

การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและขดเพตที่ใช้แล้ว



นางสาวเกศินี ปฐมวัฒน์ศักดิ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3884-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM PALM OIL AND WASTE PET BOTTLES



Miss Kesinee Pathomwattanasak

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
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

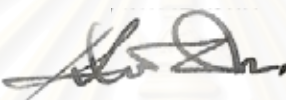
Academic Year 2005

ISBN 974-17-3884-6

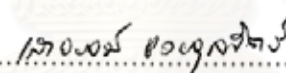
หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและขดเพดที่ใช้แล้ว  
โดย    นางสาวเกศินี ปฐมวัฒนศักดิ์  
สาขาวิชา                                    วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ  
อาจารย์ที่ปรึกษา                          รองศาสตราจารย์ อรุณา สรวารี  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม                      รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพพันธุ์

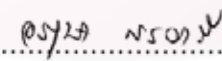
---


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


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

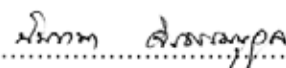
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจุลจิตร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ อรุณา สรวารี)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพพันธุ์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพพรพรรณ สันติสุข)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิธรรรมนกุล)

เกศินี ปฐมวัฒน์ศักดิ์ : การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและขวดPETที่ใช้แล้ว.  
(SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM PALM OIL AND WASTE PET BOTTLES)  
อ. ที่ปรึกษา : รศ.อรอุษา สรวารี, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ จำนวนหน้า  
114 หน้า. ISBN 974-17-3884-6.

งานวิจัยนี้เป็นการนำขวดPETที่ใช้แล้วมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้โพรพิลีนไกลคอล เป็นสารย่อยสลาย อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขวดต่อโพรพิลีนไกลคอลที่ใช้ เท่ากับ 37.5:62.5 และ ใช้ซิงก์แอซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ไกลโคไลซ์โพรดักต์ที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนอยู่ในช่วง 240-1107 จากนั้นนำไกลโคไลซ์โพรดักต์มาทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดัดแปร และโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนต เท่ากับ 1:1 ถึง 1:0.8 ทั้งที่ใช้และไม่ใช้เมทานอลเป็นสารบดออก ได้ยูรีเทนออยล์เป็นผลิตภัณฑ์ โดย น้ำมันปาล์มดัดแปรเตรียมได้จากปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันลินสีด ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 และใช้ไซเตียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการทดลองพบว่า ยูรีเทนออยล์ที่เตรียมได้ทุกสูตรมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด ใส สีเหลืองอ่อน และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง หรือเมื่อบดออกยูรีเทนออยล์ด้วยเมทานอล ทำให้ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์มีแนวโน้มสูงขึ้น และระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มลดลง ส่วนสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้พบว่า ทุกสูตรมีความแข็งดี ความอ่อนตัวและความทนทานต่อแรงกระแทกดีมาก ความทนน้ำดีเยี่ยม ความทนกรดดี แต่ความทนด่างพอใช้ อีกทั้งยังมีความติดแน่นที่ดีกว่าฟิล์มยูรีเทนออยล์ทางการค้า

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต.เกศินี ปฐมวัฒน์ศักดิ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา. อรุษา สรวารี  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

## 4772224923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: URETHANE OIL / PALM OIL / PET / RECYCLE / GLYCOLYSIS

KESINEE PATHOMWATTANASAK : SYNTHESIS OF URETHANE OILS FROM PALM OIL AND WASTE PET BOTTLES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ONUSA SARAVARI, THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D. 114 pp. ISBN 974-17-3884-6.

Waste PET bottles was depolymerized by propylene glycol at a weight ratio of PET to propylene glycol 37.5:62.5, using zinc acetate as a catalyst. The glycolyzed product, consisting of oligomeric diols with a number-average molecular weight range of 240-1107, was obtained. It was further reacted with palm oil or modified palm oil and tolylene diisocyanate to obtain urethane oils at hydroxyl to isocyanate ratios from 1:1 to 1:0.8, with and without methanol acting as a blocking agent. Modified palm oil was produced by interesterification of palm oil with linseed oil at a weight ratio of 1:1, using sodium hydroxide as a catalyst.

