบผิว และสิ่งทอ
5. เกรด commercial ใช้ในอุตสาหกรรมทำยางแท่ง กาวและพลาสติก

สำหรับการแบ่งประเภทตามวิธีการสกัด แบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. น้ำมันเกรด 1 ได้จากการสกัดโดยวิธี cold press ซึ่งเป็นการบีบอัดโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 90 –100 องศาฟาเรนไฮต์ ได้ปริมาณน้ำมัน 25 –35 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่สกัดได้จะใสไม่มีสี มีความเป็นกรดน้อย เหมาะต่อการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ยา

2. น้ำมันเกรด 2 เป็นน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีสีเข้มขึ้น ถ้าเป็นการสกัดโดยนำกากที่เหลือ (press cake) จากที่สกัดน้ำมันเกรด 1 จะได้น้ำมันเพียง 10 –20 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่สกัดได้นำไปผ่านไอน้ำเพื่อให้เอโนไซม์รวมกับสิ่งสกปรกต่าง ๆ และตกตะกอน แต่ถ้าทำการสกัดเป็นครั้งแรก จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่สกัดได้เป็นประเภท commercial crude oil มีชื่อเรียกว่า Firsts

3. น้ำมันเกรด 3 นำกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันเกรด 2 มาสกัดด้วยสารเคมี (solvent extraction) สารเคมีที่ใช้ได้แก่ คาร์บอนไดซัลไฟด์ หรือ อีเทอร์ น้ำมันที่ได้นำไปผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ถ้าทำการสกัดโดยใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาได้ปริมาณมากที่สุด

น้ำมันละหุ่งที่ได้จากการสกัดทั้งกระบวนการมีประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมล็ดละหุ่ง ที่เหลือเป็นกากประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นและสิ่งเจือปนอีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้

Ali M.A. และคณะ [11] ได้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตเรซินจากน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในงานเคลือบไม้ โดยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตพรีพอลิเมอร์ก่อน จากนั้น ทำให้เกิดการเชื่อมขวางด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อะคริเลตพอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่น การฟอก และการดับกลิ่นแล้ว และอะคริเลตพอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มดิบ สามารถใช้เคลือบไม้ได้ โดยพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ให้ฟิล์มที่มีความติดแน่น ความทนทานต่อการขีดขีด ความทนทานต่อตัวทำละลายและสารเคมีเท่ากัน แต่ฟิล์มพอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่น การฟอก และการดับกลิ่นแล้ว มีความแข็ง ความเงา และความต้านทานการขีดถูดีกว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันลินสีดมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้

Jacky M. และคณะ [12] ได้ศึกษาอิทธิพลของสารเร่งแห้งที่มีต่อการอบน้ำมันลินสีด โดยใช้สารเร่งแห้งโคบอลต์ 2- เอทิลเฮกซาโนเอต (Cobalt 2-Ethylhexanoate Drier) พบว่าการเติมสารเร่งแห้งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดเป็นฟิล์มแข็งได้เร็วขึ้น และฟิล์มที่ได้มีปริมาณของกรดคาร์บอกซิลิก คีโตน และแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันสบู่ดำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้

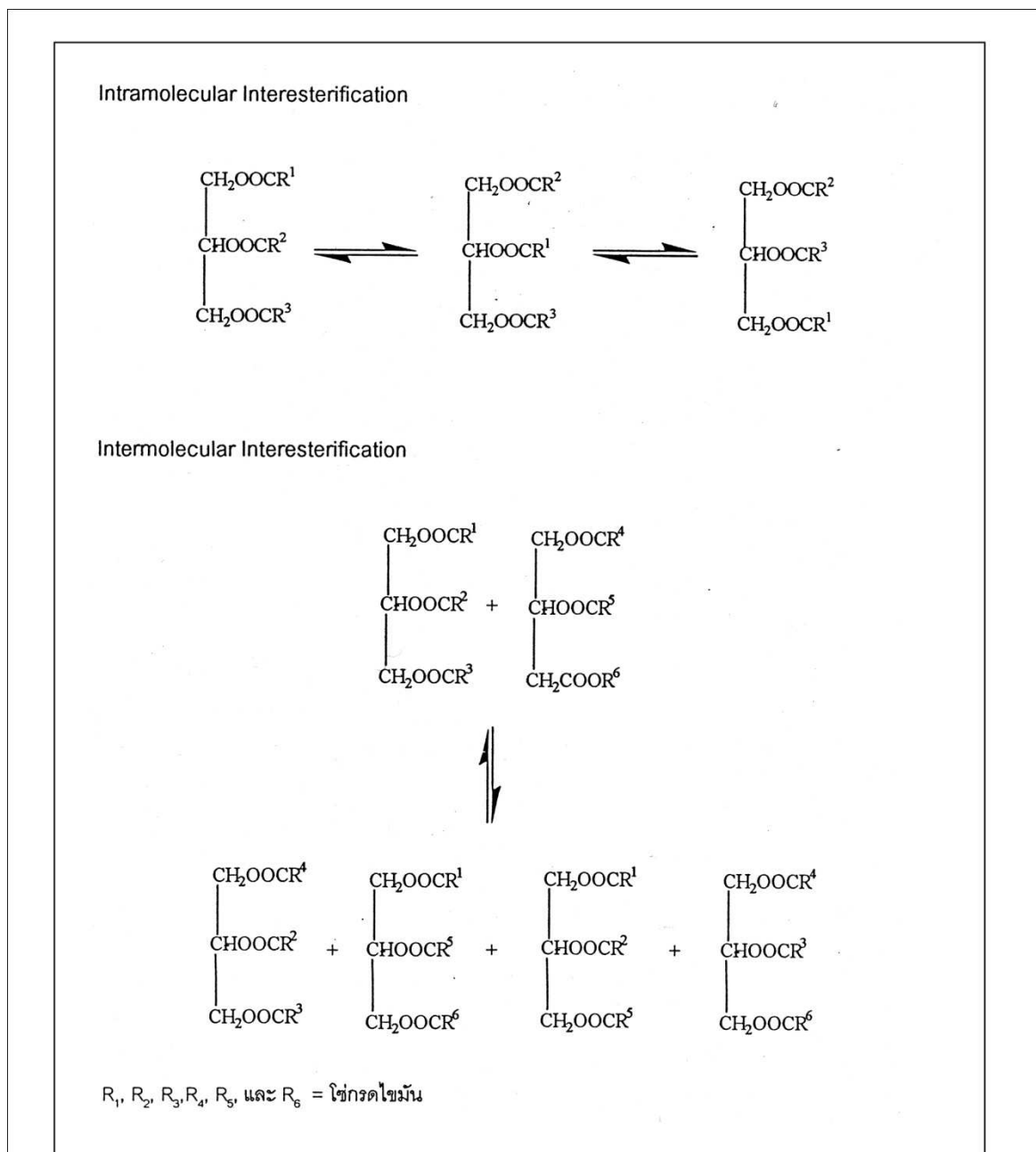
Pim-pahn M. และคณะ [13] ได้ศึกษาการผลิตอีพอกซีไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันสบู่ดำด้วยปฏิกิริยาอีพอกซีเดชัน เพื่อใช้ทดแทนวัสดุอีพอกซีจากปิโตรเลียม ในการศึกษา มีการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์อีพอกซีที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ทางการค้า และมีการทดลองใช้อีพอกซีไตรกลีเซอไรด์ เพื่อใช้ผลิตพอลิออล ซึ่งจะนำใช้ทดแทนสารประกอบอีพอกซีจากปิโตรเลียมในกระบวนการผลิตกาวเรซิน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอีพอกซีไตรกลีเซอไรด์สามารถเข้าร่วมกับสารประกอบอีพอกซีจากปิโตรเลียมในการผลิตกาวเรซิน ซึ่งแสดงว่าอีพอกซีไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันสบู่ดำสามารถเป็นทางเลือกใหม่สำหรับเกษตรกรผู้ปลูกสบู่ดำ และเป็นการส่งเสริมวัสดุทดแทน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันละหุ่งมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้

Kabasakal O.S. และคณะ [14] ทำการวิจัยโดยใช้น้ำมันละหุ่ง ซึ่งเป็นน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดตรีซิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในปริมาณสูง มาผลิตน้ำมันสไตรีนเตเตด ยูรีเทนออยล์และอัลคิดเรซิน โดยนำน้ำมันละหุ่งมาทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันลินสีดที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยใช้อุณหภูมิ 232°C เวลา 1 ชั่วโมง และใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้น นำน้ำมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันมาสังเคราะห์น้ำมันสไตรีนเตเตด โดยนำมาทำปฏิกิริยากับ 4,4'-อะโซบิส(4-ไซยาโนเพนตะโนอิกแอลคิลคลอไรด์) และสไตรีน รวมทั้งนำมาสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์โดยให้ทำปฏิกิริยากับโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต นอกจากนี้ ยังนำมาสังเคราะห์อัลคิดเรซิน โดยให้ทำปฏิกิริยากับฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัลคิดเรซินแห้งตัวช้าที่สุด ในขณะที่น้ำมันสไตรีนเตเตดมีความทนต้งสูงสุด ส่วนความอ่อนตัวและความติดแน่นของเรซินทั้ง 3 ชนิดดีมาก

ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Interesterification)

ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนตำแหน่งของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ โดยพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์จะแตกออกและเกิดการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของกรดไขมัน โดยอาจเกิดขึ้นภายในไตรกลีเซอไรด์ในโมเลกุลเดียวกันที่เรียกว่าปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันภายในโมเลกุล (intramolecular interesterification) หรือเกิดขึ้นกับไตรกลีเซอไรด์ 2 โมเลกุล ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโมเลกุล (intermolecular interesterification) ก็ได้ ซึ่งลักษณะการเกิดปฏิกิริยา แสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันภายในโมเลกุล และปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างโมเลกุล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมัน มีดังนี้

Saravari O., Phapant P. และ Pimpan V. [15] ได้สังเคราะห์สารยึดสูตรน้ำชนิดอะคริลิกอัลคิลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปรด้วยน้ำมันทั้ง โดยนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันกับน้ำมันทั้ง ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้น นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปรมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและอะคริลิกเรซินที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก และทำให้หมู่คาร์บอกซิลิกของอะคริลิก-อัลคิลเรซินเป็นกลางด้วยไดเอทานอลเอมีน ได้เป็นอะคริลิก-อัลคิลเรซินที่เจือจางได้ด้วยน้ำ โดยอะคริลิก-อัลคิลเรซินสูตรน้ำทุกสูตร มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลือง และสามารถแห้งเป็นฟิล์มได้โดยการอบที่อุณหภูมิ 190°C โดยระยะเวลาการแห้งตัวลดลงเมื่อปริมาณอะคริลิกเรซินเพิ่มขึ้น และเมื่อทดสอบสมบัติของฟิล์ม พบว่าอะคริลิก-อัลคิลเรซินทุกสูตรมีสมบัติทางกายภาพเท่ากับอัลคิลเรซินทางการค้า มีความทนน้ำและกรดดีเยี่ยม ในขณะที่ความทนต่างของฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะคริลิกเพิ่มขึ้น

2.3.1.2 ไดไอโซไซยาเนตและพอลิออล

ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ คือ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (tolylene diisocyanate; TDI) ส่วนพอลิออลที่ใช้มีหมู่ฟังก์ชันตั้งแต่ 2-6 ดังแสดงในตาราง 2.6

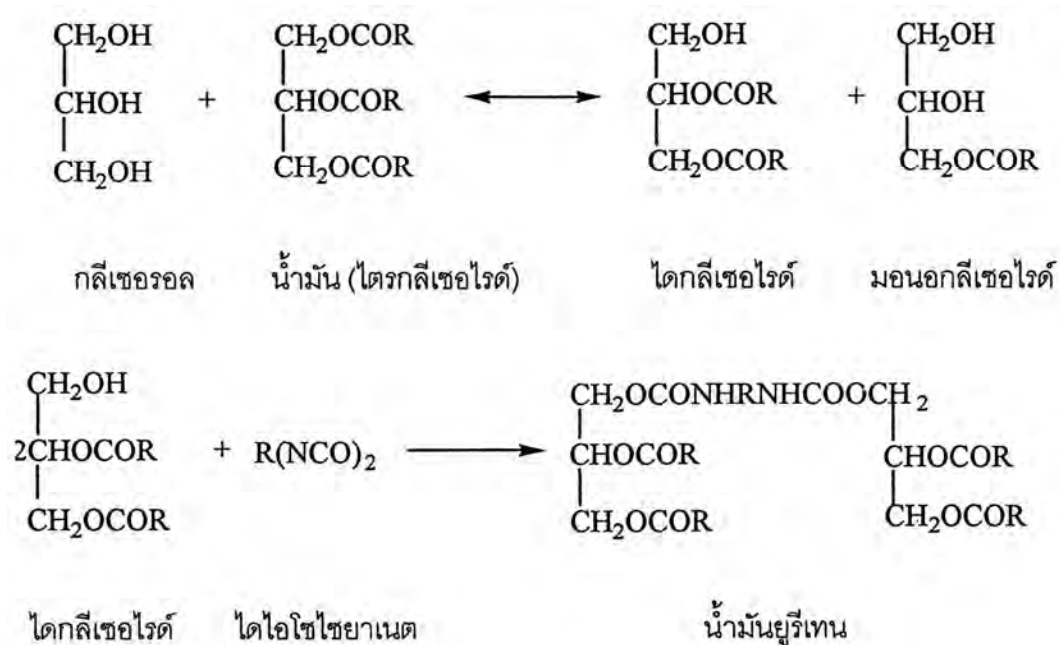
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของพอลิออลที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

Name	Structure	Functionality
Ethylene glycol	$\text{HOC}_2\text{H}_4\text{OH}$	2
Diethylene glycol	$\text{HOC}_2\text{H}_4\text{OC}_2\text{H}_4\text{OH}$	2
Propylene glycol	$\text{H}_3\text{CCHCH}_2\text{OH}$ OH	2
Glycerine	$\text{HOCH}_2\text{CHCH}_2\text{OH}$ OH	3
Trimethylolethane	$\text{H}_3\text{CC}(\text{CH}_2\text{OH})_3$	3
Trimethylolpropane	$\text{C}_2\text{H}_5\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_3$	3
Pentaerythritol	$\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$	4
Sorbitol	$\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$ OH OH	6

2.3.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

ยูรีเทนออยล์ สามารถสังเคราะห์ได้จากการนำสารผสมระหว่างน้ำมันและพอลิออลมาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 230-245°C น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสเปลี่ยนจากสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไดกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์ แล้วให้ทำปฏิกิริยาต่อไปกับโทลูอินไดไอโซไซยาเนตที่อุณหภูมิ 60-80°C โดยหมู่ไฮดรอกซิลในไดกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์จะเกิดปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนต ได้เป็นพันธะยูรีเทน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำมันกับไตรออลและไดไอโซไซยาเนตในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ สามารถแสดงได้ดังนี้ [16]



2.3.3 สมบัติและการใช้งานของยูรีเทนออยล์

ยูรีเทนออยล์ เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในงานวารนิชเคลือบพื้น เนื่องจากมีสมบัติที่ดี และเหมาะสมอยู่หลายประการ คือ

1. ทนต่อการขีดถู
2. ทนต่อสารเคมี และตัวทำละลาย
3. มีความอ่อนตัว ไม่เปราะ
4. มีความแข็ง
5. ทนต่อความชื้น
6. รักษาความเงาของฟิล์มได้ดี
7. การแห้งตัวเป็นไปอย่างรวดเร็ว
8. มีสมบัติการกระจายตัวที่ดี

ยูรีเทนออยล์มีจุดอ่อนอยู่บ้าง คือ ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่มีอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนตเป็นองค์ประกอบ มักจะเหลืองง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต อย่างไรก็ตาม สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการขึ้นเหลืองได้โดยเตรียมยูรีเทนออยล์จากอะลิฟาติกไดไอโซไซยาเนต ซึ่งค่อนข้างมีราคาสูงแทน

นอกจากใช้งานเป็นวารนิชเคลือบพื้นแล้ว ยังสามารถนำยูรีเทนออยล์ไปใช้งานทางด้านอื่นได้ด้วย ตัวอย่างเช่น ยูรีเทนออยล์ที่มีน้ำมันปริมาณสูงจะใช้เป็นสารยึดในหมึกพิมพ์เพื่อช่วยให้ผงสีมีสมบัติเปียก และกระจายตัวได้ดี หรือยูรีเทนออยล์ที่ปราศจากหมู่คาร์บอกซิลสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับผงโลหะอย่างดีเยี่ยม จึงใช้เป็นสารยึดในซิงกิริชไพรเมอร์ (zinc-rich primer) และสีบรอนซ์ (bronze paints) เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ มีดังนี้

Erciyes A. T., Erkal F.S. และ Kabasakal O.S. [16] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ที่ตัดแปรด้วย Ecballium elaterium และ Prumus mahaleb seed oils ซึ่งน้ำมันทั้งสองชนิดต่างก็ประกอบด้วยกรดไตรอีนิกที่มีพันธะคู่แบบสลับ 3 พันธะ (conjugated trienoic acids) พบว่าสารไม่เกิดเจลระหว่างสังเคราะห์ ทำให้สังเคราะห์ได้ง่าย นอกจากนี้ ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ได้สามารถแห้งได้ในอากาศ

Gunner F.S. และคณะ [17] ได้ศึกษาสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันดอกทานตะวันและใช้ไอโซไซยาเนตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI) เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (HMDI) และพอลิ(1,4-บิวเทินไดออล)โทลูอิน-2,4-ไดไอโซไซยาเนต (PBTDI) และมีการใช้อัตราส่วนระหว่างไอโซไซยาเนตต่อน้ำมันที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 อัตราส่วน พบว่าความหนืดและสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของไอโซไซยาเนตที่ใช้ กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณไอโซไซยาเนตมากขึ้น ทำให้ได้ยูรีเทนออยล์ที่มีความหนืดสูงขึ้น และยูรีเทนออยล์ที่ใช้ PBTDI มีความหนืดสูงที่สุด และแห้งได้เร็วที่สุด

Mecit O. และ Akar A. [18] ได้พยายามสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากขยะпет โดยนำพेटมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส และใช้ไกลคอลชนิดต่าง ๆ ในการย่อยสลาย คือ เอทิลีนไกลคอล (EG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) พอลิเอทิลีนไกลคอล 200 (PEG 200) และกลีเซอริน สารไอโซไซยาเนตที่ใช้คือโทลูอินไดไอโซไซยาเนต ซึ่งขยะпетสามารถนำมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาการไกลโคไลซิสเพื่อให้ได้เป็นโพลิโเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโมเลกุล ซึ่งสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นยูรีเทนออยล์ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า และยังใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า

Saravari O., และคณะ [19] ได้สังเคราะห์ยูรีเทนออยด์จากขวดพेट (PET) ที่ใช้แล้ว โดยนำขวดพेटไปย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส ใช้โพรพิลีนไกลคอล (PG) เป็นสารย่อยสลายที่อัตราส่วน PET:EG เท่ากับ 37.5:62.5 และใช้ซิงก์แอซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนำโกลโคไลซ์-โพรดักส์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันถั่วเหลือง และโทลูอินไดไอโซไซยาเนต ได้เป็นยูรีเทนออยล์ ซึ่งเป็นของเหลวหนืด สีเหลืองอ่อน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยเมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง พบว่า ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์มีแนวโน้มสูงขึ้น มีระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มลดลง ฟิล์มที่ได้มีสมบัติความแข็งและความติดแน่นที่ดี มีความทนน้ำและกรดดีเยี่ยม ความทนต่างพอใช้ แต่ความอ่อนตัวและความต้านทานการสึกหรอต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

Saravari O. และคณะ [20] ได้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและขดเพตที่ใช้แล้ว (PET) โดยนำขดเพตไปย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส และใช้โพรพิลีนไกลคอล (PG) เป็นสารย่อยสลายที่อัตราส่วน PET:PG เท่ากับ 37.5:62.5 และใช้ซิงก์แอซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ไปสังเคราะห์เป็นยูรีเทนออยล์ โดยการนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มและโกลูอินไดไฮโดร-ไซยาเนตที่อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตเท่ากับ 1:1 กับ 1:0.8 ทั้งที่ใช้และไม่ใช้เมทานอลเป็นสารบดล็อก จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง หรือเมื่อใช้สารบดล็อก มีผลให้ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์สูงขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มลดลง ฟิล์มที่ได้มีสมบัติความแข็งแรงดี ความอ่อนตัวและความทนทานต่อแรงกระแทกดีมาก ความทนน้ำดีเยี่ยม ความทนกรดดี และความทนด่างพอใช้ นอกจากนี้ ฟิล์มยังมีความติดแน่นที่ดีกว่าฟิล์มยูรีเทนออยล์ทางการค้า

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ โดยนำน้ำมันละหุ่งมาทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันสนับดูจา จากนั้นนำผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน มาสังเคราะห์เป็นยูรีเทนออยล์ แล้วนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบสมบัติและเปรียบเทียบกับสมบัติของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์และยูรีเทนออยล์ทางการค้า

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

3.1.1 สารเคมี

1. น้ำมันละหุ่ง
2. น้ำมันปาล์ม
3. น้ำมันลินสีด
4. น้ำมันสบู่ดำ
5. กลีเซอรอล (Glycerine) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)
6. แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ของบริษัท Fluka จำกัด
7. เอทานอล (ethanol) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ของบริษัท Fluka จำกัด
8. ไกลซีน (Xylene) เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ของบริษัท Panreac Quimica S.A.U.
9. โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI 80/20) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)
10. สารเร่งแห้ง (ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายของเกลือเซอร์โคเนียม)
11. เมทานอล เกรดสำหรับการวิเคราะห์ ของบริษัท Ajax finechem Pty. Ltd.