It was found that all the synthesized urethane oils were yellowish transparent liquids of low molecular weights. A lower isocyanate content or the presence of a blocking agent resulted in higher viscosity, higher molecular weight and shorter drying time. The films of all synthesized urethane oils exhibited good hardness, excellent flexibility and high impact strength. They also showed excellent water resistance, good acid resistance but only fair alkali resistance. Moreover, these prepared urethane oils had better adhesion compared to those of the commercial urethane oil.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2005

Student's signature *Kesine Pathomwattanasak*

Advisor's signature *Onusa Saravari*

Co-advisor's signature *Vimolvan Pimpan*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือ และการแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ.อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหา และแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหา และแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. รศ.เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
4. รศ.ไพพรรณ สันติสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
5. ผศ.ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
6. บริษัท สยามเคมีคัลอินดัสตรี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุดิบในการทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง GPC
7. บริษัท ไทยमितซูย สเปนเซียลตี้ จำกัด และ บริษัท โอลีน จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุดิบและสารเคมีในการทำวิจัย
8. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการใช้เครื่อง GPC
9. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่อง GC
10. บริษัท แผ่นเหล็กวิลาสไทย จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อแผ่นเหล็กเคลือบตีบุก เพื่อใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทรรศน์.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเพต.....	4
2.2 การสังเคราะห์เพต.....	5
2.3 การย่อยสลายเพต.....	7
2.4 สารเคลือบผิว.....	11
2.4.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว.....	11
2.4.2 ประเภทของสารเคลือบผิว.....	11
2.4.3 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว.....	12
2.4.4 การเกิดฟิล์ม.....	13
2.4.5 การแห้งของสารเคลือบผิว.....	14
2.5 สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	15
2.5.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	15
2.5.1.1 ไอโซไซยาเนต.....	15
2.5.1.2 พอลิฮอล.....	16
2.5.1.3 สมบัติของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	16
2.5.2 ประเภทของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน.....	16
2.6 ยูรีเทนออยล์.....	18
2.6.1 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	18



บทที่	หน้า
2.6.1.1 น้ำมัน.....	18
2.6.1.2 ไดไอโซไซยาเนตและพอลิออล.....	29
2.6.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	29
2.6.3 กลไกการเกิดพอลิเมโรเซชันและการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์.....	30
2.6.4 สมบัติและการใช้งานของยูรีเทนออยล์.....	31
3 การทดลอง.....	34
3.1 การเตรียมไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตที่ใช้แล้ว.....	34
3.2 การดัดแปรน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	38
3.3 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	40
3.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์.....	45
3.4.1 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว.....	45
3.4.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์.....	48
3.4.3 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้า	53
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	54
4.1 การเตรียมไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตที่ใช้แล้ว.....	54
4.1.1 ลักษณะของไกลโคไลซ์โพรดักส์.....	54
4.1.2 การหาน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค GPC.....	55
4.1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี	57
4.1.4 การหาค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์.....	59
4.2 การดัดแปรน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	60
4.2.1 การตรวจสอบชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันด้วยเทคนิค GC.....	60
4.2.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร.....	61
4.3 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์.....	62
4.3.1 การวิเคราะห์หมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิส.....	62
4.3.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี...	64
4.3.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์แต่ละขั้นตอน.....	70
4.3.4 การหาน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์.....	71
4.3.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิค DSC....	73



บทที่	หน้า
4.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์.....	75
4.4.1 การทดสอบสมบัติในสถานะของเหลว.....	75
4.4.2 การทดสอบความสามารถในการละลาย.....	77
4.4.3 การทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว.....	78
4.4.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์.....	80
4.4.4.1 สมบัติเชิงกล.....	80
4.4.4.2 การทดสอบความทนน้ำ ทนกรด และทนด่าง.....	81
4.4.5 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ ทางการค้า.....	83
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก.....	91
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	114