หมายเหตุ

น้ำมันละหุ่งที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ค่าไฮดรอกซิล	165 mg KOH/g น้ำมัน
ค่าของกรด	0.64
ความถ่วงจำเพาะ	0.913
ความหนืด (สโตกส์)	6.3-8.9
ปริมาณกรดไขมันอิสระ, max.	1.00
ปริมาณกรดรีซิโนเลอิก, Min.	85

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท มรกตอินดัสตรี จำกัด
ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ค่าของกรด	2
ค่าไอโอดีน	52.25
ความถ่วงจำเพาะ	0.907
สี (การ์เดนเนอร์)	4
ความหนืด (สตอกส์)	0.70
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	0.050%
ค่าสะaponิฟิเคชัน	200

น้ำมันลินสีดที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี
จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ค่าของกรด	2
ค่าไอโอดีน	178
ความถ่วงจำเพาะ	0.927
สี (การ์เดนเนอร์)	2
ความหนืด (สตอกส์)	0.50
ค่าสะaponิฟิเคชัน	188

น้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด
ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ค่าของกรด	4.8
ค่าไอโอดีน	97.08
ความถ่วงจำเพาะ	0.9136
สี (การ์เดนเนอร์)	3-
ความหนืด (Cp)	45.68
ค่าสะaponิฟิเคชัน	197.13
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	4.80%

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องกวน
2. Heating mantle
3. ขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
4. เทอร์โมมิเตอร์ (0-300°C)
5. เครื่องควบแน่นแบบกลั่นไหลกลับ (reflux condenser)
6. ท่อนำแก๊สไนโตรเจน

3.1.3 เครื่องทดสอบ

1. พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer) รุ่น NICOLET 6700 (รูปที่ 3.1)
2. เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatograph) รุ่น SHIMADZU GPC 10 A (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



รูปที่ 3.2 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี รุ่น Shimadzu GPC 10 A

3.1.4 วิธีการทดลอง

1. ใส่น้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่งในตารางที่ 3.1 ลงในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ ท่อนำแก๊สไนโตรเจน และเครื่องควบแน่นที่ต่อกับตัวดักน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3
2. ให้ความร้อนแก่สารผสมจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 218°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พร้อมทั้งกวนสารผสมตลอดเวลา ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ลงไป จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 240°C และให้อุณหภูมิของสารผสมคงที่จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์
3. นำน้ำมันผสม 1 ส่วน มาทดสอบการละลายในเอทานอล 3 ส่วน จนกระทั่งเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์จึงลดความร้อนลงภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน พร้อมทั้งกวนของผสมตลอดเวลา จนถึงอุณหภูมิห้อง
4. นำน้ำมันผสมที่สังเคราะห์ได้ใส่ลงในขวดสี่คอซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องควบแน่น และท่อนำแก๊สไนโตรเจน เดิมไซลีนส่วนที่ 1 ลงไป
5. ให้ความร้อนกับน้ำมันผสม จนอุณหภูมิถึง 50°C จึงค่อย ๆ เติมโทลูอีนไดไอโซไซยานาตเป็นเวลา 30 นาที ในปริมาณที่อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำมันผสมต่อหมู่ไอโซไซยานาตเท่ากับ 1:0.8 จากนั้นใส่ Zirconium naphthenate แล้วให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจน $90-95^{\circ}\text{C}$ จากนั้นให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ทำการทดลองดังเช่นการทดลองข้อ 1 – 5 โดยเปลี่ยนน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันสนูปดำหรือน้ำมันลินสีด
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ยูรีเทนออยล์ ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy และ Gel Permeation Chromatograph
8. สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ตามวิธีการข้างต้น แต่เติมเมทานอลในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ

สูตร	น้ำมันละหุ่ง (กรัม)	น้ำมัน* (กรัม)	TDI (กรัม)	ไซลีน (กรัม)	CaO (กรัม)	สารเร่งแห้ง (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
Palm	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	-
Palm-block	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	0.64
Jatropha	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	-
Jatropha-block	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	0.64
Linseed	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	-
Linseed-block	92.82	20	19	52	0.0468	0.060	0.64

* น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันลินสีด

9. นำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งที่ได้ไปวิเคราะห์ และทดสอบสมบัติเปรียบเทียบกับสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอลและยูรีเทนออยล์ทางการค้า
10. ในการสังเคราะห์คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ ทำได้โดยดั่งเช่นวิธีการทดลองข้อที่ 1-8 โดยเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันละหุ่งเป็นใช้กลีเซอรอลในการสังเคราะห์ โดยอัตราส่วนในการสังเคราะห์คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ ใช้อัตราส่วนดั่งตารางที่ 3.2

*ได้ทำการทดลองโดยเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 2 ชั่วโมง เป็น 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดของสารผสม และ ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงใช้เวลาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ที่ 2 ชั่วโมงทุกสูตร

หลังทำการทดลองพบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ใช้เวลาในการแห้งตัวมากกว่า 24 ชั่วโมง จึงได้ทำการปรับปรุงยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้โดยนำยูรีเทนออยล์ทางการค้ามาผสมในอัตราส่วนยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ 2 ส่วน ต่อ ยูรีเทนออยล์ทางการค้าหนึ่งส่วน

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ

สูตร	กลีเซอรอล (กรัม)	น้ำมัน* (กรัม)	TDI (กรัม)	ไซลีน (กรัม)	CaO (กรัม)	สารเร่งแห้ง (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
Con Palm	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	-
Con Palm-block	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	1.00
Con Jatropa	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	-
Con Jatropa-block	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	1.00
Con Linseed	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	-
Con Linseed-block	33.49	80	76	208	0.0471	0.24	1.00

* น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันลินสีด



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

3.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันและยูรีเทนออยล์

3.2.1 การทดสอบสมบัติของน้ำมันและยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว

3.2.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของเหลว โดยปกติความหนืดของสารเคลือบผิวหาได้ในหน่วยพอยส์ (poise) โดยที่น้ำมีความหนืดประมาณ 0.01 พอยส์ หรือ 1 เซนติพอยส์ ส่วนเครื่องมือสำหรับวัดความหนืด เรียกว่า มาตรฐานความหนืด หรือวิสโคมิเตอร์ (viscometer)

ในงานวิจัยนี้ ใช้มาตรฐานความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์ (Brookfield viscometer) เป็นเครื่องมือในการวัดความหนืดของของเหลว โดยอาศัยการวัดค่า Torque ที่ต้องการในการหมุนเข็มวัด (spindle) ที่จุ่มอยู่ในของเหลวดังกล่าว จนมีความเร็วคงที่ ซึ่งค่า Torque นี้จะแปรผันกับความหนืดของของเหลว ลักษณะของเครื่องมือได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มาตรฐานวัดความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์

3.2.1.2 ค่าของกรด (Acid Value)

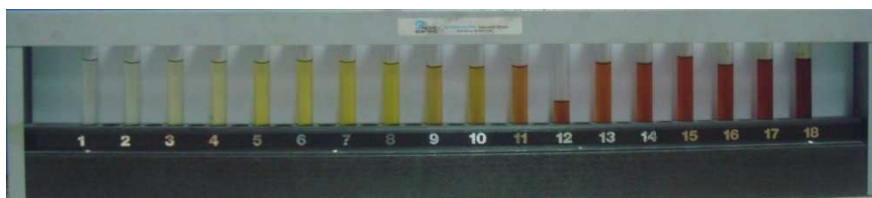
ค่าของกรด เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของกรดอิสระที่มีในสารตัวอย่าง สามารถหาได้โดยห้ตั้งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง ซึ่งอาจใช้ไอโซโพรพานอลต่อโทลูอีน ที่อัตราส่วน 1:1 แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalene) เป็นอินดิเคเตอร์

ค่าของกรด สามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าของกรด} = \frac{56.1 \times \text{ความเข้มข้นของ KOH} \times \text{ปริมาตร KOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักของสารที่ใช้ (กรัม)}}$$

3.2.1.3 สี (Color)

การตรวจดูสีของน้ำมันทำได้โดยนำไปเปรียบเทียบกับสีกับสารละลายการ์ดเนอร์ (Gardner solution) ซึ่งเป็นสารละลายผสมในน้ำ (Aqueous color mixture) ของ $\text{FeCl}_3 + \text{CCl}_4 + \text{HCl}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันและมีเบอร์วัดสีตั้งแต่เบอร์ 1-18 สารละลายเบอร์ 1 สีจะอ่อนที่สุด และ เบอร์ 18 สีจะเข้มที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สารละลายการ์ดเนอร์

3.2.1.4 ความสามารถในการละลาย

ทดสอบการละลายในตัวทำละลายประเภทต่าง ๆ เช่น ไชลีน ไวท์สปิริต บิวทิลอะซิเตต และ นอร์มัลปิพทานอล

3.2.1.5 ระยะเวลาในการแห้งตัว (Drying Time)

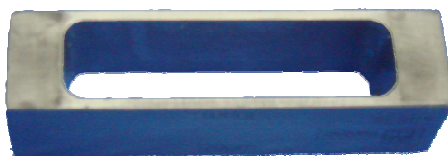
การทดสอบระยะเวลาการแห้งตัว สามารถทำได้โดยนำสารเคลือบผิวมาปาดเคลือบลงบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (Tinplate) ด้วยแอปพลิเคเตอร์ ที่ความหนา 60 ไมครอน และ จับเวลาการแห้งตัวของฟิล์ม การแห้งตัวของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่สามารถแห้งตัวได้เองในอากาศ จะมีลักษณะของการแห้งที่แตกต่างกันตามลักษณะของการแห้งที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้งตัวตามลำดับ ดังต่อไปนี้

- (1) แห้งฝุ่นไม่ติด (Dust dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ฝุ่นไม่ติดพื้นผิวที่เคลือบไว้แล้ว
- (2) แห้งที่ผิว (Surface dry) หมายถึง การแห้งเฉพาะผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่มและเหนียว
- (3) แห้งแตะได้ (Touch dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แตะเบาๆ แล้วไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่
- (4) แห้งแตะไม่ติด (Tack-free dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ผิวไม่อยู่ในสภาพเหนียวติด แม้ว่าจะมีแรงกด การแห้งขั้นนี้เป็นระยะที่เมื่อใช้นิ้วมือกดเบา ๆ ที่ผิวฟิล์ม จะไม่มีรอยเกิดขึ้นบนผิวฟิล์ม
- (5) แห้งแข็ง (Hand dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรง ทดสอบได้โดยใช้นิ้วมือกดลงบนผิวฟิล์มแล้วหมุนรอบ ๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าวหรือเสียหาย แสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้ว

3.2.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์

การเตรียมฟิล์มยูรีเทนออยล์

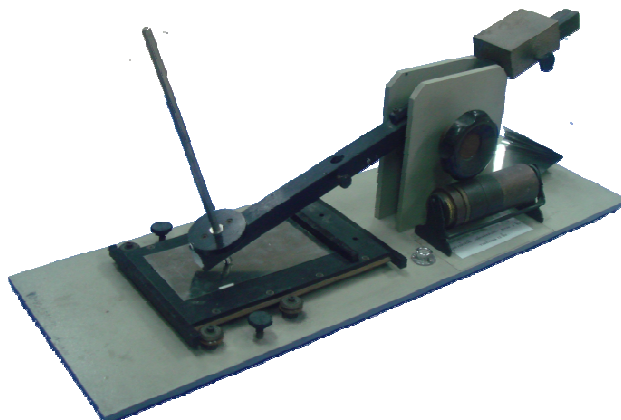
นำยูรีเทนออยล์มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบที่เป็นโลหะหรือแผ่นกระจกตามที่มีมาตรฐานกำหนดไว้ การปาดเคลือบฟิล์มทำได้โดยใช้แอปพลิเคเตอร์ (Film applicator) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งควบคุมความหนาของฟิล์มเปียกได้ตั้งแต่ 30 60 90 และ 120 ไมโครเมตร สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ความหนาของฟิล์มที่ 120 ไมโครเมตร จากนั้นทิ้งไว้จนฟิล์มแห้งแข็ง แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 แอปพลิเคเตอร์

3.2.2.1 ความแข็ง (Hardness)

การหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้ทั่วไป คือ การทดสอบการขีดขีด (Scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็มทดสอบของเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการขีดขีด (Mechanical Scratch Test Apparatus) ดังในรูปที่ 3.7 สำหรับการรายงานค่าความแข็งของฟิล์ม จะบันทึกค่าน้ำหนักน้อยที่สุด (กรัม) ที่ทำให้เข็มสามารถแทงทะลุผิวของฟิล์มเคลือบ สำหรับรายละเอียดสามารถศึกษาได้จากมาตรฐาน ASTM D2197



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการชูดขีด

3.2.2.2 ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance)

ความทนทานต่อแรงกระแทก เป็นการวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงมากระแทก เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) และสามารถเคลื่อนขึ้นลงได้ในระยะทาง 40 นิ้ว ลักษณะเครื่องมือได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 สำหรับการทดสอบสามารถทำได้โดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารตัวอย่างไว้แล้ววางยึดที่ฐานของเครื่องมือ จากนั้นตั้งระยะทางที่ปล่อยให้ลูกตุ้มตกลงมากระทบกับแผ่นทดสอบที่ระยะความสูงต่าง ๆ กัน แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มตกลงมากระทบกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จากนั้น ตรวจสอบความเสียหายของแผ่นทดสอบ การรายงานค่าความทนทานต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยนิ้ว-ปอนด์ ซึ่งได้จากการนำค่าความสูงของลูกตุ้มก่อนปล่อยให้ตกลงมากระทบแผ่นทดสอบ (นิ้ว) คูณกับน้ำหนักของลูกตุ้ม (4 ปอนด์)



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก

3.2.2.3 ความอ่อนตัว (Flexibility)

การทดสอบความอ่อนตัว ทำตามมาตรฐาน ASTM D522 โดยทดสอบดูความทนทานต่อการแตกร้าว หรือ การหลุดล่อนออกจากแผ่นทดสอบของฟิล์ม เมื่อนำไปดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (bending test) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3-37 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ คือ เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรูปกรวย (Conical Mandrel Test Apparatus) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 การรายงานผลการทดสอบ ให้ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้ผิวฟิล์มร้าว หรือหลุดล่อนออกจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่มีพบความบกพร่องให้ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของแกนรูปกรวย



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย

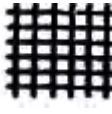
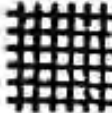
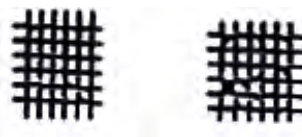

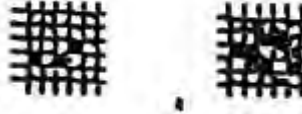
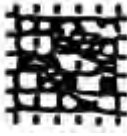
3.2.2.4 ความติดแน่น (Adhesion)

ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความสามารถในการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ ทดสอบได้โดยวิธี Cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D3359 Method B การทดสอบทำได้โดยใช้ Cross Hatch Cutter ดังแสดงในรูปที่ 3.10 กรีดเป็นตารางบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้น ใช้เทปกาวติดที่บริเวณรอยกรีดให้สนิทแล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจดูข้อบกพร่องของฟิล์มแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน และรายงานผลเป็นเกรด ซึ่งแบ่งเกรดไว้ตั้งแต่ 5B-0B ดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.10 Cross Hatch Cutter

ตารางที่ 3.3 การจัดลำดับความบกพร่องของฟิล์มจากการกรีดเป็นตาราง

เกรด	ลักษณะของฟิล์ม	ภาพ
5B	ขอบของรอยตัดเรียบ ไม่มีส่วยเสียหาย	
4B	เกิดการหลุดล่อนของส่วนที่ติดกันแต่ความเสียหายต้องไม่เกิน 5%	
3B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและส่วนที่ติดกัน ความเสียหายมากกว่า 5% แต่ไม่เกิน 15%	
2B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 15%	
1B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 35% แต่ไม่เกิน 65%	
0B	เกิดการหลุดล่อนมากและเกิดทุกจุดบนสารเคลือบจนไม่สามารถจัดอยู่ในเกรด 1B ได้	

3.2.2.5 ความทนน้ำ (Water Resistance)

การทดสอบหาความทนน้ำ เป็นการหาความสามารถของฟิล์มสารเคลือบผิวที่จะกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D1647 โดยนำฟิล์มของสารเคลือบผิวไปแช่น้ำภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลาแล้วให้นำแผ่นทดสอบออกจากน้ำ ซับด้วยกระดาษซับ ตรวจสอบผิวของแผ่นทดสอบเพื่อดูรอยพองหรือข้อบกพร่องอื่น ๆ จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นทดสอบอีกครั้ง

3.2.2.6 ความทนกรดและด่าง (Acid and Alkali Resistance)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1647 โดยนำแผ่นทดสอบไปแช่ในกรดหรือด่างภายในระยะเวลาที่กำหนด แล้วตรวจสอบคุณภาพผิวของฟิล์ม ถ้าฟิล์มมีความทนทานต่อกรดหรือด่างได้ดี หลังแช่ในกรดหรือด่างแล้ว ฟิล์มจะต้องมีสภาพเหมือนเดิม ไม่มีข้อบกพร่องใด ๆ เกิดขึ้น

3.2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

ทำการเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้าซึ่งยูรีเทนออยล์ทางการค้าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) มีชื่อทางการค้าว่า "Burnock UL-65"

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

โดยปกติการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์มี 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1. นำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับสารพอลิออล (เช่น กลีเซอรอล เพนตะอิริทรีออล) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์

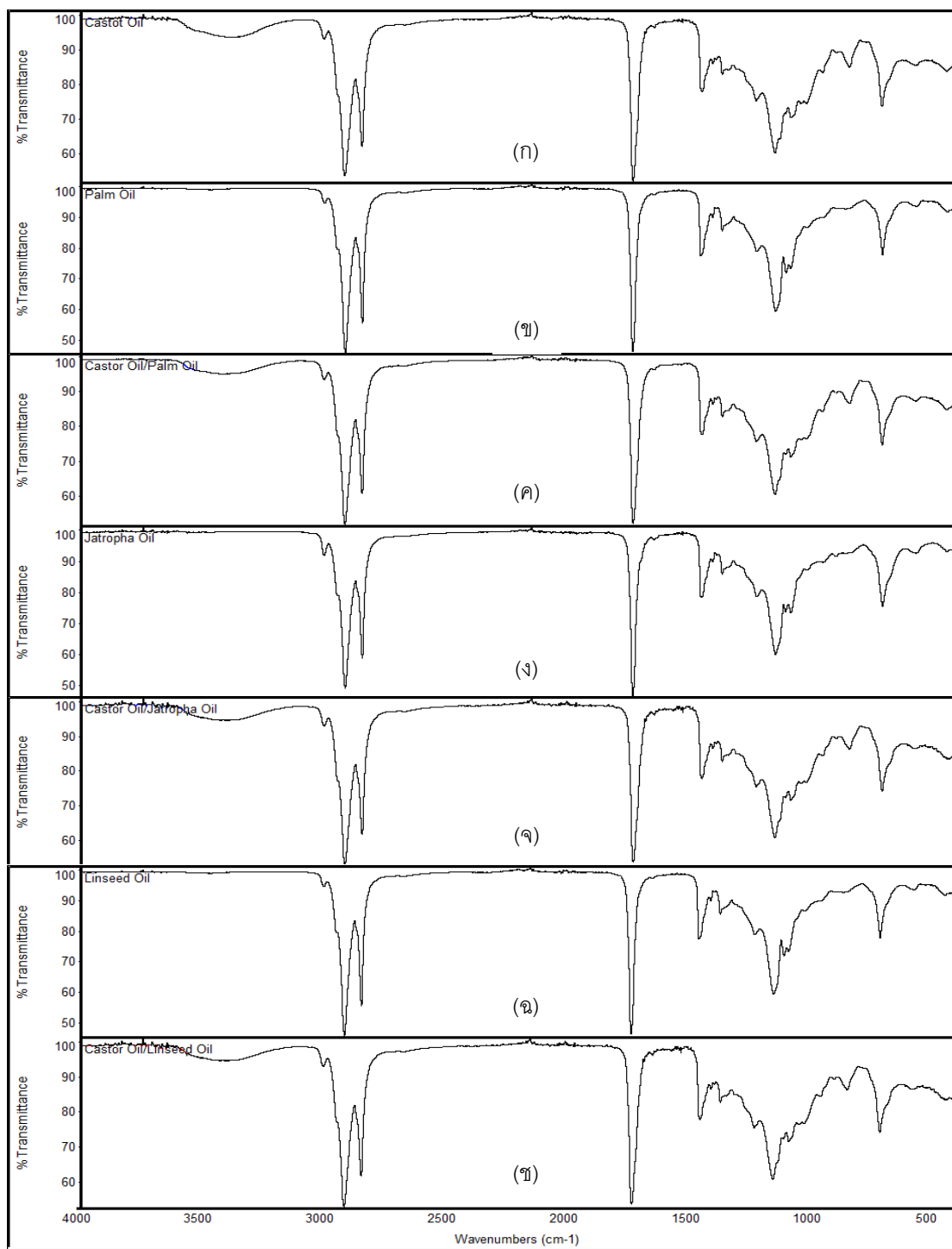
ขั้นตอนที่ 2. นำมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้มาทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนตได้ยูรีเทนออยล์เป็นผลิตภัณฑ์

สำหรับการทดลองนี้ จะนำน้ำมันละหุ่งมาใช้แทนกลีเซอรอล จากนั้นนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากทั้งน้ำมันละหุ่งและกลีเซอรอลมาทดสอบสมบัติและเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

4.1.1 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขั้นตอนที่หนึ่งของการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

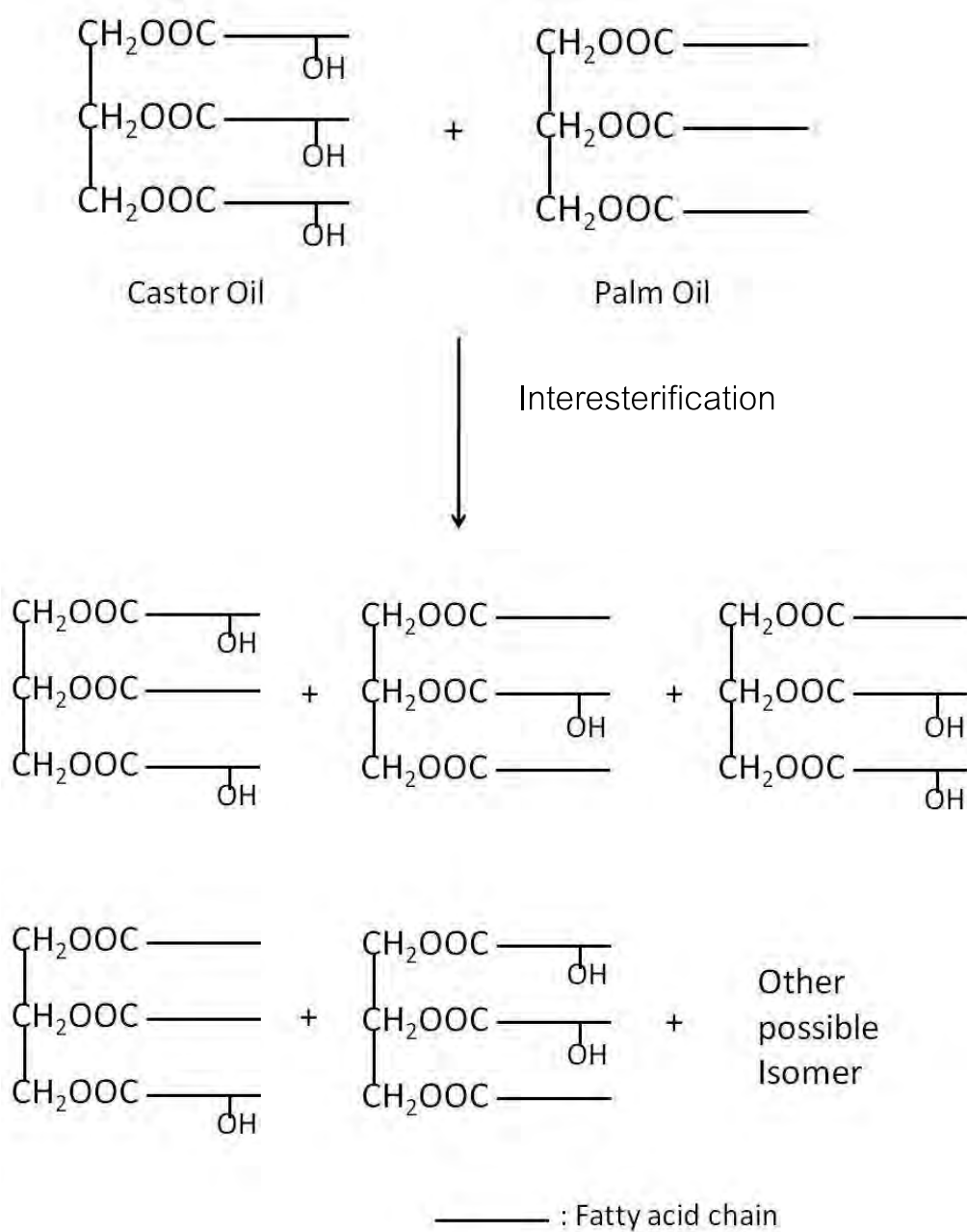
4.1.1.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี

เมื่อนำน้ำมันผสมที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันลินสีด กับน้ำมันละหุ่งมาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปีและเปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมระหว่างน้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันลินสีด และน้ำมันผสมทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยพบว่า สเปกตรัมของน้ำมันผสมแสดงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ปรากฏทั้งในน้ำมันละหุ่งและน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นเบื้องต้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือ น้ำมันลินสีด ได้เกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชันกับน้ำมันละหุ่ง โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง

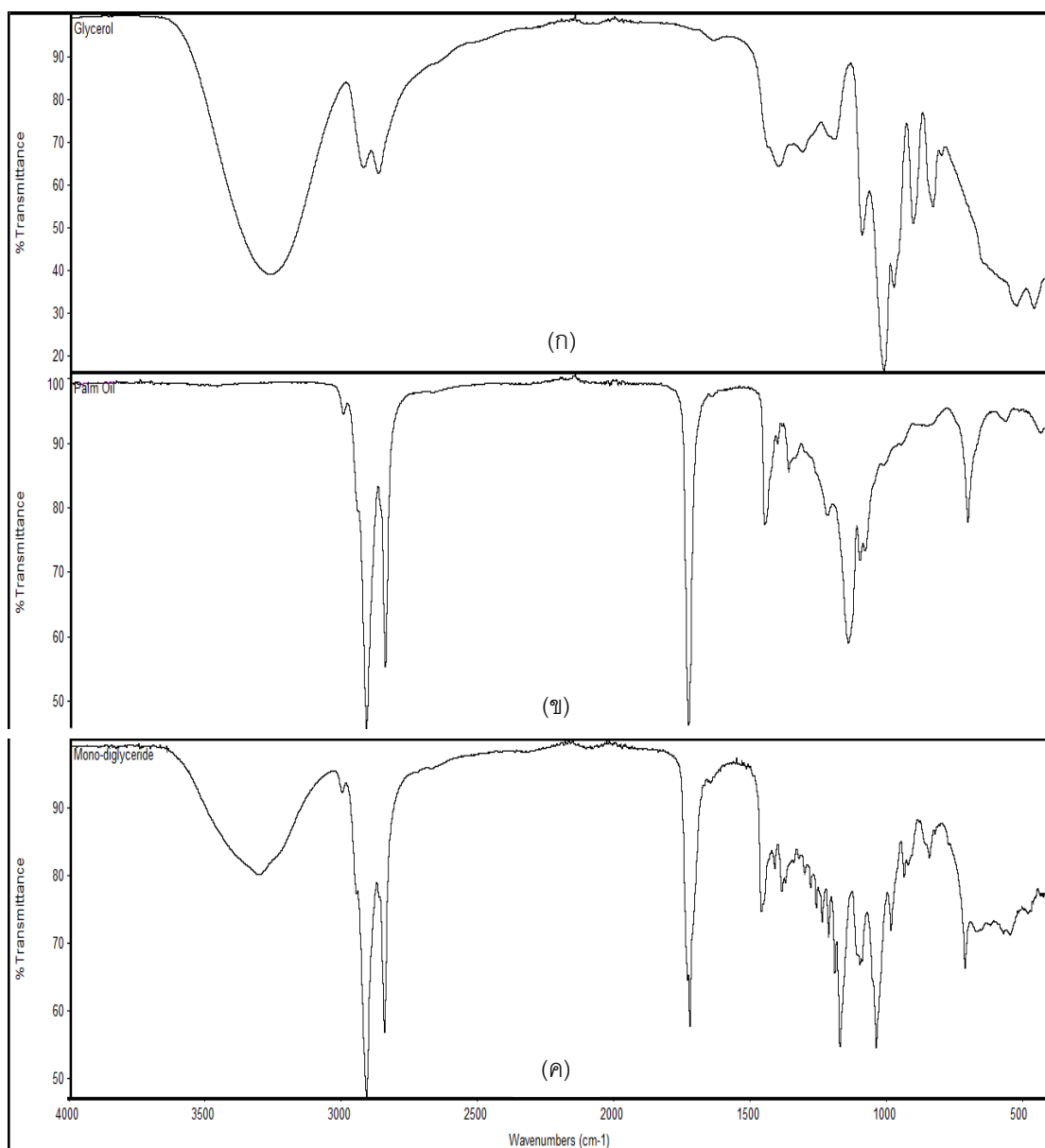
(ก) น้ำมันละหุ่ง (ข) น้ำมันปาล์ม (ค) น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันปาล์ม (ง) น้ำมันสบู่ดำ
 (จ) น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันสบู่ดำ (ฉ) น้ำมันลินสีด (ช) น้ำมันละหุ่ง/น้ำมันลินสีด



รูปที่ 4.2 ปฏิกิริยาอินเตอริเอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันละหุ่งกับน้ำมันปาล์ม

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดง FT-IR สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันและกลีเซอรอล พบว่า สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์แสดงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ปรากฏทั้งในกลีเซอรอลและน้ำมันทั้งสามชนิด ทำให้สรุปได้ว่า น้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันลินสีด ได้เกิดปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสกับกลีเซอรอลได้มอนอและไดกลีเซอไรด์เป็นผลิตภัณฑ์

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันผสมและมอนอและไดกลีเซอไรด์จาก FT-IR สเปกโทรสโกปี ยังไม่อาจสรุปได้ว่า น้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอลได้เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันทั้ง 3 ชนิดได้สมบูรณ์แล้วหรือยัง ดังนั้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ จึงต้องมีการตรวจสอบด้วยการนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการละลายด้วยเอทานอล



รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง

(ก) กลีเซอรอล (ข) น้ำมันปาล์ม (ค) มอนอและไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม

*จาก FT-IR สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์ทุกสูตร พบว่า สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์ แสดงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ปรากฏทั้งในกลีเซอรอลและน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ในที่นี้จึงได้เลือกแสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม

4.1.1.2 การทดสอบการละลายในเอทานอล

การตรวจสอบเพื่อยืนยันว่า น้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอลได้เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนูปดำ หรือน้ำมันลินสีดแล้วหรือยัง สามารถทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการละลายในเอทานอลเป็นระยะ ๆ ระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยใช้สารตัวอย่าง 1 ส่วน ละลายในเอทานอล 2-3 ส่วน ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถละลายในเอทานอลได้อย่างสมบูรณ์ แสดงว่าผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติแล้วน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนูปดำ และน้ำมันลินสีดไม่สามารถละลายในเอทานอล ในขณะที่น้ำมันละหุ่งและกลีเซอรอลสามารถละลายในเอทานอลได้ ดังนั้นการที่ผลิตภัณฑ์สามารถละลายในเอทานอลได้ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอลได้เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันสนูปดำหรือน้ำมันลินสีดอย่างสมบูรณ์

จากการทดสอบพบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดสามารถละลายในเอทานอลได้อย่างสมบูรณ์ แสดงว่าน้ำมันละหุ่งได้เข้าทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนูปดำหรือน้ำมันลินสีดได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่กลีเซอรอลได้เข้าทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิสกับน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนูปดำ หรือน้ำมันลินสีดได้อย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกัน โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาให้สมบูรณ์แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอลกับน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนูปดำ หรือน้ำมันลินสีด

ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน		ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา(ชั่วโมง:นาที)
น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันปาล์ม	2:45
น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันสนูปดำ	2:50
น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันลินสีด	3:00
ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิส		
กลีเซอรอล	น้ำมันปาล์ม	1:20
กลีเซอรอล	น้ำมันสนูปดำ	1:15
กลีเซอรอล	น้ำมันลินสีด	1:15

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างการใช้น้ำมันละหุ่งและการใช้กลีเซอรอลกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด จะเห็นได้ว่าน้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่าระยะเวลาที่กลีเซอรอลใช้ในการทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิสกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิด (1:15 – 1:30 ชั่วโมง) ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากโมเลกุลของน้ำมันละหุ่งมีขนาดใหญ่กว่ากลีเซอรอล (ดูตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงน้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา) นอกจากนี้ ยังมีความเกาะเกาะของสายโซ่ของน้ำมันละหุ่ง ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ยากกว่า จึงใช้เวลานานกว่า

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

สารตั้งต้น	น้ำมันละหุ่ง	กลีเซอรอล	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันสบู่ดำ	น้ำมันลินสีด
น้ำหนักโมเลกุล	930	92	832	860	878

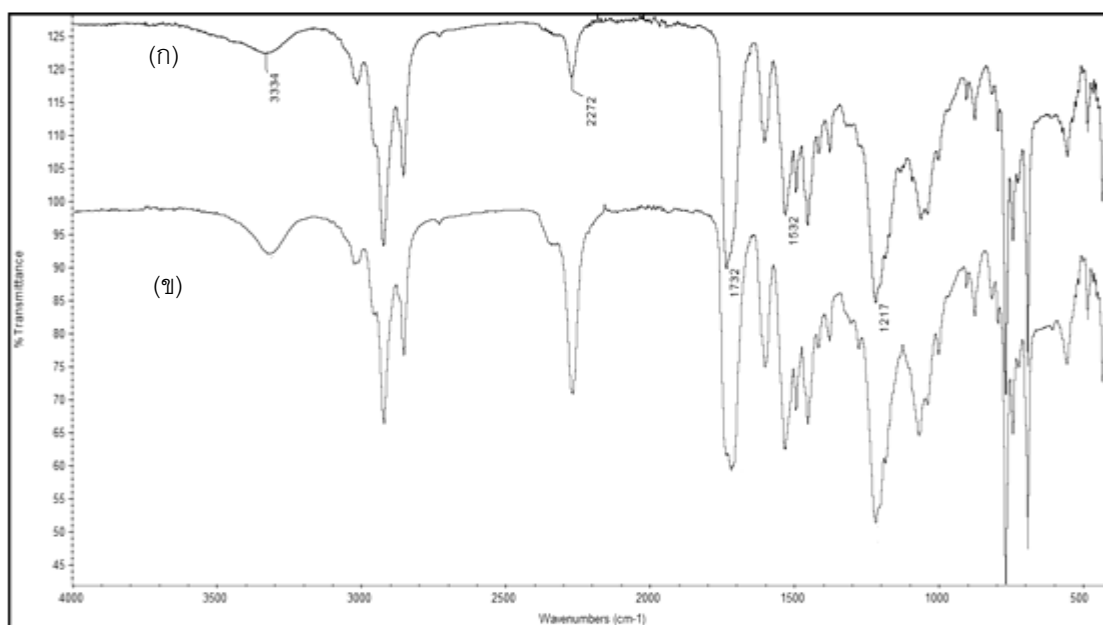
นอกจากนี้ จากตารางที่ 4.1 ยังแสดงให้เห็นด้วยว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ และน้ำมันลินสีดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันละหุ่งแตกต่างกันเล็กน้อย โดยพบว่าน้ำมันปาล์มใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด และน้ำมันลินสีดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากที่สุด ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากน้ำมันปาล์มมีสายโซ่ของกรดไขมันที่สั้นที่สุด ในขณะที่น้ำมันลินสีดมีสายโซ่ของกรดไขมันที่ยาวที่สุด

4.1.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี

4.1.2.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง

เมื่อนำน้ำมันผสม หรือมอโนและไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ได้มาทำปฏิกิริยากับ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต พบว่าหมู่ไฮดรอกซิลในน้ำมันผสมหรือมอโนและไดกลีเซอไรด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตในโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต เกิดเป็นพันธะยูรีเทนซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในยูรีเทนออยล์ และเมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี พบว่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยพบพีกที่แสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ดังนี้

- 1.พบพีกของ N-H Stretching ที่ตำแหน่ง 3334 cm^{-1}
- 2.พบพีกของหมู่ไอโซไซยาเนต -NCO ที่ตำแหน่ง 2272 cm^{-1}
- 3.พบพีกของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1732 cm^{-1}
- 4.พบพีกของพันธะ C-N และ N-H ที่ตำแหน่ง 1532 cm^{-1}
- 5.พบพีกของพันธะ C-O-C ที่ตำแหน่ง 1217 cm^{-1}



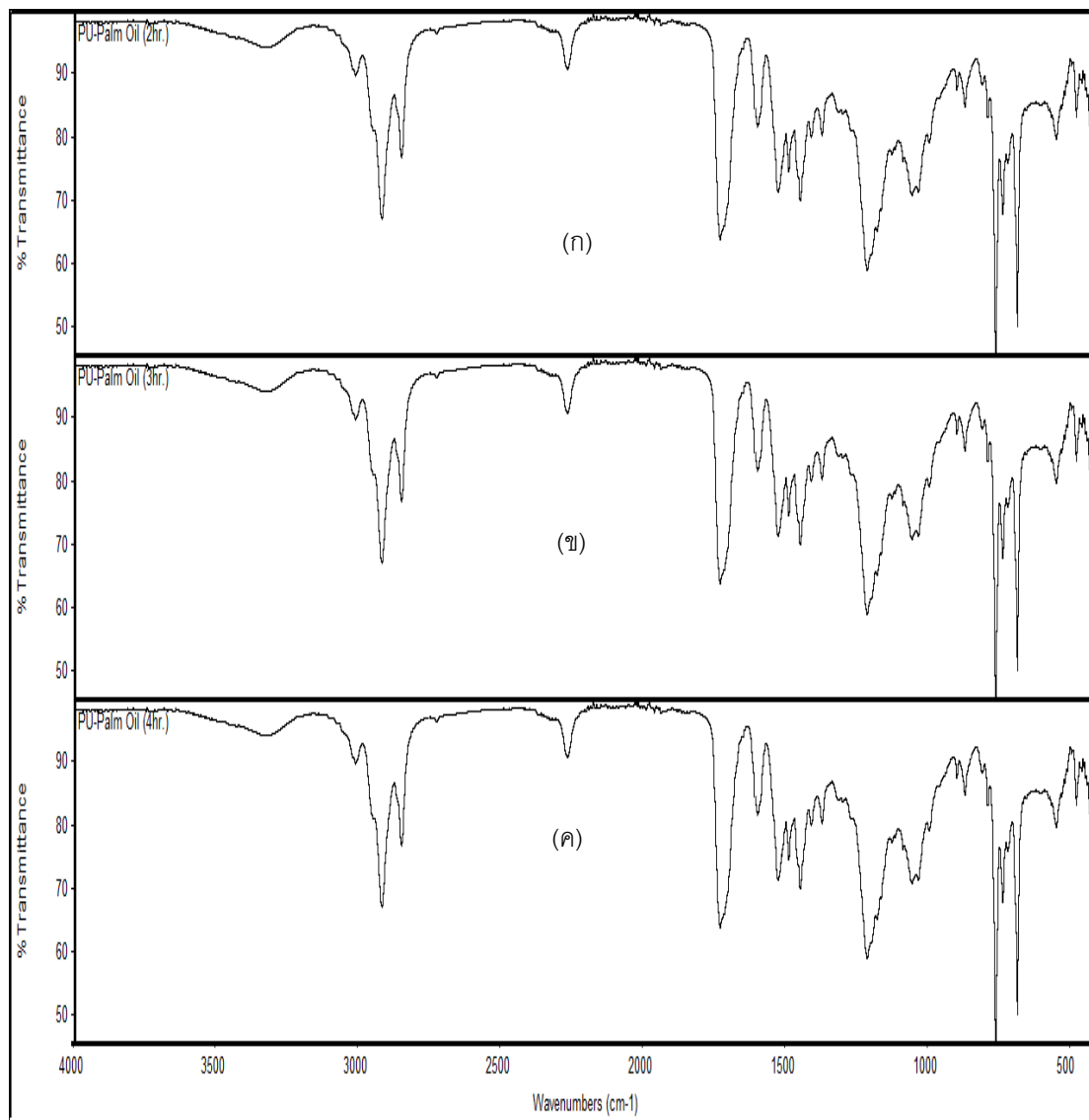
รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง

- (ก) ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่ง
- (ข) ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มและกลีเซอรอล

*จาก FT-IR สเปกตรัมพบว่ายูรีเทนออยล์ทุกสูตรที่สังเคราะห์ได้ปรากฏพีกที่ตำแหน่งเดียวกัน ในที่นี้จึงได้เลือกแสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากผสมและคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ด้วยน้ำมันปาล์ม

จากสเปกตรัมของยูรีเทนทั้งที่สังเคราะห์จากน้ำมันผสม และคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์ ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 3334 cm^{-1} และ 1532 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพันธะ N-H ที่มีอยู่ในพันธะยูรีเทน และพีคที่ตำแหน่ง 1732 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O) ในเอสเทอร์ของยูรีเทน นอกจากนี้ ยังพบพีคของหมู่ NCO ที่ตำแหน่ง 2272 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่

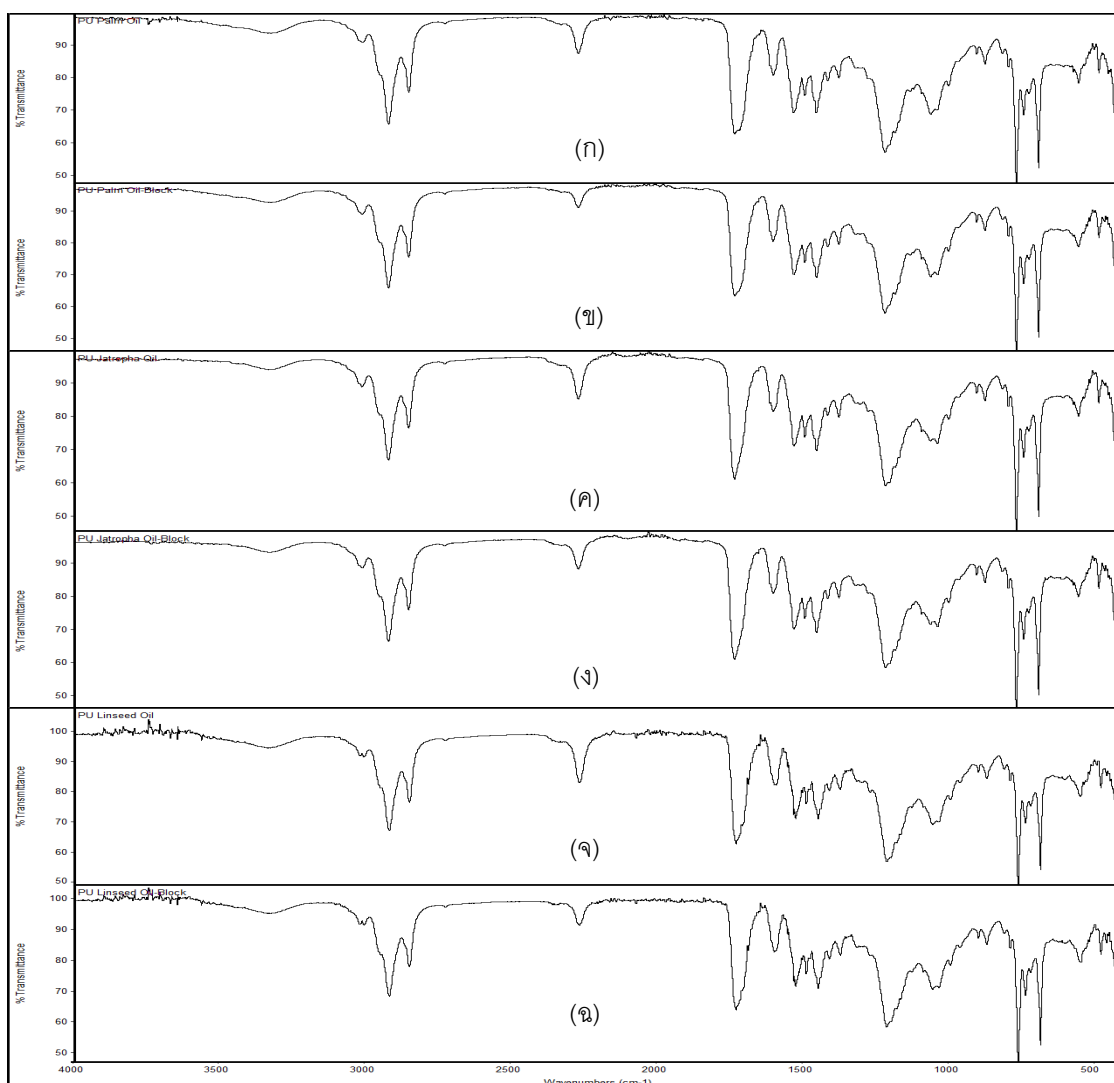
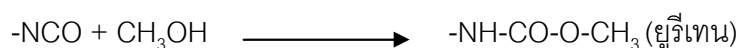
ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มระยะเวลาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ในขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันผสมหรือมอนอและไดกลีเซอไรด์กับโพลูอินไดไอโซไซยาเนต จาก 2 ชั่วโมง เป็น 3 และ 4 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไอโซไซยาเนตด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 โดยพบว่า FT-IR สเปกตรัมไม่เปลี่ยนแปลงแสดงให้เห็นว่า แม้เพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาก็ไม่มีผลใดๆ นอกจากนี้ ยังทดสอบหาความหนืดของยูรีเทนออยล์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน พบว่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ที่ 2 ชั่วโมงนั้นไม่ได้น้อยเกินไป



รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและน้ำมันปาล์ม
เปรียบเทียบระหว่าง (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง (ค) 4 ชั่วโมง

*จาก FT-IR สเปกตรัมพบว่ายูรีเทนออยล์ทุกสูตรที่สังเคราะห์ได้ปรากฏพีคที่ตำแหน่งเดียวกัน ในที่นี้จึงได้เลือก
แสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากผสมที่สังเคราะห์ด้วยน้ำมันปาล์ม