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ..... 20
ตารางที่ 2.2	ผลของปริมาณและชนิดของน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยูรีเทนออยล์..... 22
ตารางที่ 2.3	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีน้ำมันปาล์ม..... 23
ตารางที่ 2.4	ตัวอย่างของพอลิออลที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์..... 28
ตารางที่ 3.1	ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ..... 42
ตารางที่ 3.2	การจัดลำดับความบกพร่องของฟิล์มจากการกรีดเป็นตาราง..... 51
ตารางที่ 4.1	น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์.. 54
ตารางที่ 4.2	ค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์..... 58
ตารางที่ 4.3	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร..... 59
ตารางที่ 4.4	สมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร..... 60
ตารางที่ 4.5	น้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์แต่ละชั้นตอนจากการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8..... 69
ตารางที่ 4.6	น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์..... 70
ตารางที่ 4.7	สมบัติทางความร้อนของฟิล์มยูรีเทนออยล์..... 72
ตารางที่ 4.8	สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว..... 74
ตารางที่ 4.9	ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายของยูรีเทนออยล์..... 76
ตารางที่ 4.10	ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์..... 77
ตารางที่ 4.11	สมบัติเชิงกลของยูรีเทนออยล์..... 79
ตารางที่ 4.12	สมบัติความทนน้ำ ทนกรด และทนด่างของฟิล์มยูรีเทนออยล์..... 80
ตารางที่ 4.13	สมบัติของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ..... 82

## สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลปาล์มน้ำมัน.....	23
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันภายในโมเลกุลและ ปฏิกริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโมเลกุล.....	27
รูปที่ 3.1 พูรีयरทรานสฟอร์เมอร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ของ Nicolet รุ่น Impact 400 D.....	35
รูปที่ 3.2 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟ ของ Waters รุ่น Waters 1515.....	35
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การย่อยสลายขวดเพต.....	37
รูปที่ 3.4 แก๊สโครมาโทกราฟ ของ Shimatsu รุ่น GC 17.....	39
รูปที่ 3.5 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟ ของ Shimadzu รุ่น 10 AVP.....	41
รูปที่ 3.6 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ของ Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC...	41
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การสังเคราะห์ฮอร์โมนและไดกลีเซอไรด์.....	42
รูปที่ 3.8 มาตรฐานหนืดแบบบรูคฟิลด์.....	45
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสีแบบการ์ดเนอร์.....	46
รูปที่ 3.10 แอปพลิเคเตอ์.....	48
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขูดขีด.....	49
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก.....	50
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย.....	50
รูปที่ 3.14 Cross Hatch Cutter.....	51
รูปที่ 4.1 ขวดเพตที่ผ่านการบดแล้ว.....	54
รูปที่ 4.2 ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพตด้วยวิธีไกลโคลิซิส.....	54
รูปที่ 4.3 GPC โครมาโทแกรมของไกลโคไลซ์โพรดักส์.....	55
รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์.....	57
รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่างขวดเพตและไกลโคไลซ์โพรดักส์.....	58
รูปที่ 4.6 สีและลักษณะของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร.....	61
รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง ไกลโคไลซ์โพรดักส์ น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มดัดแปร และมोनอและไดกลีเซอไรด์.....	63
รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8.....	64

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8 เปรียบเทียบระหว่าง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง.....	65
รูปที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ เปรียบเทียบระหว่างยูรีเทนออยล์ทางการค้า และยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.11 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ.....	69
รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC.....	73
รูปที่ 4.13 สีและลักษณะของยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ.....	76



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบัน พลาสติกจัดเป็นวัสดุที่มีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติชนิดอื่นๆได้ เช่น ไม้ และเหล็ก อีกทั้งยังมีสมบัติที่เหนือกว่า เช่น น้ำหนักเบา ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย สีสนสวยงาม และสามารถดัดแปลงให้มีรูปทรงต่างๆได้ง่าย เป็นต้น นอกจากนี้ ในการผลิตพลาสติก ยังสามารถผลิตให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการ ขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบ และกระบวนการผลิต อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติได้ง่าย ด้วยการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เช่น พลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) สารดัดแปร (modifier) สารตัวเติม (filler) สารคงสภาพ (stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) สารหล่อลื่น (lubricant) และผงสี (pigment) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ขอบข่ายการใช้งานของพลาสติกเป็นไปอย่างกว้างขวาง สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้หลากหลาย

แม้ว่าพลาสติกจะมีข้อดีหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว แต่พลาสติกก็มีข้อเสียที่สำคัญมากประการหนึ่ง คือ ย่อยสลายทางธรรมชาติได้ยาก ต้องใช้ระยะเวลายาวนานในการย่อยสลาย ดังนั้น การที่ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ก็ย่อมส่งผลให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกตามมา ซึ่งถือเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง

การแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ การนำขยะพลาสติกนี้กลับมาใช้ใหม่ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “รีไซเคิล” (recycle) ซึ่งหมายถึง การนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตหรือผ่านการใช้งานแล้ว มาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์อีกครั้ง การรีไซเคิลแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางกายภาพ และการรีไซเคิลทางเคมี โดยการรีไซเคิลทางกายภาพนั้น เป็นการแยกพลาสติกตามประเภท และทำความสะอาดก่อนนำไปหลอมเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณพลาสติกบริสุทธิ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ส่วนการรีไซเคิลทางเคมี ทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการทำให้พลาสติกกลายเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเคมี หรือพลาสติกชนิดอื่นต่อไปได้ จะเห็นได้ว่า การรีไซเคิล นอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกได้แล้ว ยังสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อีกด้วย

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [poly(ethylene terephthalate); PET] หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า “เพต” เป็นพลาสติกที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความทนทานต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศธรรมชาติ มีความใส น้ำหนักเบา ขึ้นรูปง่าย แข็งแรง ทนทาน ไม่เปราะ และยังสามารถป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊สต่างๆได้ดี จึงทำให้เพตเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมพลาสติก พิล์ม สิ่งทอ และบรรจุภัณฑ์

องค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ให้การรับรองว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเพต สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ ดังนั้น เพตจึงได้รับความนิยมในการนำไปผลิตขวดน้ำดื่มและน้ำอัดลม ซึ่งต้องการความใสและความสะอาด ปัญหาที่ตามมา คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเพตเหล่านี้เป็นแบบใช้แล้วทิ้ง ไม่นิยมนำไปหลอมขึ้นรูปเพื่อนำกลับมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดิมอีกครั้ง เนื่องจากสมบัติต่างๆ รวมทั้งความใสจะด้อยลง และยังทำให้ผู้บริโภคเกิดความไม่เชื่อมั่นในความสะอาด ด้วยเหตุนี้ การย่อยสลายเพตด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงสำหรับการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตหรือสังเคราะห์สารชนิดอื่น จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการนำผลิตภัณฑ์จำพวกเพตกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง

ก่อนหน้านี้ มีบางงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำไกลโคไลซ์โพรดักส์จากการย่อยสลายขวดเพตมาใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมกับน้ำมันและไอโซไซยานาต เพื่อผลิตเป็นยูรีเทนออยล์ เช่น งานวิจัยของ Saravari O., Vessabutr B., Pimpan V. [1] ได้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพตร่วมกับน้ำมันถั่วเหลืองและโพลีลีนไดไอโซไซยานาต และงานวิจัยของ Mecit O. และ Akar A. [2] ที่พยายามสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากขยะเพต โดยนำเพตมาย่อยสลายด้วยไกลคอลชนิดต่างๆ แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันถั่วเหลืองและกลีเซอรินร่วมกับโพลีลีนไดไอโซไซยานาต ได้เป็นยูรีเทนออยล์ จะเห็นได้ว่าการนำน้ำมันมาใช้ในการสังเคราะห์สารเคลือบผิวชนิดยูรีเทนออยล์ ซึ่งไม่เพียงแต่น้ำมันถั่วเหลืองเท่านั้น น้ำมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันปาล์ม ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน

น้ำมันปาล์ม จัดเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่มีการผลิตในประเทศไทยมากที่สุด และเป็นน้ำมันพืชของไทยเพียงชนิดเดียวที่ไม่ต้องเสียดุลการค้านำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง และยาขจัดร่องเท้า เป็นต้นแล้ว ก็ยังไม่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันปาล์มได้มากนัก ดังนั้น การศึกษาแนวทางในการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ น้ำมันปาล์มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง



อุตสาหกรรมเคลือบผิว เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการนำน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆมาใช้ในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันทั้ง น้ำมันลินสีด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันละหุ่ง โดยน้ำมันจะช่วยลดความเปราะของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีความอ่อนตัวมากขึ้น ดังนั้น หากสามารถนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้ ก็น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้แล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่น้ำมันปาล์มได้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำขวดเพตที่ใช้แล้วมาผ่านการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เพื่อให้ได้สารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกลง แล้วนำผลิตผลจากการย่อยสลายนี้ไปใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมกับน้ำมันปาล์มและโทลีนไดไอโซไซยาเนต ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ (urethane oil) หรือยูรัลคิต (uralkyd) ซึ่งเป็นพอลิยูรีเทนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว จากนั้น วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้า



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### วารสารปริทรรศน์

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเพต

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [Poly(ethylene terephthalate)] หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “เพต” (PET) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่อิมิตัว จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความสำคัญในทางอุตสาหกรรมชนิดหนึ่ง โดยเริ่มแรกนำมาผลิตในรูปของเส้นใยที่เรียกว่า “เส้นใยพอลิเอสเทอร์” มีชื่อทางการค้าว่า แดครอน (Dacron<sup>®</sup>) และเทอริลีน (Terylene<sup>®</sup>) ผู้ค้นพบคือ วินฟิลด์และดิกสัน (Whinfield & Dickson) ซึ่งค้นพบว่า พอลิเอสเทอร์ที่เตรียมได้มีจุดหลอมเหลวสูง และละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ยาก จึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นเส้นใยสิ่งทอ

เมื่อปี ค.ศ. 1970 ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้เริ่มมีการนำเพตมาใช้ในการงานด้านบรรจุภัณฑ์ โดยเริ่มแรกมีการผลิตขึ้นในรูปของขวดน้ำดื่มและขวดน้ำอัดลม เพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้วและอะลูมิเนียม ซึ่งบรรจุภัณฑ์จากเพตได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเพตมีสมบัติเด่นหลายประการ ดังนี้

- (1) มีความทนทานต่อแรงกระแทกและการตกกระทบได้ดี จึงไม่แตกง่ายเหมือนแก้ว
- (2) มีความใส เหมาะกับการทำบรรจุภัณฑ์
- (3) น้ำหนักเบา
- (4) สามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันสูงได้
- (5) ปลอดภัยต่ออาหารที่สัมผัส และไม่ทำให้รสชาติอาหารเสียไป

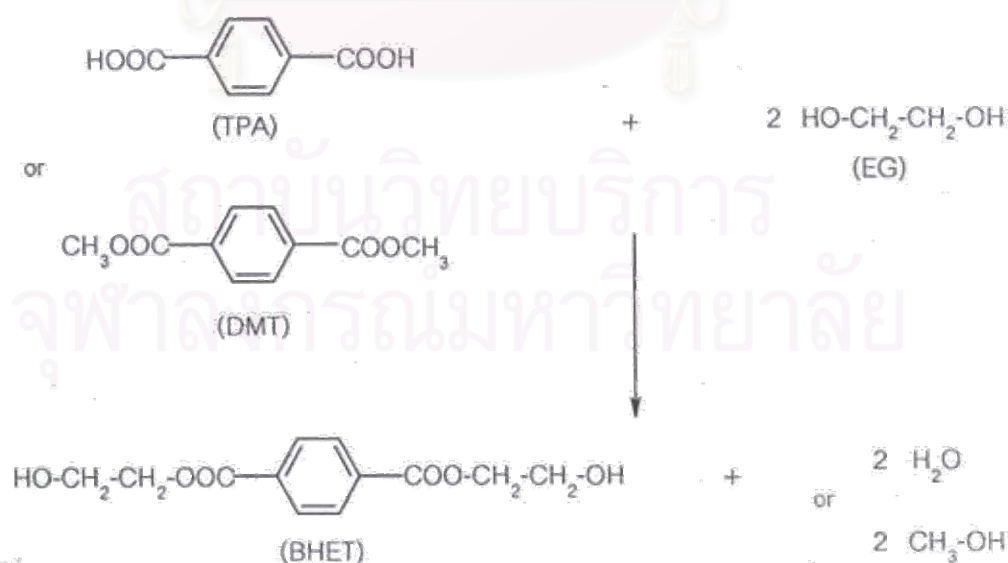
จะเห็นได้ว่า เพตมีสมบัติเด่นต่างๆที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารต่างๆ ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำอัดลม เป็นต้น [3]