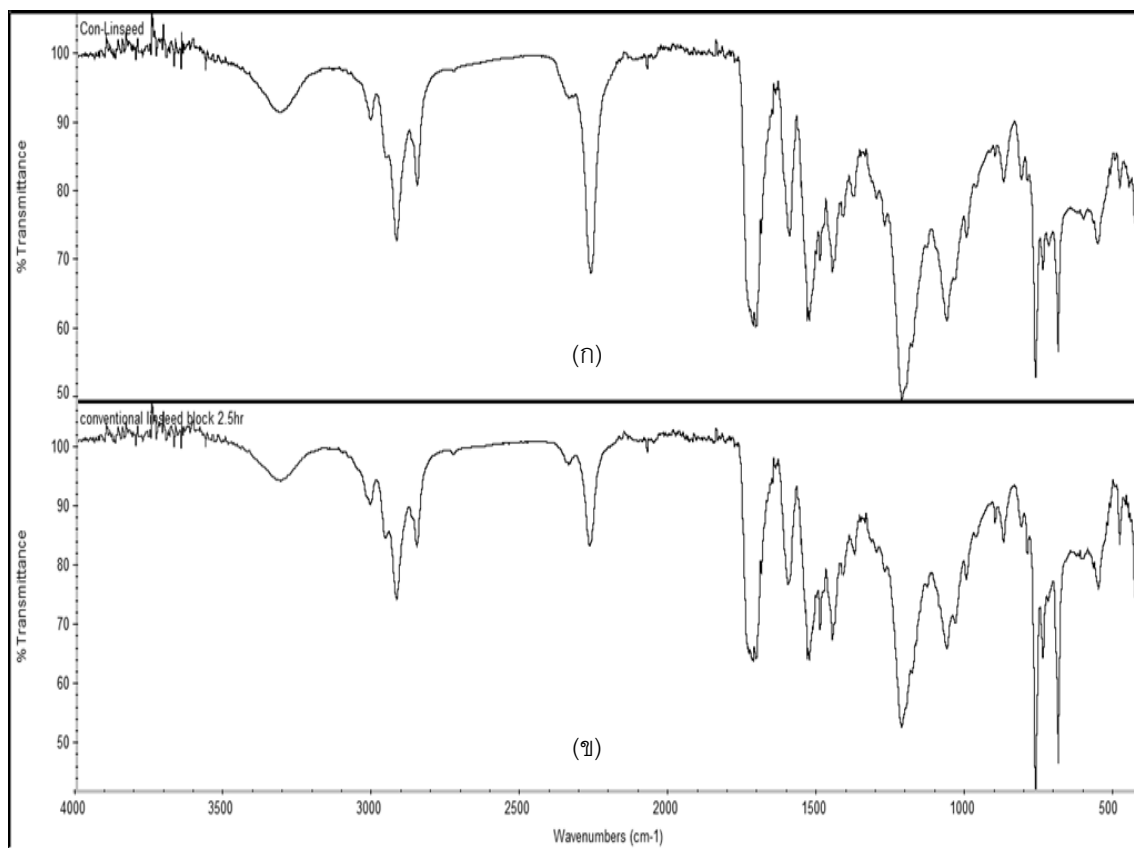
จากนั้น จึงได้ทำการทดลองบล็อกหมู่ไอโซไซยานาตที่เหลือด้วยเมทานอลปริมาณ 2% โดยน้ำหนักของน้ำมันผสมหรือมอนอและไดกลีเซอไรด์ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR อีกครั้ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 โดยพบว่า FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอลมีความเข้มของพีกของหมู่ไอโซไซยานาตที่ตำแหน่ง 2272 cm^{-1} ลดลง แสดงว่าเมทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานาต เกิดพันธะยูรีเทน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการ



รูปที่ 4.6 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งเปรียบเทียบระหว่าง

(ก) สูตร Palm (ข) สูตร Palm-Block (ค) สูตร Jatropha

(ง) สูตร Jatropha-Block (จ) สูตร Linseed (ฉ) สูตร Linseed-Block

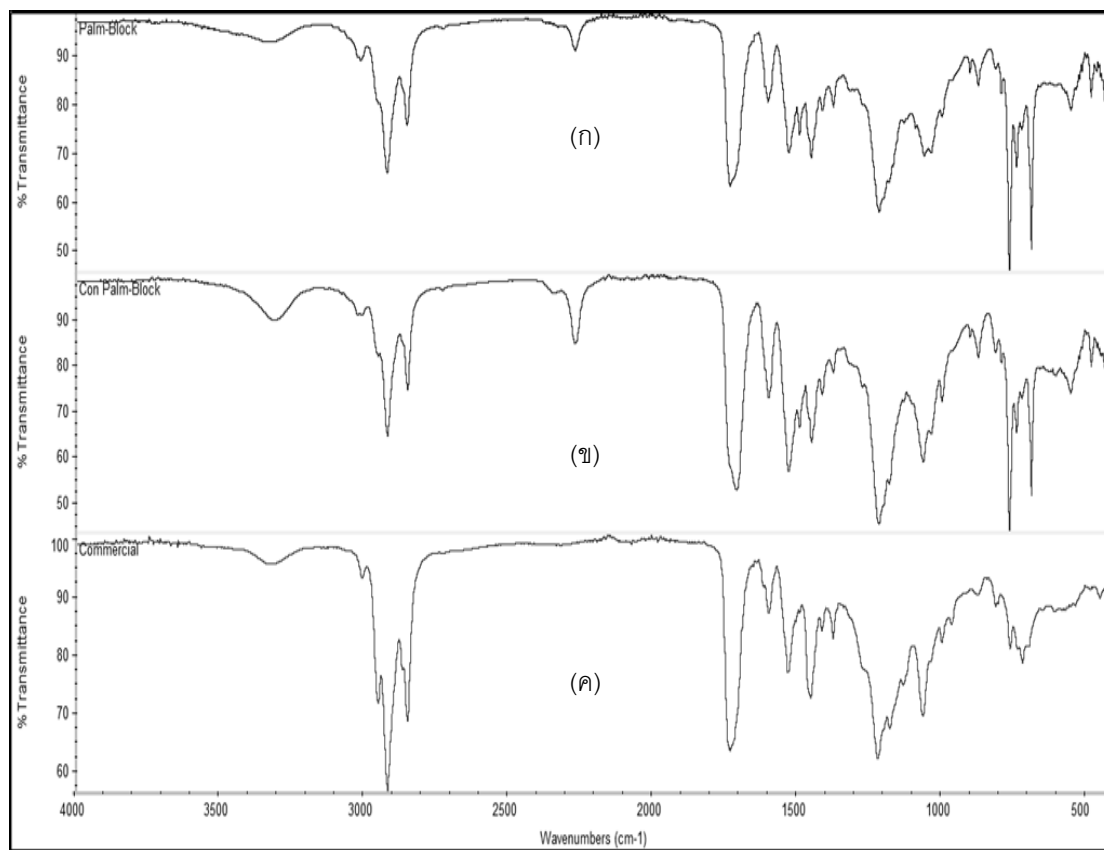


รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมของคอนเวนชันนอลยูรีเทนออกไซด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีด

เปรียบเทียบระหว่าง (ก) สูตรที่ไม่บล็อกด้วยเมทานอล (ข) สูตร ที่บล็อกด้วยเมทานอล

*จาก FT-IR สเปกตรัมพบว่าคอนเวนชันนอลยูรีเทนออกไซด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการบล็อกด้วยเมทานอล พบว่าความเข้มของพีคของหมู่อิโซไซยาเนตลดลงทุกสูตรเช่นเดียวกับรูปที่ 4.6 ในที่นี้จึงได้เลือกแสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของคอนเวนชันนอลยูรีเทนออกไซด์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีด

เมื่อนำ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์หลังผ่านการบดด้วยเมทานอลมาเปรียบเทียบกับ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยพบว่า FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีลักษณะเหมือนกันกับของยูรีเทนออยล์ทางการค้า แต่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดตรงที่ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้าแทบจะไม่ปรากฏพีกของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง 2273 cm^{-1} เลย

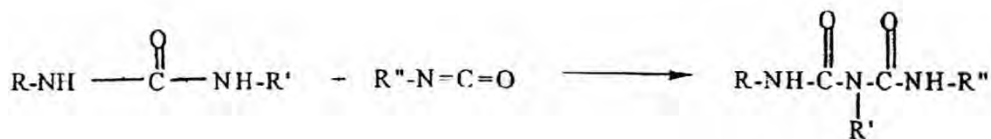
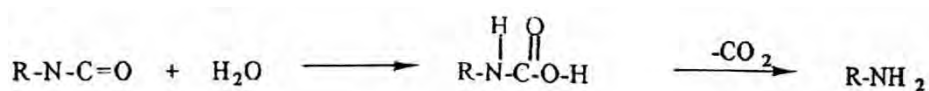


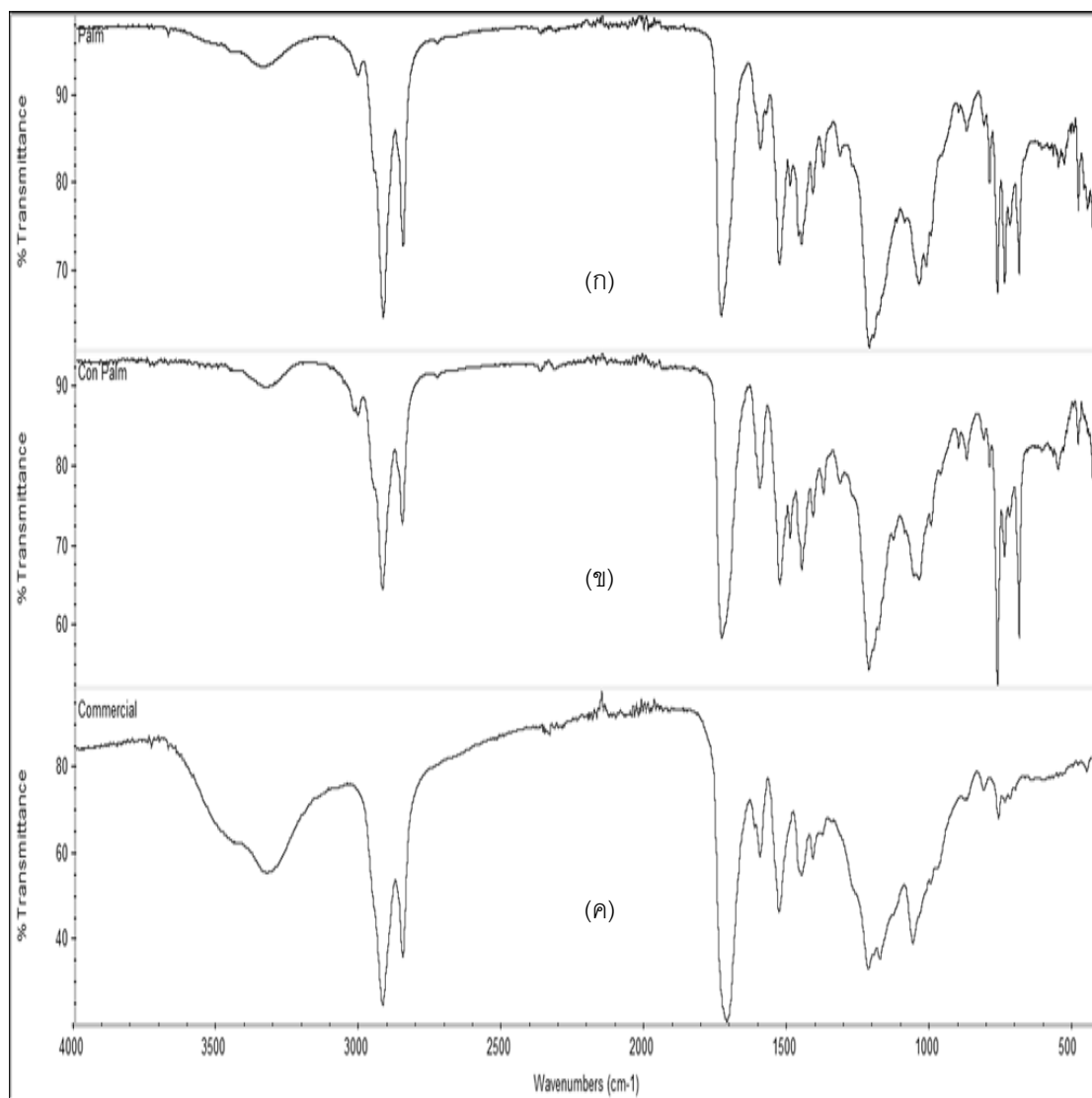
รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์เปรียบเทียบระหว่าง

(ก) สูตร Palm-Block (ข) สูตร Con Palm-Block (ค) สูตร Commercial

*จาก FT-IR สเปกตรัมพบว่ายูรีเทนออยล์ทุกสูตรทั้งที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งหรือจากกลีเซอรอล ปรากฏพีกที่ตำแหน่งเดียวกัน ในที่นี้จึงได้เลือกแสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ด้วยน้ำมันปาล์ม เพื่อเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

เมื่อนำยูรีเทนออยล์ทุกสูตรไปทำให้เป็นฟิล์มแห้ง แล้วนำไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยพบว่า FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ที่ได้ไม่ปรากฏพีคของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ 2272 cm^{-1} อีกต่อไป แสดงว่าในระหว่างการแห้งตัวหรือการบ่มตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ หมู่ไอโซไซยาเนตที่เหลืออยู่ได้เข้าทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศ เกิดกรดคาร์บาไมคที่ไม่เสถียร ซึ่งจะแตกตัวให้แอมีนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นแอมีนจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไอโซไซยาเนตอีกหมู่ได้เป็นยูเรีย และอาจเกิดปฏิกิริยาต่อไปกับหมู่ไอโซไซยาเนตอีกหมู่ได้เป็นไบยูเรต ดังแสดงในสมการต่อไปนี้





รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์เปรียบเทียบระหว่าง

(ก) สูตร Palm (ข) สูตร Con Palm (ค) สูตร Commercial

*จาก FT-IR สเปกตรัมพบว่าฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ทุกสูตรทั้งที่สังเคราะห์จากน้ำมันผสมและมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ได้ปรากฏพีคที่ตำแหน่งเดียวกัน ในที่นี้จึงได้เลือกแสดงเฉพาะ FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ด้วยน้ำมันปาล์มเพื่อเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ที่ได้จากน้ำมันต่างชนิดกัน พบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีดมีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุด ในขณะที่สูตรที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากกระบวนการเตรียมยูรีเทนออยล์ น้ำมันลินสีดซึ่งมีปริมาณพันธะคู่มากที่สุดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด ส่งผลให้ขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นมากที่สุด ส่วนน้ำมันปาล์มมีปริมาณพันธะคู่น้อยที่สุดจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยที่สุด

4.1.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์

4.1.4.1 การทดสอบสมบัติในสถานะของเหลว

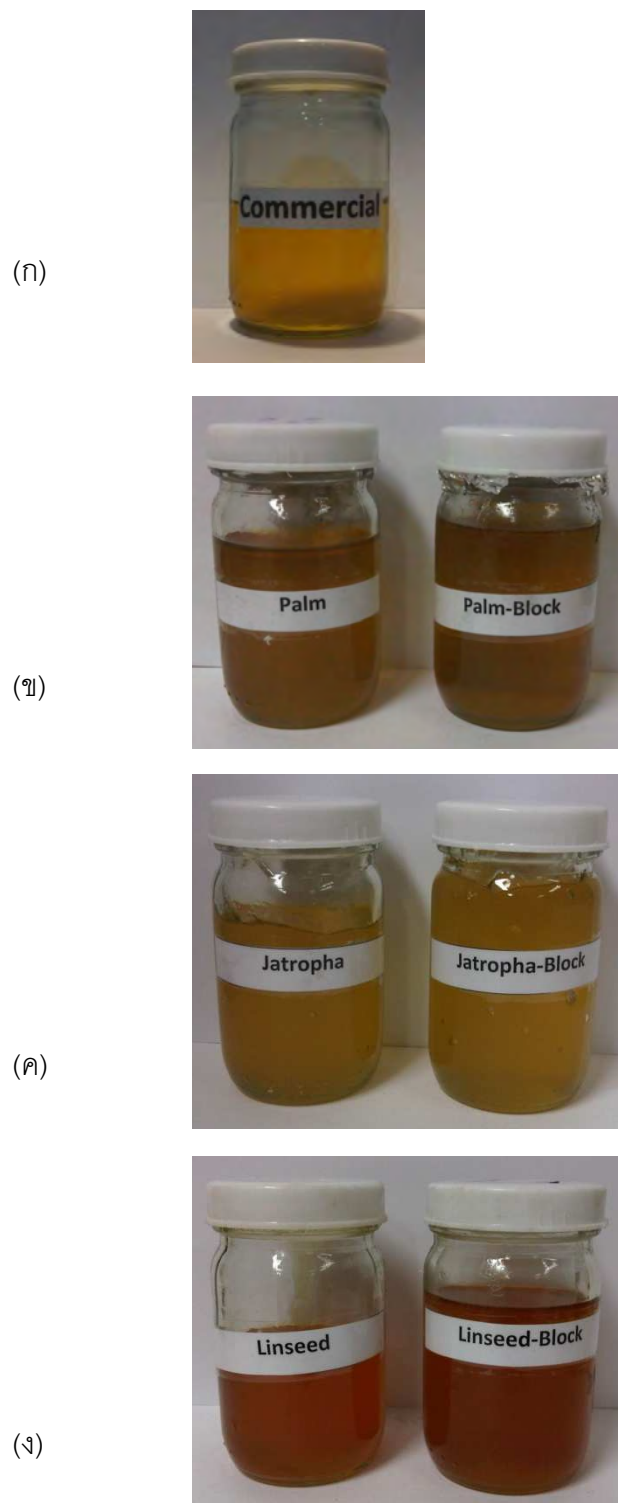
เมื่อพิจารณาสมบัติในสถานะของเหลวพบว่า ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรทั้งจากสูตรที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลืองอ่อน (รูปที่ 4.10) และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ในสถานะของเหลว ได้แก่ สี ความหนืด ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (%Nonvolatile content; %NV) และค่าของกรด พบว่า สีของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและสีของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (%NV) ของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งอยู่ในช่วง 64.35-67.34% ในขณะที่ คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์อยู่ในช่วง 48.52-53.15% สำหรับค่าของกรดอยู่ในช่วง 2-6 ส่วนความหนืดของยูรีเทนออยล์จะแตกต่างกันไป ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว

สูตรยูรีเทนออยล์	สี* (การ์ด เนอร์)	ความหนืด (เซนติพอยล์)	%Nonvolatile (%NV)	ค่าของ กรด	ความ ถ่วงจำเพาะ
Castor Oil based Urethane Oil					
Palm Oil	3-	735	64.35	2	0.94
Palm Oil-Block	3	1116	64.60	2	0.94
Jatropha Oil	3+	984	65.72	2.5	0.96
Jatropha Oil-Block	4.5	1290	66.37	3	0.96
Linseed Oil	4+	1408	67.34	3	0.97
Linseed Oil-Block	5-	1620	66.84	4	0.96
Conventional Urethane Oil					
Con.Palm	3	880	52.34	4	0.97
Con.Palm-Block	3.5	1216	53.15	4	0.97
Con.Jatropha	5-	1174	48.52	5	0.96
Con.Jatropha-Block	5+	1313	49.31	5	0.97
Con.Linseed	6	1535	50.72	5	0.95
Con.Linseed-Block	6+	1980	52.63	6	0.95

* ลำดับความเข้มของสีจากอ่อนไปเข้มคือ 2+ 2.5 3- 3 3+ 3.5 4- 4 4+...

จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของยูรีเทนออยล์ พบว่ายูรีเทนออยล์สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอลจะมีความหนืดสูงกว่าสูตรที่ไม่บล็อก นอกจากนี้ยังพบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีดมีความหนืดสูงที่สุด ในขณะที่ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มมีความหนืดต่ำที่สุด ซึ่งผลของความหนืดที่ได้นี้สอดคล้องกับผลของน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4.10 สีและลักษณะของยูรีเทนออยล์สูตรต่าง ๆ

(ก) ยูรีเทนออยล์ทางการค้า (ข) สูตร Palm สูตร Palm-Block

(ค) สูตร Jatropha สูตร Jatropha-Block (ง) สูตร Linseed สูตร Linseed-Block

(จ)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.10 สีและลักษณะของยูรีเทนออยล์สูตรต่าง ๆ (ต่อ)

(จ) สูตร Con.Palm สูตร Con.Palm-Block

(ข) สูตร Con.Jatropha สูตร Con.Jatropha-Block

(ค) สูตร Con.Linseed สูตร Con.Linseed-Block

ความสามารถในการละลาย

เมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร มาทดสอบความสามารถในการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.5 โดยพบว่า ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร สามารถละลายได้ดีในไซลีน บิวทิลอะซิเตต และไวท์สปิริต แต่ไม่ละลายในนอร์มัลบิวทานอล ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ประกอบด้วยหมู่อะโรมาติก และมีความเป็นขั้วปานกลาง ทำให้สามารถละลายได้ดีในไซลีนซึ่งเป็นตัวทำละลายอะโรมาติก และบิวทิลอะซิเตต ที่มีขั้วปานกลาง นอกจากนี้ การที่ยูรีเทนออยล์ทุกสูตรสามารถละลายได้ดีในไวท์สปิริต ซึ่งเป็นตัวทำละลายอะลิฟาติกนั้น เป็นผลมาจากโมเลกุลประกอบด้วยน้ำมันซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซ่ยาว อะลิฟาติก ส่วนการที่ยูรีเทนออยล์ไม่ละลายในนอร์มัลบิวทานอล เป็นเพราะตัวทำละลายชนิดนี้มีขั้วสูง

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายของยูรีเทนออยล์

สูตรยูรีเทนออยล์	ชนิดของตัวทำละลาย			
	ไวท์สปิริต	ไซลีน	บิวทิลอะซิเตต	นอร์มอลบิวทานอล
Castor Oil based Urethane Oil				
Palm Oil	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Palm Oil-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Jatropha Oil	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Jatropha Oil-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Linseed Oil	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Linseed Oil-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Conventional Urethane Oil				
Con.Palm	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Con.Palm-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Con.Jatropha	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Con.Jatropha-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Con.Linseed	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย
Con.Linseed-Block	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย

การทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว

การทดสอบระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ ทำได้โดยนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบที่เป็นโลหะด้วยแอปพลิคเคเตอร์ โดยใช้ความหนาของฟิล์มเปียกเท่ากับ 60 ไมโครเมตร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์

สูตรยูรีเทนออยล์	แห้งแตะได้ (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแตะไม่ติด (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแข็ง (วัน:ชั่วโมง:นาที)
Castor Oil based Urethane Oil			
Palm Oil	1:10:00	2:02:00	4:07:00
Palm Oil-Block	1:02:00	1:20:00	3:16:00
Jatropha Oil	1:02:00	1:23:00	3:10:00
Jatropha Oil-Block	0:23:40	1:18:00	3:02:00
Linseed Oil	0:20:20	1:15:00	2:18:00
Linseed Oil-Block	0:16:25	1:13:00	2:16:00
Conventional Urethane Oil			
Con.Palm	0:00:20	0:00:40	0:01:50
Con.Palm-Block	0:00:20	0:00:40	0:01:35
Con.Jatropha	0:00:15	0:00:25	0:01:40
Con.Jatropha-Block	0:00:15	0:00:25	0:01:25
Con.Linseed	0:00:10	0:00:15	0:01:15
Con.Linseed-Block	0:00:10	0:00:15	0:01:10