## 2.2 การสังเคราะห์เพต

การสังเคราะห์เพต ทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรง (direct esterification) ระหว่างกรดเทเรพทาติก (terephthalic acid; TPA) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol; EG) หรืออาจใช้ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ (ester interchange) ระหว่างไดเมทิลเทเรพทาเลต (dimethyl terephthalate; DMT) และเอทิลีนไกลคอล ซึ่งส่วนใหญ่ในทางอุตสาหกรรมมักนิยมใช้การสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาแบบหลังมากกว่า เนื่องจากการทำให้ไดเมทิลเทเรพทาเลตมีความบริสุทธิ์ สามารถทำได้ง่ายโดยการกลั่นแบบลดความดัน หรือการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ดีในเอทิลีนไกลคอล จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดีในระยะเริ่มแรกของปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้าม การทำให้กรดเทเรพทาติกมีความบริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก อีกทั้งยังมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายทั่วไปต่ำ

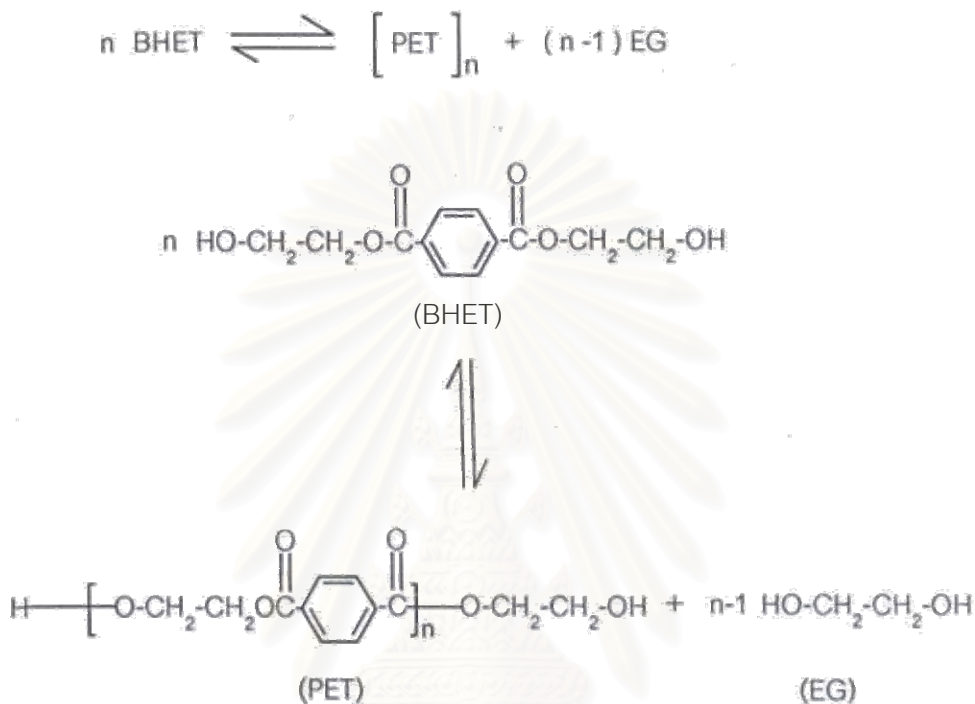
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เพต ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กระบวนการในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (solution polymerization) ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนไกลคอล (EG) กับกรดเทเรพทาติก (TPA) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150-200°C และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยานี้ คือ บิส-2-ไฮดรอกซีเอทิลเทเรพทาเลต [bis-(2-hydroxyethyl) terephthalate; BHET] และมีน้ำเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา แต่ในกรณีที่ใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลต จะได้เมทานอลเป็นผลพลอยได้ ดังสมการต่อไปนี้



น้ำหรือเมทานอล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาต้องถูกกำจัดออกไป เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ และใช้เอทิลีนไกลคอลที่มากเกินไป เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 : กระบวนการในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบหลอมเหลว (melt polymerization) ทำได้โดยให้ความร้อนกับสารผสมซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 ที่อุณหภูมิ 270-285°C ให้ความดันประมาณ 1 มิลลิเมตรปรอท ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นนี้ คือ เพตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และได้เอทิลีนไกลคอลเป็นผลพลอยได้ของปฏิกิริยา ดังสมการต่อไปนี้



แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ จึงต้องกำจัดเอทิลีนไกลคอลออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์เพต เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสม คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ เช่น สารประกอบแอสีเทตของแมกนีเซียม สังกะสี แคลเซียม โคบอลต์ หรือแมงกานีส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เช่น แอนติโมนีออกไซด์ สารประกอบดีบุก หรือไททานเนียม เป็นต้น [4]