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ายูรีเทนออยล์สูตรที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการแห้งตัวนาน (2-4 วัน) ในขณะที่คอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์จะใช้เวลาในการแห้งตัวน้อยกว่ามาก (1-2 ชั่วโมง) ทั้งนี้เพราะน้ำมันละหุ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณพันธะคู่ต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อย ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการแห้งตัวมาก

เมื่อพิจารณาผลของการใช้น้ำมันต่างชนิดกันต่อระยะเวลาการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ทั้งสูตรที่เตรียมจากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ พบว่าทั้งยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ที่มีองค์ประกอบของน้ำมันลินสีดจะแห้งเร็วที่สุด ในขณะที่ยูรีเทนออยล์ที่มีองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มแห้งได้ช้าที่สุด เนื่องจากน้ำมันลินสีดมีความไม่อิ่มตัวมากที่สุด และน้ำมันปาล์มมีความไม่อิ่มตัวน้อยที่สุด ดังนั้นน้ำมันลินสีดจึงมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นฟิล์มได้ดีที่สุดจึงใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวน้อยที่สุด

นอกจากนี้ผลการทดสอบในตารางที่ 4.6 ยังแสดงให้เห็นว่ายูรีเทนออยล์หลังบดล็อกด้วยเมทานอลจะแห้งได้เร็วขึ้น ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากยูรีเทนออยล์ที่บดล็อกด้วยเมทานอลมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่ายูรีเทนออยล์ที่ไม่ได้บดล็อกด้วยเมทานอล หมู่ไฮดรอกซิลที่เหลืออยู่นี้จึงเข้าทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศจนหมดไปได้เร็วกว่าสูตรที่ไม่บดล็อกด้วยเมทานอล

จากผลทั้งหมดนี้ถือว่าสอดคล้องกับผลของการหาน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยูรีเทนออยล์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ กล่าวคือยูรีเทนออยล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าหรือมีความหนืดสูงกว่า จะแห้งตัวได้เร็วกว่า

จากผลการทดสอบที่พบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการแห้งตัว 2-4 วันซึ่งเป็นเวลาที่นานเกินไปในการนำไปใช้งานจริง จึงได้นำไปทดสอบปรับปรุงเพื่อให้ยูรีเทนออยล์แห้งได้เร็วขึ้น โดยนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ 2 ส่วนไปผสมกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า 1 ส่วน จากนั้นนำยูรีเทนออยล์ผสมไปทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยพบว่า เมื่อผสมยูรีเทนออยล์ทางการค้ามีผลทำให้ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้แห้งได้เร็วขึ้น กล่าวคือ ระยะเวลาการแห้งตัวลดลงมาเหลือประมาณ 17-24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ปรับปรุงด้วยยูรีเทนทางการค้า

ชนิดของน้ำมัน	แห้งแตะได้ (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแตะไม่ติด (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแข็ง (วัน:ชั่วโมง:นาที)
Palm Oil-Commercial	0:01:30	0:04:20	1:03:00
Jatropha Oil –Commercial	0:01:15	0:03:25	0:22:30
Linseed Oil-Commercial	0:00:45	0:02:45	0:16:50

* อัตราส่วนระหว่างยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ต่อยูรีเทนทางการค้าเท่ากับ 2:1

4.1.4.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์

การทดสอบสมบัติเชิงกล

เมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันผสม มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนดด้วยแอปพลิเคเตอร์ (applicator) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้ความหนาของฟิล์มเปียกเท่ากับ 60 ไมโครเมตร จากนั้นทิ้งไว้จนฟิล์มแห้ง แล้วนำฟิล์มแห้งไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ ความแข็ง ความอ่อนตัว ความตืดแน่นและความทนทานต่อแรงกระแทก (impact resistance) และทำการเปรียบเทียบกับสมบัติของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ซึ่งได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของฟิล์มยูรีเทนออยล์

สูตรยูรีเทนออยล์	ความแข็ง (กรัม)	ความอ่อนตัว (ϕ , มิลลิเมตร)	ความตืดแน่น	ความทนทานต่อ แรงกระแทก (นิว-ปอนด์)
Castor Oil based Urethane Oil				
Palm Oil	550	3	5B	160
Palm Oil-Block	550	3	5B	160
Jatropha Oil	550	3	5B	160
Jatropha Oil-Block	600	3	5B	160
Linseed Oil	600	3	5B	160
Linseed Oil-Block	600	3	5B	160
Conventional Urethane Oil				
Con.Palm	600	3	5B	160
Con.Palm-Block	600	3	5B	160
Con.Jatropha	600	3	5B	160
Con.Jatropha-Block	600	3	5B	160
Con.Linseed	600	3	5B	160
Con.Linseed-Block	600	3	5B	160

ผลการทดสอบความแข็งของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งด้วยวิธีการชุดซีด พบว่าฟิล์มแห้งทุกสูตรมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 550-600 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์

ผลการทดสอบความอ่อนตัวด้วยการตัดโค้งรอบแกนรูปกรวยพบว่า ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งทุกสูตรมีความอ่อนตัวดีเยี่ยม เพราะสามารถทนการตัดโค้งได้แม้แต่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของแกนรูปกรวย คือที่ 3 มิลลิเมตร โดยไม่เกิดการแตกร้าของฟิล์มเช่นเดียวกับคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ ทั้งนี้เกิดจากโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ประกอบด้วยน้ำมันซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซ่อะลิฟาติกที่มีความอ่อนตัวเป็นปริมาณสูง

จากผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของฟิล์มยูรีเทนออยล์พบว่า ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งได้มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูง คือ สามารถทนแรง 160 นิวตัน-ปอนด์ที่มากกระแทกได้โดยฟิล์มไม่เกิดความเสียหายเช่นเดียวกับคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความอ่อนตัวของฟิล์ม กล่าวคือฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีความอ่อนตัวสูงจึงสามารถทนแรงกระแทกได้สูงด้วย

จากผลการทดสอบความติดแน่นโดยใช้วิธี cross-cut tape พบว่า ฟิล์มแห่งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่งมีความติดแน่นกับผิววัสดุได้ดีเยี่ยมเช่นเดียวกับคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ คือไม่มีส่วนใดของฟิล์มเกิดความเสียหาย เนื่องจากการมีหมู่ที่มีขั้วอยู่มากในโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่อะมิโนซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพื้นผิววัสดุที่เคลือบ ทำให้ยึดติดกับพื้นผิวได้ดี

การทดสอบความทนน้ำ ทนกรดและด่าง

เมื่อนำฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ไปทดสอบความทนน้ำ ทนกรด และทนด่าง โดยการจุ่มแผ่นฟิล์มทดสอบลงในน้ำ ในกรด และในด่างภายในระยะเวลาที่กำหนดแล้วตรวจสอบสภาพของฟิล์มเพื่อดูข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดสอบแสดงไว้ในตาราง 4.9

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.9 พบว่า ฟิล์มยูรีเทนออยล์ทั้งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ทุกสูตร ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากจุ่มในน้ำและกรดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงว่าฟิล์มทนน้ำและกรดได้ดีเยี่ยม ทั้งนี้เนื่องจากพันธะยูรีเทนเกิดไฮโดรไลซิสได้ยาก อย่างไรก็ตาม เมื่อนำฟิล์มยูรีเทนออยล์ไปทดสอบความทนด่าง พบว่าฟิล์มเริ่มเกิดการพองหลังจุ่มลงในด่าง แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มมีความทนด่างพอใช้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับด่างได้ โดยฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งทนด่างได้ดี กล่าวคือ ฟิล์มเริ่มเกิดการพองหลังจุ่มลงในด่าง 2 ชั่วโมง 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเร็วกว่าคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์

(ประมาณ 5 ชั่วโมง) ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งมีน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบไตรเอสเทอร์ปริมาณสูงกว่าคอนเวนชันนอลยูรีเทนออยล์

ตารางที่ 4.9 สมบัติความทนน้ำ ทนกรด และทนด่างของฟิล์มยูรีเทนออยล์

ยูรีเทนออยล์	ความทนน้ำ (24hr)	ความทนกรด (5% v/v H ₂ SO ₄) (24hr)	ความทนด่าง (5% w/v NaOH) (hr:min)
Castor Oil based Urethane Oil			
Palm Oil	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:30
Palm Oil-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:30
Jatropha Oil	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:35
Jatropha Oil-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:35
Linseed Oil	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:45
Linseed Oil-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	2:45
Conventional Urethane Oil			
Con.Palm	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:50
Con.Palm-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:50
Con.Jatropha	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:50
Con.Jatropha-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:50
Con.Linseed	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:45
Con.Linseed-Block	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	4:54

* ดีเยี่ยม คือ ฟิล์มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆหลังจากจุ่มลงในน้ำ กรด หรือด่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

** ชั่วโมง: นาที ที่ระบุไว้ คือ เวลาที่ฟิล์มเริ่มเกิดการพอง (blistering) หลังจากจุ่มลงในน้ำ กรด หรือด่าง

4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่ง คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ และยูรีเทนออยล์ทางการค้า

จากผลการทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร พบว่าหลังบล็อกด้วยเมทานอลจะทำให้ยูรีเทนออยล์มีสมบัติดีขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ยูรีเทนออยล์สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอลทั้งของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ มาพิจารณาเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า “Burnock UL-65”

4.2.1 การสมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว

จากตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงสมบัติในสถานะของเหลวของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งและคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอล จะเห็นได้ว่า ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีสีใกล้เคียงกันและมีสีใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ส่วนความหนืดของยูรีเทนออยล์ทุกสูตรมีค่าต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า ซึ่งน่าจะเป็นเพราะยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า สำหรับค่าของกรดของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าของยูรีเทนออยล์ทางการค้า ในขณะที่ผลการทดสอบความสามารถการละลายในตัวทำละลายต่างๆ แสดงให้เห็นว่า ยูรีเทนออยล์ทางการค้าและยูรีเทนออยล์ทุกสูตรที่สังเคราะห์ได้ มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่อะลิฟาติกและอะโรมาติกรวมกัน จึงทำให้สามารถละลายในตัวทำละลายที่เป็นตัวทำละลายอะลิฟาติกและตัวทำละลายอะโรมาติก

นอกจากนี้ จากตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาระยะเวลาการแห้งตัว พบว่า คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์มีระยะเวลาการแห้งตัวใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า อย่างไรก็ตาม ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวมากกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้ามาก เนื่องมาจากน้ำมันละหุ่งเป็นน้ำมันชนิดที่มีปริมาณพันธะคู่ต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อย ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการแห้งตัวมาก

ตาราง 4.10 สมบัติในสถานะของเหลวของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์
สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอล

สมบัติในสถานะของเหลว	ยูรีเทนออยล์ทางการค้า	ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันผสม			คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์		
		Palm-Block	Jatropha-Block	Linseed-Block	Palm-Block	JatrophaBlock	Linseed-Block
สี (การ์ดเนอร์)	3.5	3-	4.5	5-	3.5	5+	6-
ความหนืด(เซนติพอยส์)	1700	1116	1290	1620	1216	1313	1980
ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้	65.17	64.35	66.37	66.84	53.15	49.31	52.63
ค่าของกรด	0.5	2	3	4	4	5	5
ความสามารถในการละลาย							
- ไวท์สปิริต	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
- ไฮลีน	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
- บิลทิวแอซีเทต	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
- นอร์มัลบิวทานอล	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
ระยะเวลาการแห้งตัว (วัน:ชั่วโมง:นาที)							
- แห้งแตะได้	0:00:10	1:02:00	0:23:40	0:16:25	0:00:20	0:00:15	0:00:10
- แห้งแตะไม่ติด	0:00:15	1:20:00	1:18:00	1:13:00	0:00:40	0:00:25	0:00:15
- แห้งแข็ง	0:01:00	3:16:00	3:02:00	2:16:00	0:01:50	0:01:25	0:01:10

4.2.2 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะฟิล์มแห้ง

จากตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงสมบัติในสถานะฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ทางการค้า เปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอล จะเห็นได้ว่า สมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรและยูรีเทนออยล์ทางการค้า มีความติดแน่น ความอ่อนตัว ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนน้ำและความทนกรดดีเยี่ยม อย่างไรก็ตาม ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีความแข็งและความทนต่างต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า โดยยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันละหุ่งมีความทนต่างต่ำที่สุด ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากยูรีเทนออยล์ดังกล่าวมีน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ปริมาณสูง

ตาราง 4.11 สมบัติในสถานะฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง และคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์
สูตรที่บล็อกรด้วยเมทานอล

สมบัติในสถานะฟิล์มแห้ง	ยูรีเทนออยล์ทางการค้า	ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง			คอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์		
		Palm-Block	Jatropha-Block	Linseed-Block	Palm-Block	JatrophaBlock	Linseed-Block
ความแข็ง(กรัม)	750	550	600	600	600	600	600
ความติดแน่น (cross-cut tape test)	5B	5B	5B	5B	5B	5B	5B
ความอ่อนตัว (ϕ มิลลิเมตร)	3	3	3	3	3	3	3
ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิว-ปอนด์)	160	160	160	160	160	160	160
ความทนน้ำ (RT x 24hr)	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม
ความทนกรด (24hr)	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม
ความทนด่าง (hr : min)	6:20	2:30	2:35	2:45	4:50	4:50	4:54

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- 5.1.1 ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สามารถนำน้ำมันละหุ่งมาใช้แทนกลีเซอรอลได้ แต่น้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่ากลีเซอรอล
- 5.1.2 เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนบูดำ หรือน้ำมันลินสีด กับน้ำมันละหุ่งหรือกลีเซอรอล พบว่าน้ำมันปาล์มใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด และน้ำมันลินสีดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากที่สุด
- 5.1.3 ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร มีลักษณะเป็นของหนืด ใส สีเหลืองอ่อน
- 5.1.4 เมื่อเปรียบเทียบยูรีเทนออยล์สูตรที่ไม่บดล็อกและบดล็อกด้วยเมทานอล พบว่าสูตรที่บดล็อกด้วยเมทานอล มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าและใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวน้อยกว่า
- 5.1.5 ยูรีเทนออยล์สูตรที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งมีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดต่ำกว่าที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอล โดยยูรีเทนออยล์สูตรที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการแห้งตัวมากกว่า 24 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่าคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์มาก (ไม่เกิน 2 ชั่วโมง)
- 5.1.6 จากการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์ม น้ำมันสนบูดำ และน้ำมันลินสีด พบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันลินสีด ใช้เวลาในการแห้งตัวของฟิล์มน้อยที่สุดในขณะที่การแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม ใช้เวลานานที่สุด
- 5.1.7 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า พบว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้ามีความหนืดสูงกว่าและใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวน้อยกว่า สำหรับสมบัติของฟิล์ม พบว่าสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือฟิล์ม มีความติดแน่น ความอ่อนตัว ความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนน้ำและความทนกรดดีเยี่ยม อย่างไรก็ตาม ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ มีความแข็งและความทนต่างต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งใช้เวลาในการแห้งตัวช้ามากจึงไม่สามารถนำไปใช้ในงานจริงได้ ทั้งนี้เพราะน้ำมันละหุ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณพันธะคู่ต่ำทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อย ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวมาก ดังนั้นอาจมีการปรับปรุงโดยการนำน้ำมันละหุ่งมาใช้ทดแทนกลีเซอรอลเพียงบางส่วนเท่านั้น

รายการอ้างอิง

- [1] อรรชชา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิชและแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2: กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [2] Wicks, Z.W.; Jones, F.N.; and Pappas, S.P. Organic Coating: Science and Technology. 2nd.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [3] Martens, C.R. Technology of Paints. Varnish and Lacquer. New York: Robert E. Krieger, 1974.
- [4] Australia. Oil and Colour Chemists' Association. Surface Coatings. vol.1: Raw Material and Their Usage. London: Chapman & Hall, 1933.
- [5] สุขใจ สืบตระกูล. รายงานผลการศึกษาวิจัย การผลิตและการค้ามะม่วงหิมพานต์และน้ำมันพืช "ทั้งอออยล์". กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายวิจัยสินค้าอุตสาหกรรม กองวิจัยสินค้าและการตลาด กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2519.
- [6] ประดิษฐ์ รังสฤษฏ์กุล. การผลิตและการค้าปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพมหานคร: กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2517.
- [7] วีระ เอกสมทราเมษฐ์. ปาล์มน้ำมันและการเพิ่มมูลค่า. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน 5 (กันยายน-พฤศจิกายน 2544): 7-10.
- [8] Meyer, P.; Techaphattana, N.; Manundawee, S.; Sangkeaw, S.; Junlakan, W.; and Tongurai, C. Epoxidation of Soybean Oil and Jatropha Oil. Thammasat Int .J. Sc. Tech 13 (2008): 1-5.
- [9] Openshaw , K. A review of Jatropha curcas: an oil plant of unfulfilled Promise. Biomass and Bioenergy 19 (2000): 1-15
- [10] วรินทร์ บำรุง และโกศล เกียรติบุญศรี. การปรับปรุงพันธุ์ละหุ่ง. ใน เอกสารประกอบการบรรยายรายวิชาการ. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสยามน้ำมันละหุ่ง จำกัด, 2540.
- [11] Ali, M.A.; Ooi, T.L.; Salmiah. A.; Ishiaku, U.S.; and Ishak, Z.A.M. New Polyester Acrylate Resins from Palm Oil for Wood Coating Application. Journal of Applied Polymer Science 79 (2001): 2156-2163.
- [12] Jacky, M.; Jacquer, L.; and Jean-Luc, G. Drier Influence on the Curing of Linseed Oil. Progress in Organic Coating 39 (2000): 107-113.

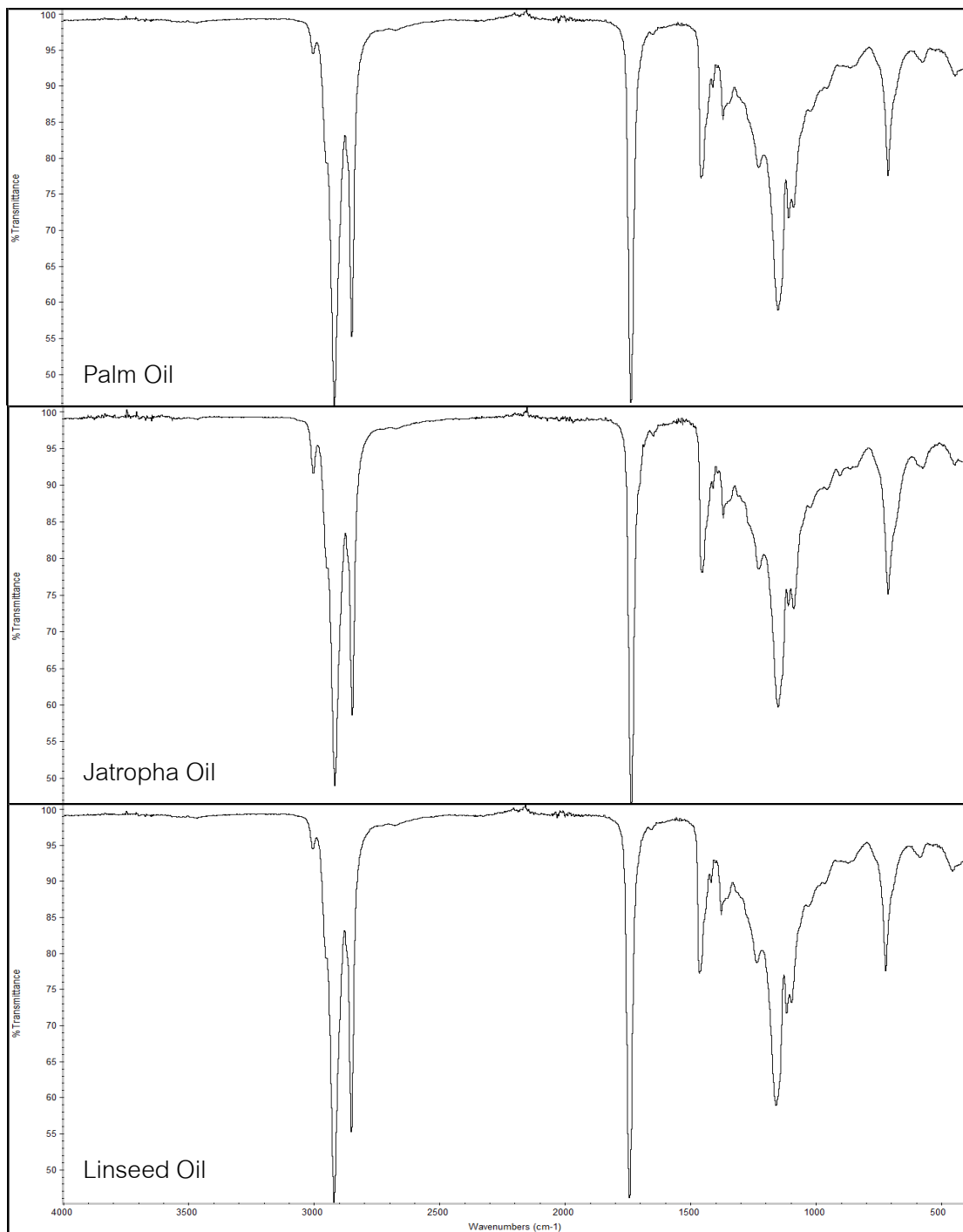
- [13] สละมาษฐ์ มนูญดาหี, ศศิธร แสงแก้ว และพิมพ์พรณ มายเออร์. การผลิตอีพอกซีไดซ์ไตรกลีเซอไรด์ จากน้ำมันสบูดำ เพื่อทดแทนการใช้สารประกอบอีพอกซีจากปิโตรเลียม. โครงการนศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551
- [14] Kabasakal, O.S.; Guner, F.S.; Arsian, A.; Ergan, A.; Erciyas, A.T.; and Yagci, Y. Use of Castor Oil in the Preparation of Various Oil-Based Binders. Journal of Coatings Technology 68 (1996): 57.
- [15] Saravari, O.; Phapant, P.; and Pimpan, V. Synthesis of Water-Reducible Acrylic-Alkyd Resins Based on Modified Palm Oil. Journal of Applied Polymer Science 96 (2005): 1170-1175.
- [16] Erciyas, A.T., Erkal, F.S.; and Kabasakal O.S. Investigation of Urethane Oils Based on Ecballium Elaterium and P. Mahaleb Seed Oils. Journal of Coating Technology 64 No.815 (1992): 64-69.
- [17] Guner, F.S.; Gumusel, A.; Calica, S.; and Erciyas, A.T. Study of Film Properties of Some Urethane Oils. Journal of Coatings Technology 74, 929 (2002): 55-59.
- [18] Mecit, O.; Akar, A. Synthesis of Urethane Oil Varnishes from Waste Poly(ethylene terephthalate). Macromolecular Materials and Engineering 286, 9 (2001): 513-515.
- [19] Saravari, O.; Vessabutr, B.; and Pimpan, V. Synthesis of Urethane Oils from Waste Poly(ethylene terephthalate) Bottles. Journal of Applied Polymer Science 92 (2004): 3040-3045.
- [20] Saravari, O; Pathomwattanasak, K. ; and Pimpan V. Synthesis of Urethane Oils from Palm Oil and Waste PET Bottles. Journal of Applied Polymer Science. 105 (2007) 1802-1807