เพตที่ใช้ทำขวด มักเป็นโคพอลิเมอร์ซึ่งผลิตจากไกลคอลมากกว่า 1 ชนิด และ/หรือกรดไโดเบสิกมากกว่า 1 ชนิด ที่เรียกว่า “PETG” เช่น การใช้กรดไอโซฟทาลิก (isophthalic acid; IPA) เป็นโคมอนอเมอร์ร่วมกับ TPA และใช้ไซโคลเฮกเซนไดเมทานอล (cyclohexanedimethanol; CHDH)/ไดเอทิลีนไกลคอล (diethylene glycol; DEG) ร่วมกับเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น มีผลทำให้ความสม่ำเสมอของโครงสร้างลดลง จึงมีลักษณะเป็นอสัณฐานมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะใสและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น สามารถใช้ในงานเป่า งานอัดรีด และใช้ทำฟิล์มได้

## 2.3 การย่อยสลายเพต

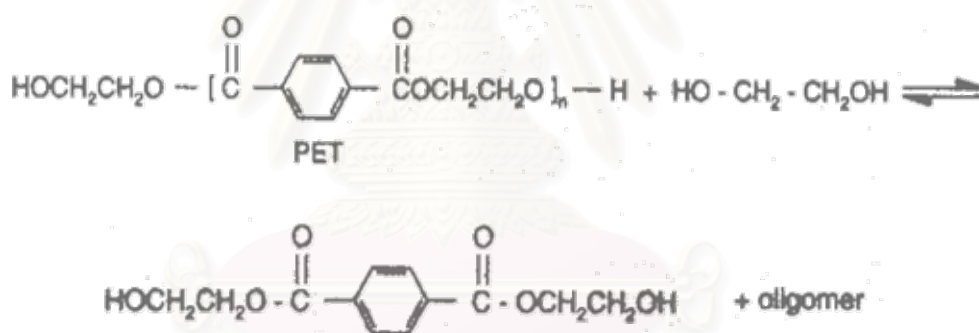
โดยทั่วไปการสลายตัวของพอลิเมอร์ สามารถเกิดขึ้นได้โดยอาศัยปฏิกิริยาการขาดของพันธะเคมี และการเกิดปฏิกิริยาต่างๆที่สายโซ่หลักของโมเลกุลพอลิเมอร์ รวมทั้งที่หมู่ข้างเคียงด้วย ซึ่งการสลายตัวของพอลิเมอร์ในภาวะหนึ่งๆ อาจเกิดการสลายตัวได้หลายประเภทพร้อมๆกัน ซึ่งการสลายตัวของพอลิเมอร์ สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

- (1) การสลายตัวทางเคมี (chemical degradation) เกิดขึ้นในภาวะที่มีสารเคมีต่างๆ เช่น กรด ด่าง และสารละลาย ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่สามารถทำลายพันธะภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้
- (2) การสลายตัวทางความร้อน (thermal degradation) เกิดขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนถึงระดับที่ทำให้เกิดการทำลายพันธะภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ และเกิดเป็นฟรีแรดิคัลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างอื่นต่อไปได้
- (3) การสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradation) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการย่อยสลายเพื่อใช้เป็นอาหาร โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์และพลังงานที่ได้จากการย่อยสลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น หรือใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบขึ้นใหม่ได้
- (4) การสลายตัวเชิงกล (mechanical degradation) เป็นผลมาจากแรงเฉือน ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้พอลิเมอร์แตกหัก โดยทั่วไปจะเกิดการแตกออกของพันธะต่างๆ ได้เป็นฟรีแรดิคัล ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางหรืออื่นๆต่อไปได้
- (5) การสลายตัวโดยการเหนี่ยวนำด้วยแสง (ultraviolet & visible radiation-induced degradation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี โดยเกิดจากการฉายแสงในช่วงแสงสีขาวยหรือช่วงอัลตราไวโอเล็ตไปยังพอลิเมอร์ ซึ่งแสงเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัว
- (6) การสลายตัวด้วยรังสีพลังงานสูง (degradation by high-energy radiation irradiation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี โดยเกิดจากการฉายรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงไปยังพอลิเมอร์ ซึ่งวิธีนี้พอลิเมอร์ไม่จำเป็นต้องมีหมู่โครโมฟอร์เหมือนในกรณีของการสลายตัวโดยการเหนี่ยวนำด้วยแสง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัว จะมีทั้งฟรีแรดิคัลและไอออน