ภาคผนวก

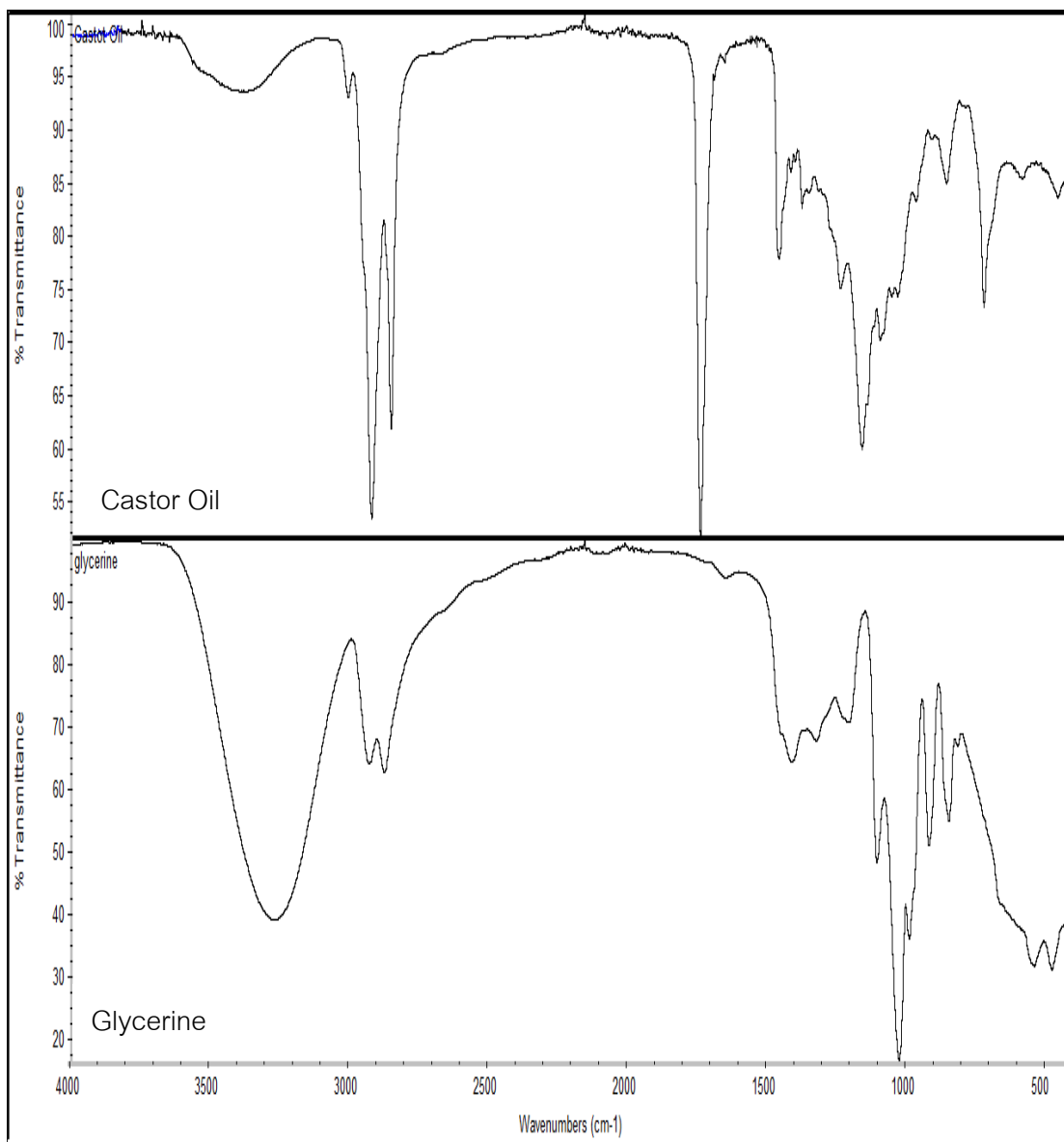
ภาคผนวก ก

การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

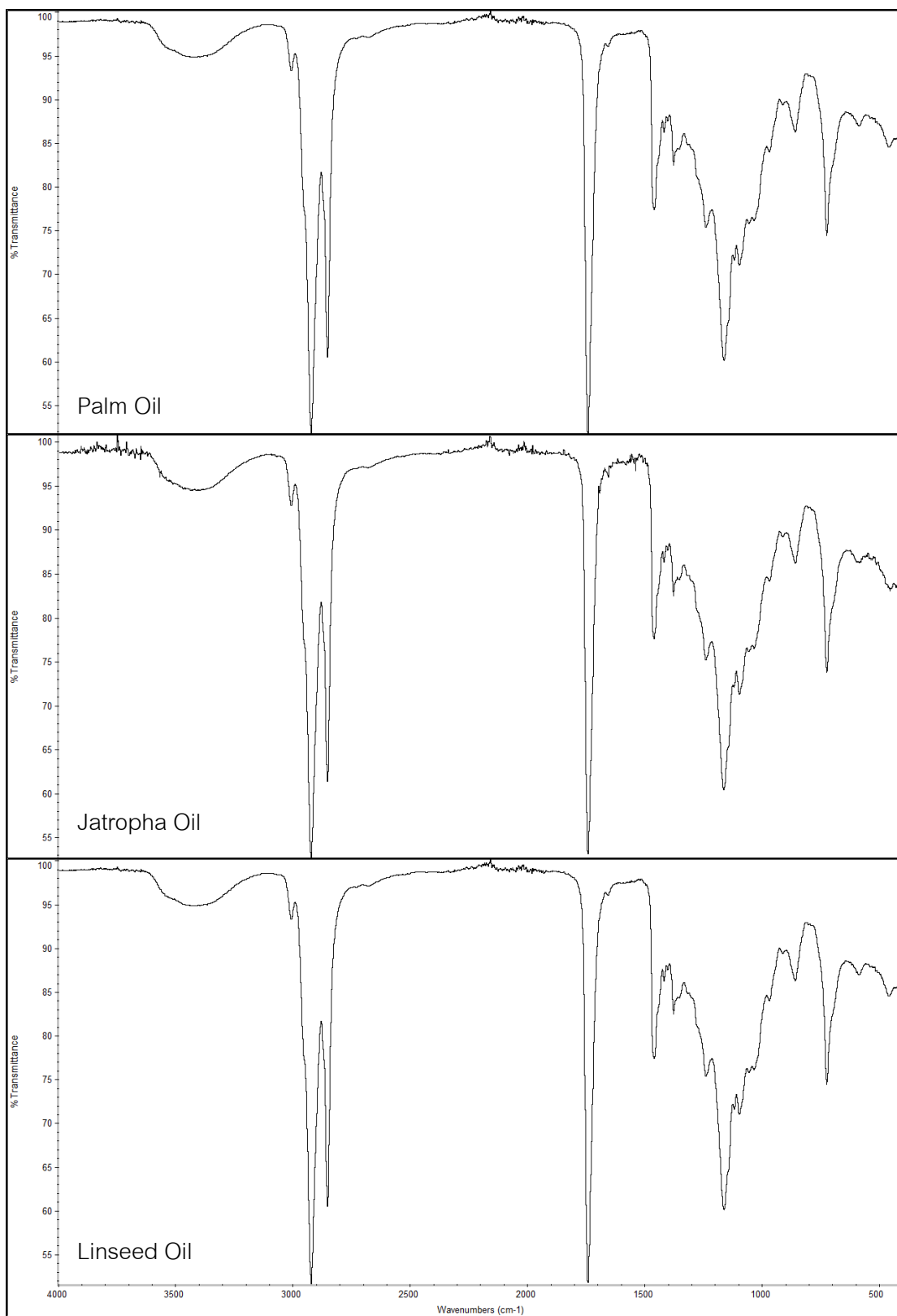
ก.1 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันชนิดต่างๆ



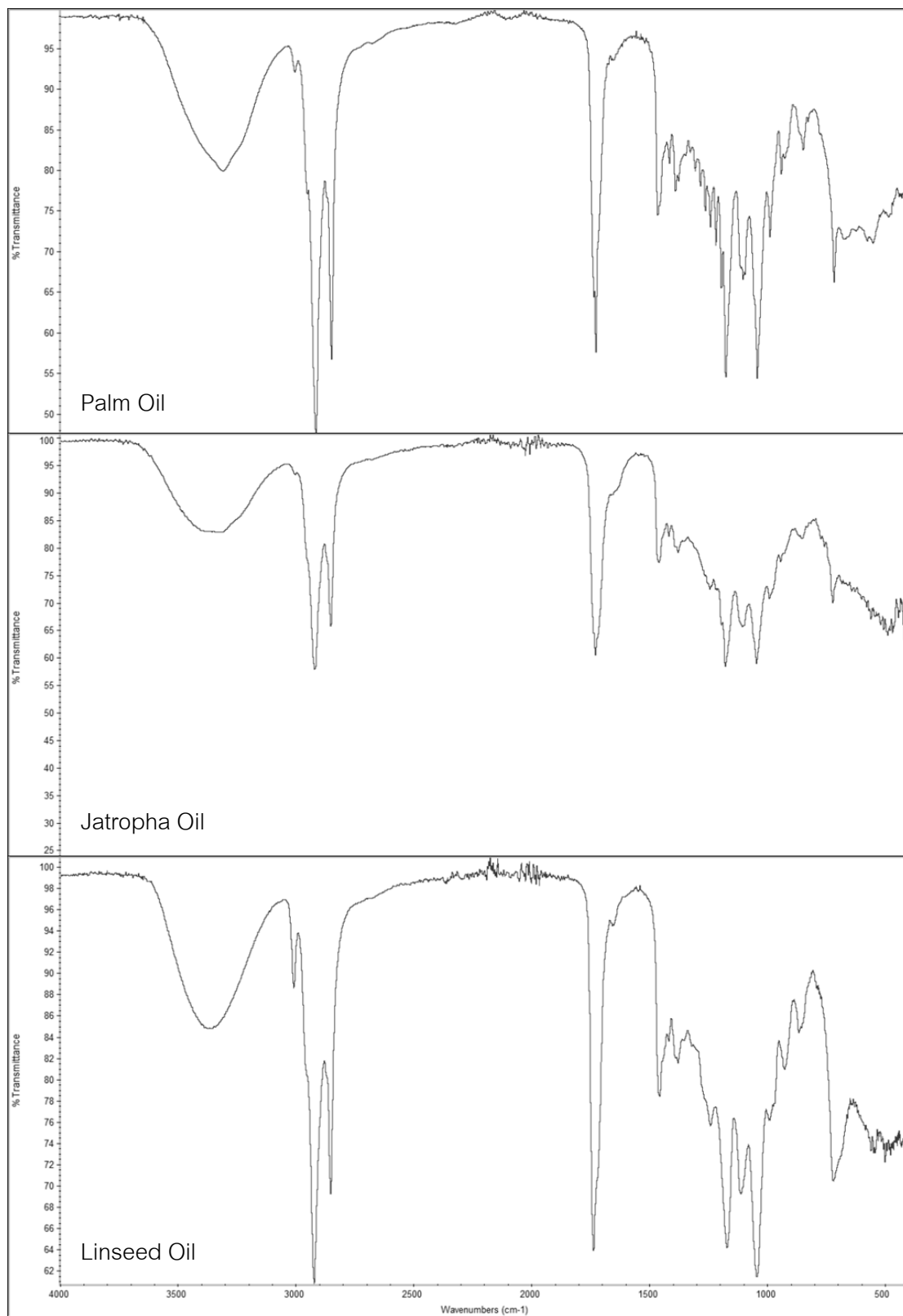
ก.2 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันละหุ่ง และกลีเซอรอล



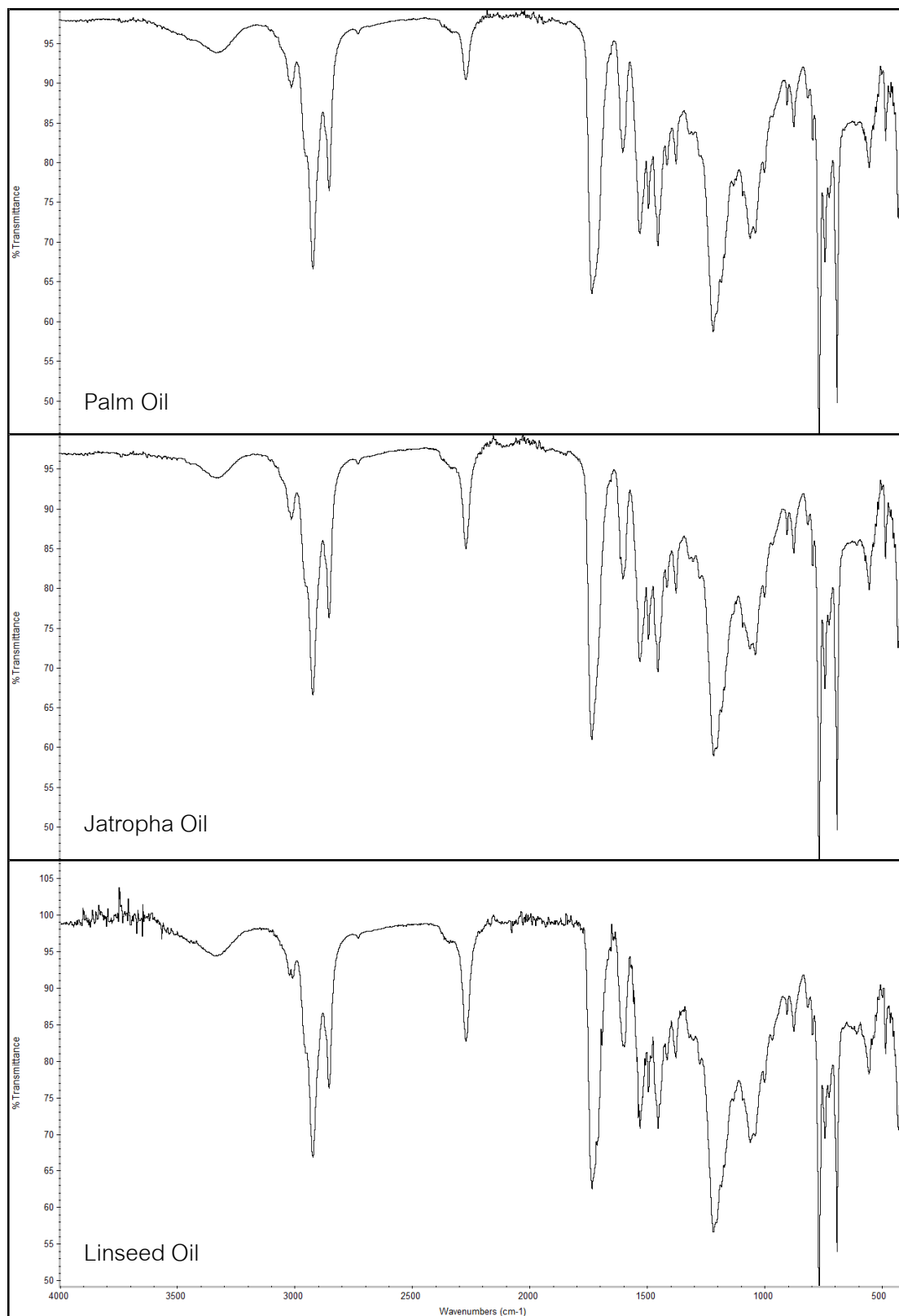
ก.3 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันผสม



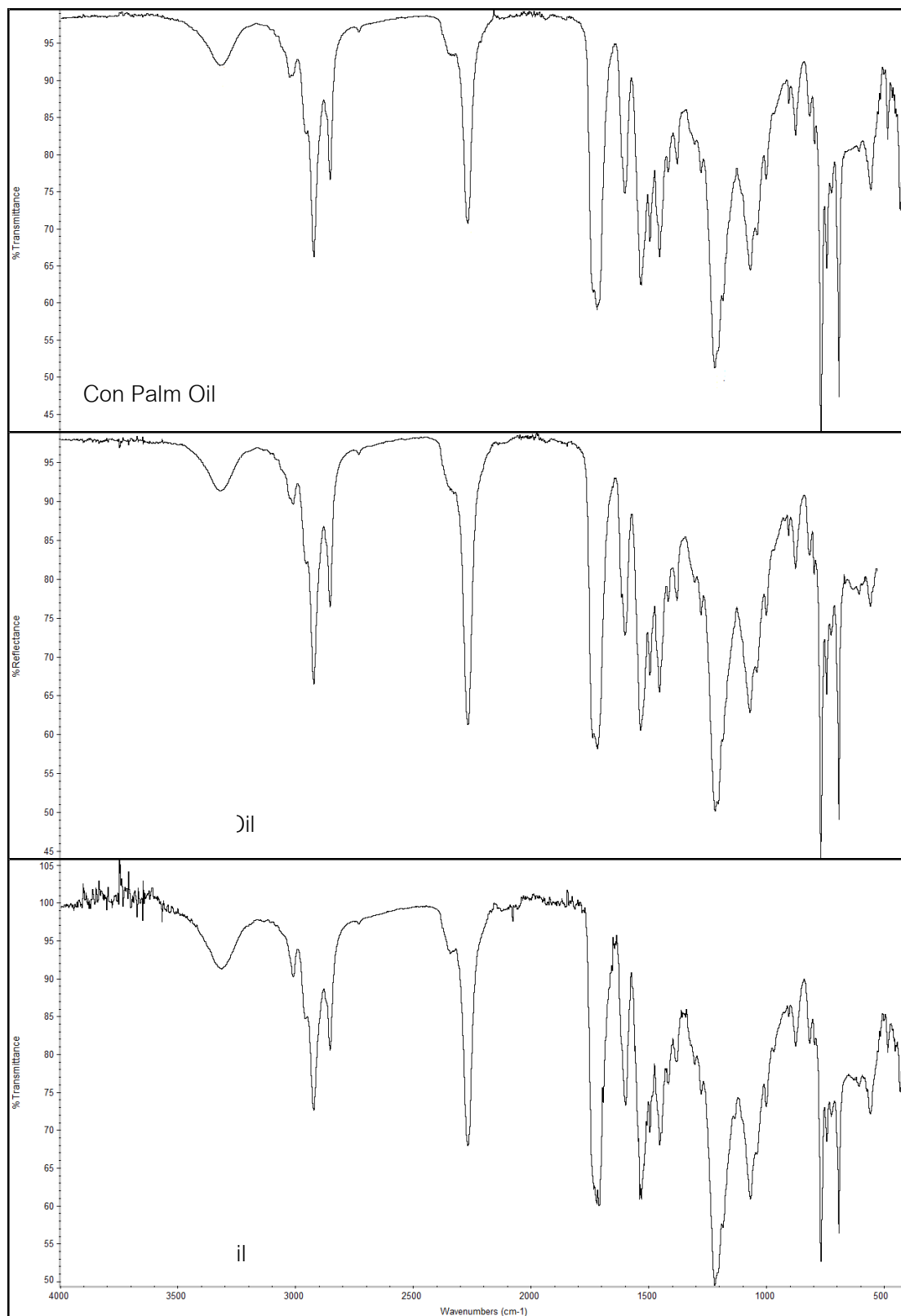
ก.4 FT-IR สเปกตรัมของ มอนนอและโดกลีเซอไรด์



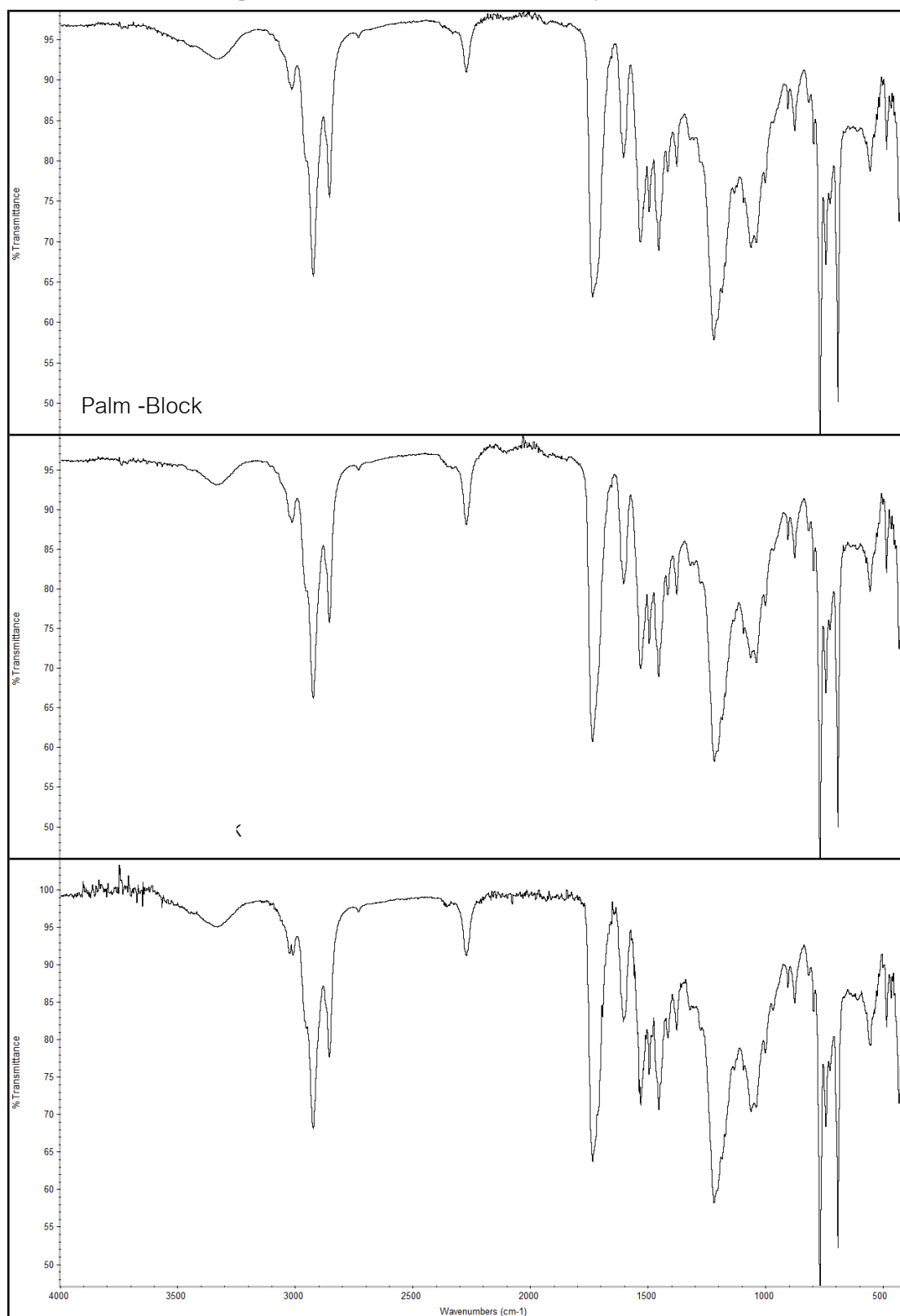
ก.5 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่ง



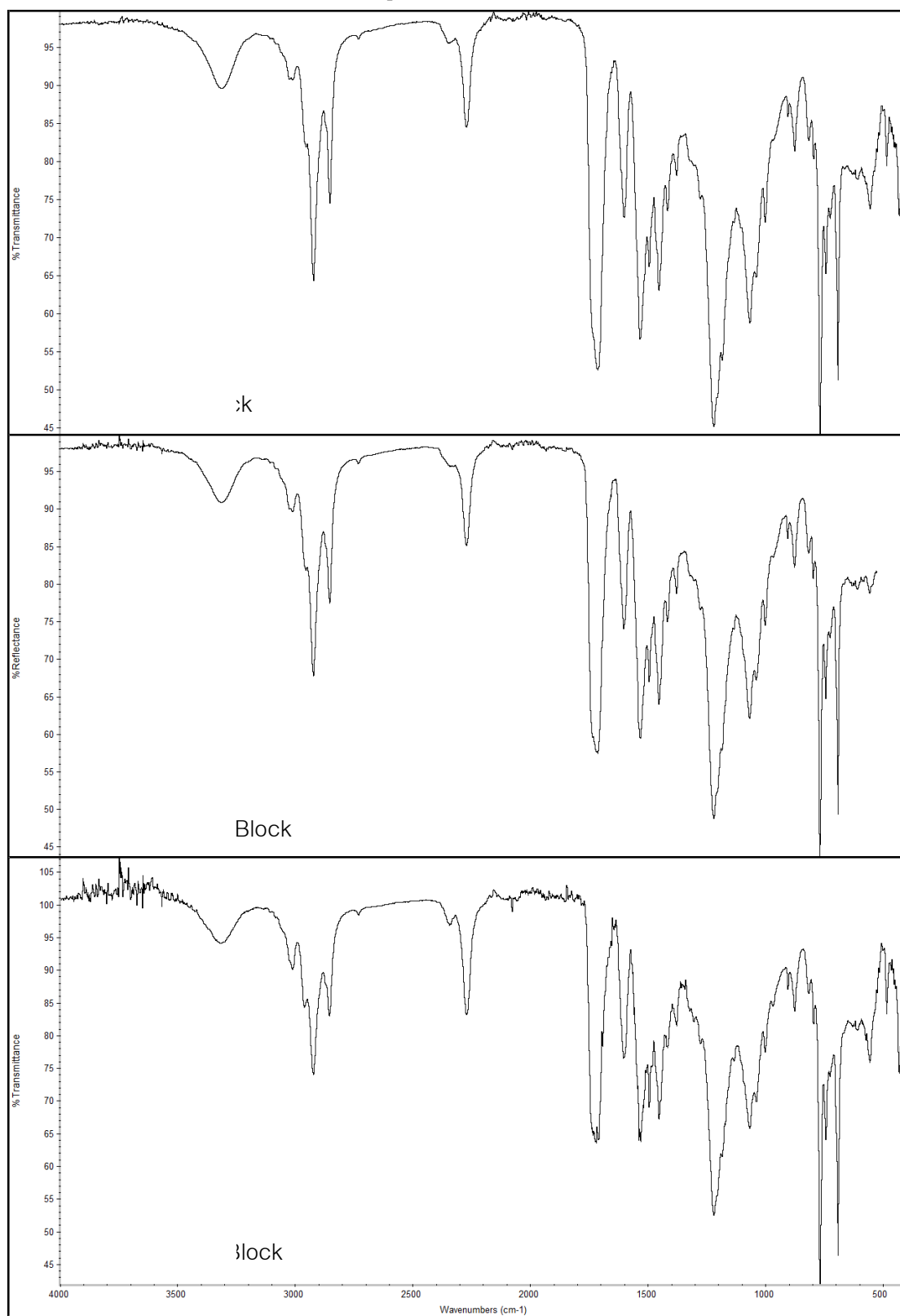
ก.6 FT-IR สเปกตรัมของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์



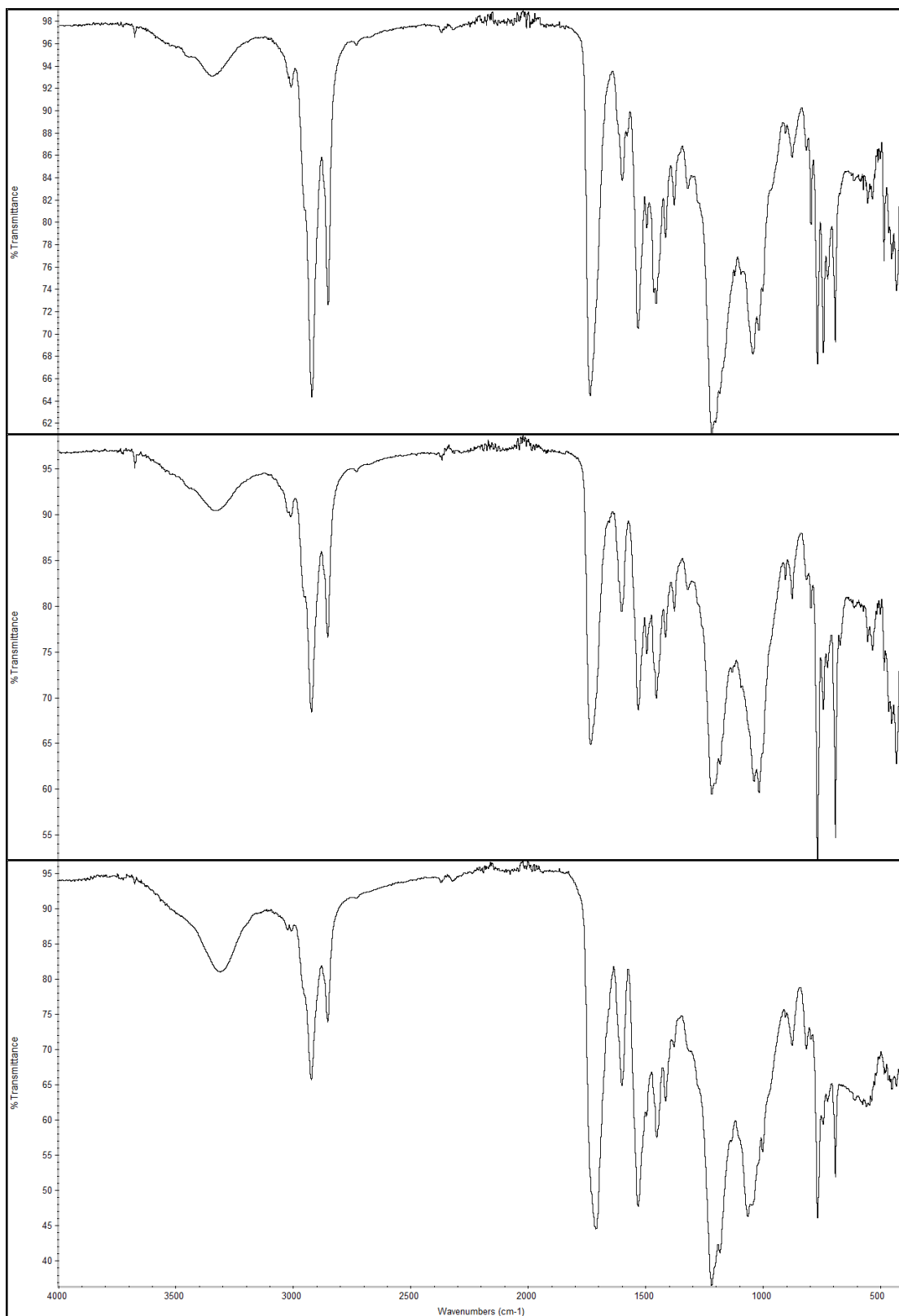
ก.7 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันละหุ่งโดยทำการบล็อกด้วยเมทานอล



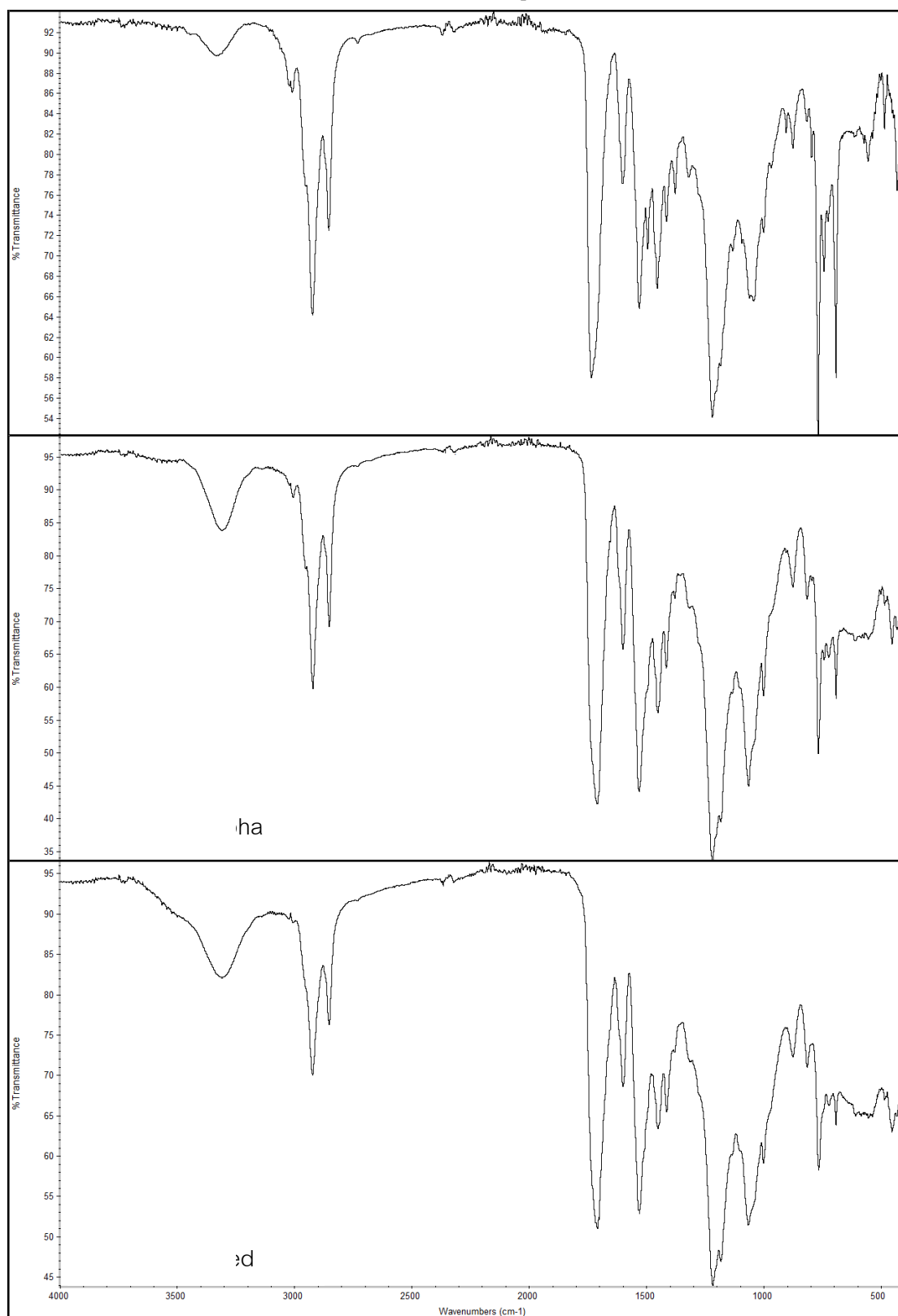
ก.8 FT-IR สเปกตรัมของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์โดยทำการบดด้วยเมทานอล



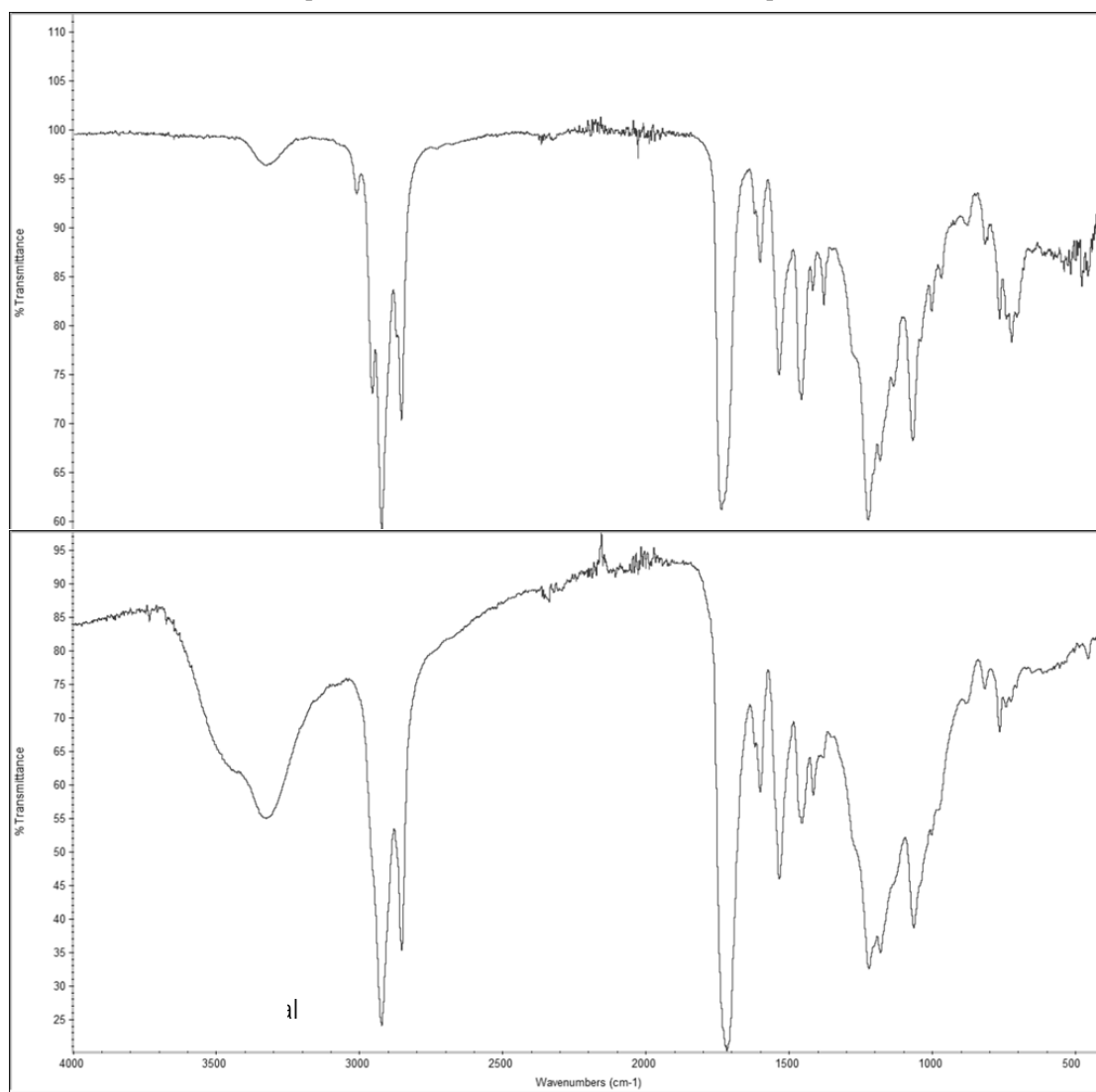
ก.9 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันผสม



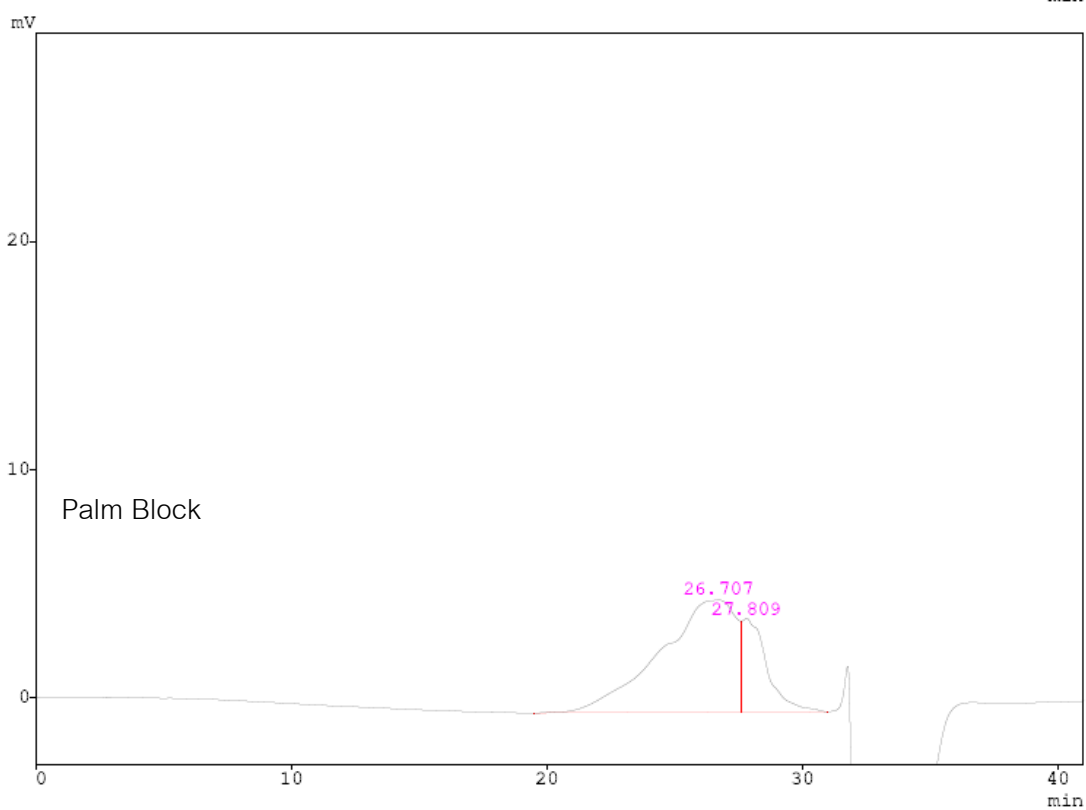
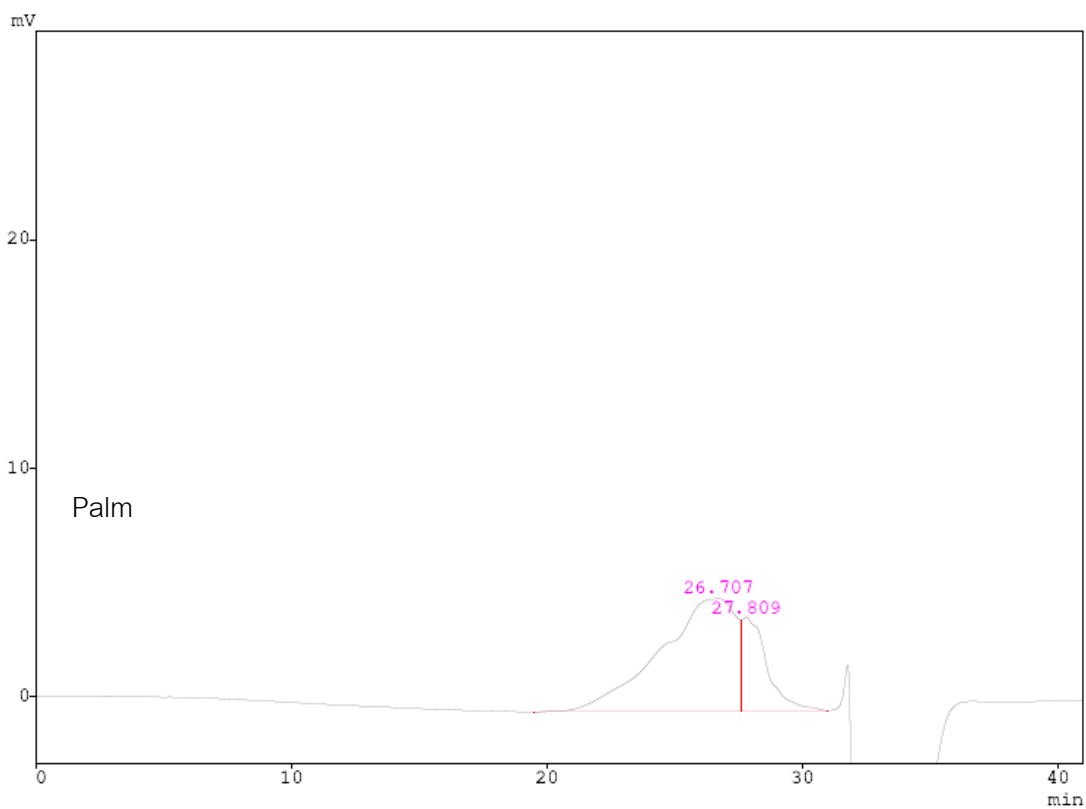
ก.10 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งของคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันผสม

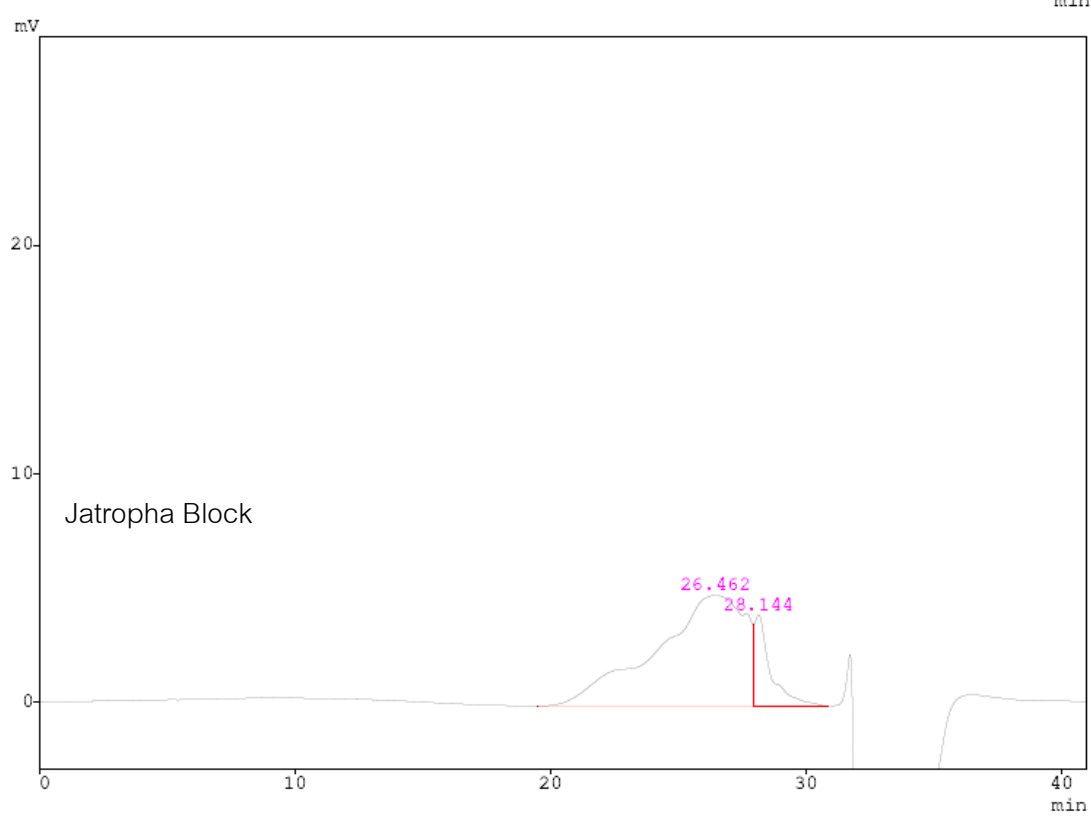
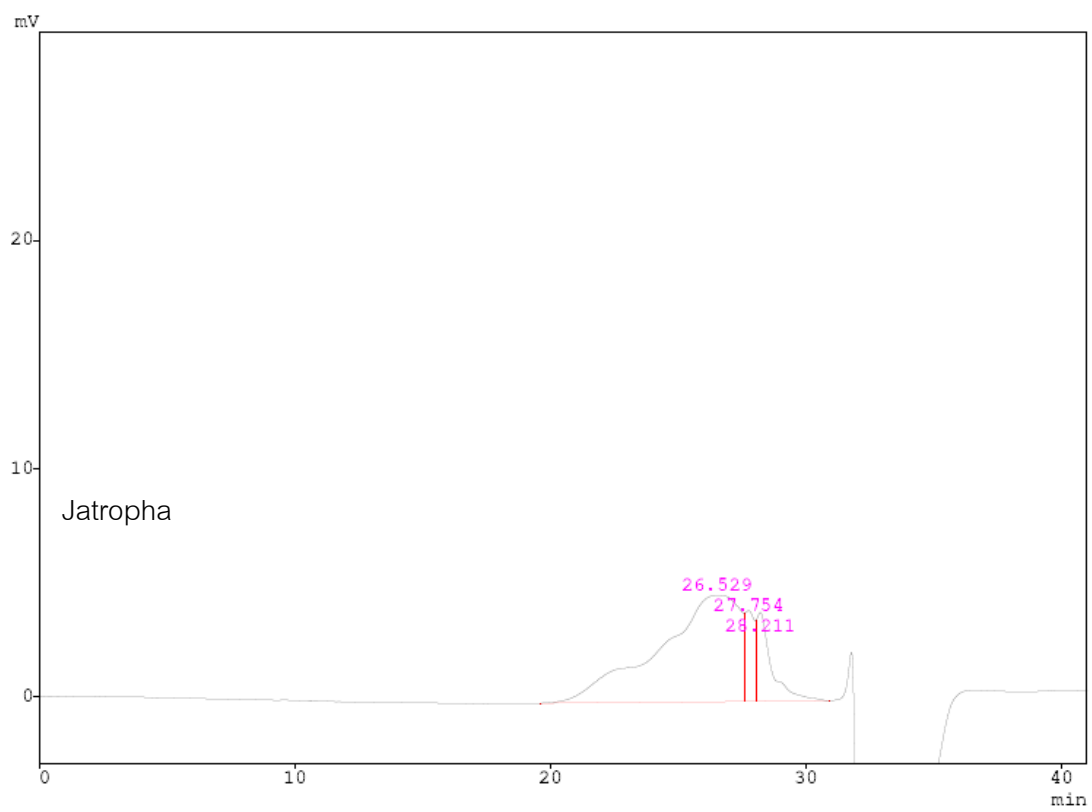


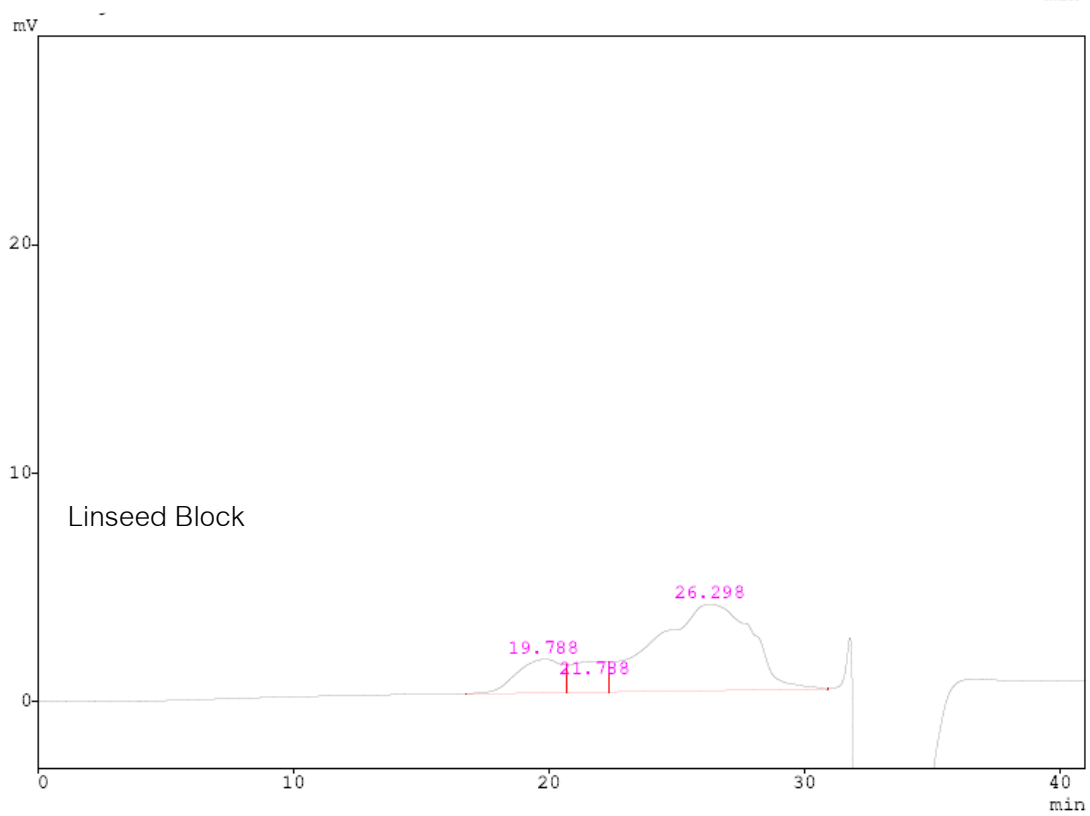
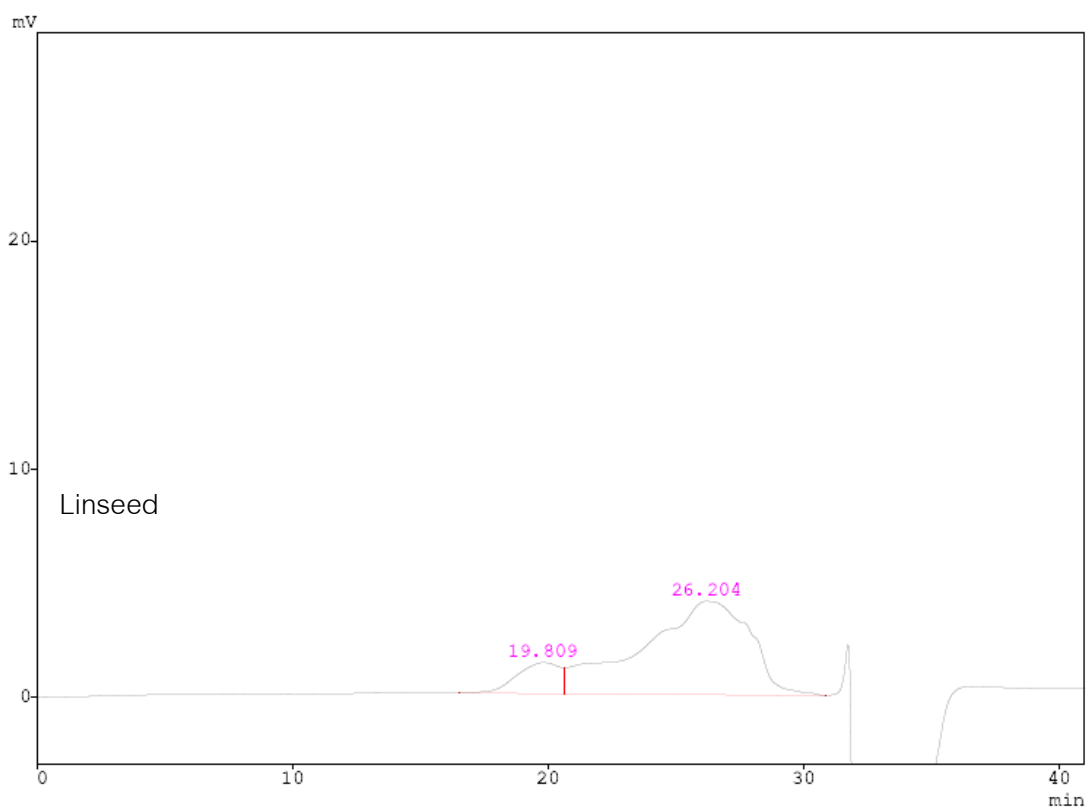
ก.11 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้าและฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ทางการค้า



ก.11 โคโรมาโทแกรมจากการศึกษาหน้าหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของ ยูรีเทนออลยีสูตอร์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิค GPC







ภาคผนวก ข

ข.1 ค่าของกรดของยูรีเทนออยล์

(ความเข้มข้น KOH = 0.09936)

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	ครั้งที่	น้ำหนักสาร ตัวอย่าง(กรัม)	ปริมาตร KOH (มิลลิลิตร)	ค่าของกรด
Palm	1	10.15	4.03	2.23
	2	10.34	3.96	2.14
	3	10.18	3.77	2.08
	เฉลี่ย			2.15
Palm-block	1	10.63	3.64	1.92
	2	10.95	4.53	2.32
	3	10.45	4.22	2.16
	เฉลี่ย			2.13
Jatropha	1	10.41	5.12	2.76
	2	10.26	4.28	2.34
	3	10.36	4.52	2.45
	เฉลี่ย			2.52
Jatropha-block	1	10.10	5.08	2.82
	2	10.48	5.53	2.96
	3	10.64	5.58	2.94
	เฉลี่ย			2.90
Linseed	1	10.98	6.13	3.13
	2	10.14	6.06	3.35
	3	10.65	6.25	3.29
	เฉลี่ย			3.27
Linseed-block	1	10.15	6.68	3.69
	2	10.72	7.49	3.92
	3	10.29	7.63	4.16
	เฉลี่ย			3.92

ข.1 (ต่อ)

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	ครั้งที่	น้ำหนักสาร ตัวอย่าง(กรัม)	ปริมาตร KOH (มิลลิลิตร)	ค่าของกรด
Con Palm	1	10.25	6.96	3.81
	2	9.86	6.92	3.94
	3	10.56	6.44	3.42
	เฉลี่ย			3.72
Con Palm-block	1	10.63	7.43	3.92
	2	11.12	8.80	4.44
	3	10.72	8.39	4.39
	เฉลี่ย			4.25
Con Jatropha	1	11.25	9.24	4.61
	2	10.14	7.84	4.34
	3	12.21	10.32	4.74
	เฉลี่ย			4.56
Con Jatropha-block	1	10.42	8.52	4.59
	2	10.31	8.58	4.67
	3	11.64	9.79	4.72
	เฉลี่ย			4.66
Con Linseed	1	11.92	11.30	5.32
	2	10.43	9.59	5.16
	3	12.87	12.87	5.61
	เฉลี่ย			5.36
Con Linseed-block	1	11.72	12.16	5.82
	2	11.56	10.65	5.17
	3	10.49	10.28	5.50
	เฉลี่ย			5.50

ข.2 ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ของยูรีเทนออยล์ (%NV)

สูตรยูรีเทนออยล์จาก น้ำมันละหุ่ง	น้ำหนักสารก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักสารหลังอบ (กรัม)	%NV
Palm	8.346	5.371	64.35
Palm-block	6.793	4.388	64.60
Jatropha	8.412	5.528	64.60
Jatropha-block	7.635	5.067	66.37
Linseed	8.329	5.6087	67.34
Linseed-block	8.694	5.811	66.84

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	น้ำหนักสารก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักสารหลังอบ (กรัม)	%NV
Con Palm	5.760	3.015	52.34
Con Palm-block	5.723	3.052	53.14
Con Jatropha	5.682	2.763	48.62
Con Jatropha-block	6.292	3.103	49.31
Con Linseed	6.351	3.375	53.15
Con Linseed-block	6.753	3.554	52.63

ข.3 ความถ่วงจำเพาะของยูรีเทนออยล์

สูตรยูรีเทนออยล์จาก น้ำมันละหุ่ง	น้ำหนักของถ้วยวัด ถ.พ ที่บรรจุ ยูรีเทนออยล์เต็มแล้ว	น้ำหนักของถ้วยวัด ถ.พ	ความถ่วงจำเพาะ
Palm	146.14	48.91	0.972
Palm-block	145.98	48.85	0.971
Jatropha	145.44	49.04	0.964
Jatropha-block	145.96	49.14	0.968
Linseed	144.25	48.88	0.952
Linseed-block	144.48	49.06	0.954

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	น้ำหนักของถ้วยวัด ถ.พ ที่บรรจุ ยูรีเทนออยล์เต็มแล้ว	น้ำหนักของถ้วยวัด ถ.พ	ความถ่วงจำเพาะ
Con Palm	142.92	48.82	0.941
Con Palm-block	146.14	48.94	0.972
Con Jatropha	145.14	48.89	0.963
Con Jatropha-block	146.10	48.86	0.972
Con Linseed	146.52	49.04	0.9748
Con Linseed-block	144.59	49.34	6.95

ข.4 ระยะเวลาในการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ (วัน:ชั่วโมง:นาที)

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	แห้งแตะได้ (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแตะไม่ติด (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแข็ง (วัน:ชั่วโมง:นาที)
Palm Oil	1:10:00	2:02:00	4:07:00
Palm Oil-Block	1:02:00	1:20:00	3:16:00
Jatropha Oil	1:02:00	1:23:00	3:10:00
Jatropha Oil-Block	0:23:40	1:18:00	3:02:00
Linseed Oil	0:20:20	1:15:00	2:18:00
Linseed Oil-Block	0:16:25	1:13:00	2:16:00

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	แห้งแตะได้ (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแตะไม่ติด (วัน:ชั่วโมง:นาที)	แห้งแข็ง (วัน:ชั่วโมง:นาที)
Con.Palm	0:00:20	0:00:40	0:01:50
Con.Palm-BI	0:00:20	0:00:40	0:01:35
Con.Jatropha	0:00:15	0:00:25	0:01:40
Con.Jatropha-BI	0:00:15	0:00:25	0:01:25
Con.Linseed	0:00:10	0:00:15	0:01:15
Con.Linseed-BL	0:00:10	0:00:15	0:01:10

ข.5 การทดสอบความแข็งด้วยการชุบซีด

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	ความแข็ง (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	550	550	550	550
Palm Oil-Block	550	550	550	550
Jatropha Oil	550	600	550	550
Jatropha Oil-Block	600	600	600	600
Linseed Oil	600	600	600	600
Linseed Oil-Block	600	600	700	600

สูตรคอนเว็นชันนอล ยูรีเทนออยล์	ความแข็ง (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	600	600	600	600
Palm Oil-Block	650	650	600	650
Jatropha Oil	600	650	600	600
Jatropha Oil-Block	600	600	600	600
Linseed Oil	600	600	700	600
Linseed Oil-Block	600	600	600	600

ข.6 การทดสอบความอ่อนตัวของฟิล์ม

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	ความอ่อนตัว (ϕ , มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	3	3	3	3
Palm Oil-Block	3	3	3	3
Jatropha Oil	3	3	3	3
Jatropha Oil-Block	3	3	3	3
Linseed Oil	3	3	3	3
Linseed Oil-Block	3	3	3	3

สูตรคอนเว็นชันนอล ยูรีเทนออยล์	ความอ่อนตัว (ϕ , มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	3	3	3	3
Palm Oil-Block	3	3	3	3
Jatropha Oil	3	3	3	3
Jatropha Oil-Block	3	3	3	3
Linseed Oil	3	3	3	3
Linseed Oil-Block	3	3	3	3

ข.7 การทดสอบความติดแน่น

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	ความติดแน่น			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	5B	5B	5B	5B
Palm Oil-Block	5B	5B	5B	5B
Jatropha Oil	5B	5B	5B	5B
Jatropha Oil-Block	5B	5B	5B	5B
Linseed Oil	5B	5B	5B	5B
Linseed Oil-Block	5B	5B	5B	5B

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	ความติดแน่น			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	5B	5B	5B	5B
Palm Oil-Block	5B	5B	5B	5B
Jatropha Oil	5B	5B	5B	5B
Jatropha Oil-Block	5B	5B	5B	5B
Linseed Oil	5B	5B	5B	5B
Linseed Oil-Block	5B	5B	5B	5B

ข.8 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

สูตรยูรีเทนออยล์ จากน้ำมันละหุ่ง	ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	160	160	160	160
Palm Oil-Block	160	160	160	160
Jatropha Oil	160	160	160	160
Jatropha Oil-Block	160	160	160	160
Linseed Oil	160	160	160	160
Linseed Oil-Block	160	160	160	160

สูตรคอนเวนชันนอล ยูรีเทนออยล์	ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Palm Oil	160	160	160	160
Palm Oil-Block	160	160	160	160
Jatropha Oil	160	160	160	160
Jatropha Oil-Block	160	160	160	160
Linseed Oil	160	160	160	160
Linseed Oil-Block	160	160	160	160

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างสูตรยูรีเทนออยล์

	ร้อยละโดยน้ำหนัก
น้ำมันถั่วเหลือง	20.000
เพนตะอิริททอล	8.900
แคลเซียมออกไซด์	0.015
มิเนอรัลสปิริต	26.000
โกลูอินไดไอโซไซยานต	19.000
มิเนอรัลสปิริต	26.000
สารเร่งแห้ง	0.060

จากการอ้างอิงสูตรของยูรีเทนออยล์ในข้างต้น สามารถคำนวณปริมาณของส่วนประกอบอื่นๆ เทียบกับปริมาณ TDI ที่ใช้ ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณน้ำมันปาล์ม (กรัม)} = \frac{20}{19} \times \text{ปริมาณ TDI (กรัม)}$$

$$\text{ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (กรัม)} = \frac{0.015}{19} \times \text{ปริมาณ TDI (กรัม)}$$

$$\text{ปริมาณโกลูอิน (กรัม)} = \frac{26}{19} \times \text{ปริมาณ TDI (กรัม)}$$

$$\text{ปริมาณสารเร่งแห้ง (กรัม)} = \frac{0.06}{19} \times \text{ปริมาณ TDI (กรัม)}$$

การคำนวณค่าไฮดรอกซิล

ค่าไฮดรอกซิลสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\frac{\text{ค่าไฮดรอกซิล}}{\text{(มิลลิกรัม KOH/กรัม)}} = \frac{(B-A) N \times 56.1}{W}$$

เมื่อ B คือ ปริมาตรของ ใช้ในการไทเทรต blank

A คือ ปริมาตรของ NaOH (มิลลิเมตร) ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้น (normality) ของ NaOH

W คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

โดยที่ ความเข้มข้น (normality) ของ NaOH สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Normality} = \frac{W}{V \times 0.2042}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของ $\text{NHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของ NaOH (มิลลิเมตร) ที่ใช้ในการไทเทรต $\text{NHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$

การคำนวณปริมาณโพลีอีทิลีนไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์

การคำนวณปริมาณของโพลีอีทิลีนไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในยูรีเทนออยล์จากน้ำมันละหุ่ง

น้ำหนักสมมูลสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\frac{56.1 \times 1000}{\text{ค่าไฮดรอกซิลของน้ำมันละหุ่ง}} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของโพลีอีทิลีนไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์}}{\text{จำนวนหมู่ฟังก์ชันของโพลีอีทิลีนไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์}}$$

$$\text{ค่าไฮดรอกซิลของน้ำมันละหุ่ง} = 160 \text{ mgKOH / g}$$

$$\text{น้ำหนักสมมูลของโพลีอีทิลีนไดออกไซด์ไฮดรอกไซด์} = \frac{174}{2} = 87.5$$

$$\text{น้ำหนักสมมูลของน้ำมันปาล์มดัดแปร} = \frac{5.6 \times 1000}{165} = 340$$

ปริมาณ TDI ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันละหุ่ง 100 ส่วนโดยน้ำหนัก

$$= \frac{100}{340} \times 87.5$$

$$= 25.74$$

การคำนวณปริมาณของโพลีอินไดไฮโดรไซยาเนตที่ใช้ในคอนเว็นชันนอลยูรีเทนออยล์

จากค่าไฮดรอกซิลสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของหมู่ OH ได้จากความสัมพันธ์

$$\text{จำนวนโมล OH} = \frac{\text{ค่าไฮดรอกซิล (มิลลิกรัม KOH/กรัม)} \times \text{ปริมาณสารตัวอย่าง (กรัม)}}{56.1 \times 1000 \times \text{จำนวนหมู่ฟังก์ชันใน 1 โมล}}$$

เนื่องจากกลีเซอรอล 1 โมล มี 3 โมล OH

และ โพลีอินไดไฮโดรไซยาเนต (TDI) 1 โมล มี 2 ดังโมล NCO

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{จำนวนโมลกลีเซอรอล} = \text{จำนวนโมล TDI}$$

จากสูตร 1:1 (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างระหว่าง OH:NCO = 1:1)

$$\text{จำนวนโมล NCO} = \text{จำนวนโมล OH}$$

$$\frac{\text{ปริมาณ TDI (กรัม)}}{\text{Mw ของ TDI}} = \text{จำนวนโมล OH}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{ปริมาณ TDI ที่ใช้ (กรัม)} = \text{จำนวนโมล OH} \times \text{Mw ของ TDI}$$

สูตร 1:0.8 (อัตราส่วนโดยระหว่างระหว่าง OH:NCO = 1:0.8)

$$\text{จำนวนโมล NCO} = 0.8 \times \text{จำนวนโมล OH}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{ปริมาณ TDI ที่ใช้ (กรัม)} = 0.8 \times \text{จำนวนโมล OH} \times \text{Mw ของ TDI}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสันห์ ประดิษฐ์วัฒนกิจ เกิดเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากภาควิชา วิทยาการ และวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2549 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายของ ปีการศึกษา 2552 รวมระยะเวลาในการศึกษา 3 ปี