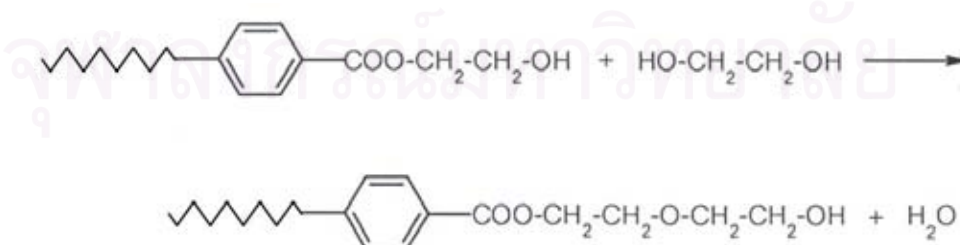
สำหรับการย่อยสลายเพต ส่วนใหญ่มักใช้วิธีการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารชนิดอื่น หรือพอลิเมอร์ชนิดอื่นต่อไป ซึ่งการย่อยสลายเพตสามารถทำได้หลายวิธีต่างกันไปตามชนิดของสารย่อยสลาย เช่น เมทานอลิซิส (methanolysis) ไกลคอลิซิส (glycolysis) ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) อะมิโนลิซิส (aminolysis) แอมโมโนลิซิส (ammonolysis) และแอซิดลิซิส (acidolysis) เป็นต้น [5]

สำหรับวิธีไกลคอลิซิส เป็นการย่อยสลายเพตโดยใช้ไกลคอลที่มากเกินไปจนเป็นสารย่อยสลาย ตัวอย่างของไกลคอลที่ใช้ เช่น เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol; EG) โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol; PG) และไดเอทิลีนไกลคอล (diethylene glycol; DEG) และใช้เกลือของโลหะ เช่น ซิงก์แอซีเตต เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อุณหภูมิการย่อยสลายที่ 180-200°C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้ คือ บิส-2-ไฮดรอกซีเอทิลเทเรฟทาเลต [bis-(2-hydroxyethyl) terephthalate; BHET] และโอลิโกเมอร์ (2-10 mers)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายเพต ด้วยวิธีไกลคอลิซิส เป็นดังต่อไปนี้

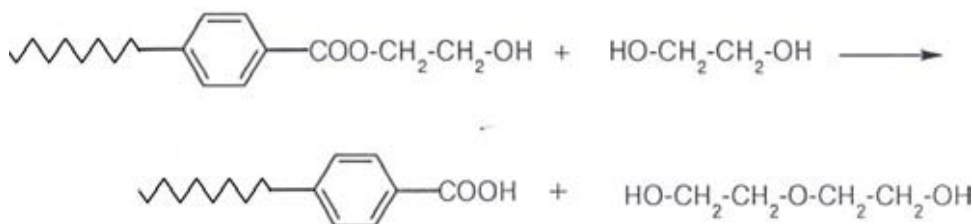


นอกจากนี้ อาจมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน (etherification) ทำให้ได้น้ำดังสมการ

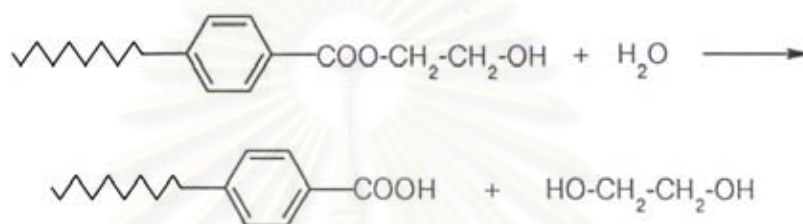




หรือ ไดโอดีลีนไกลคอล (DEG) และสารที่ปลายโมเลกุลเป็นหมู่คาร์บอกซิล ดังสมการ



ปฏิกิริยาข้างเคียงที่สำคัญอีกปฏิกิริยาหนึ่ง คือ ไฮโดรลิซิส ดังสมการ



โดยทั่วไปสารที่มีหมู่คาร์บอกซิลที่ปลายโมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับไกลคอลที่มากเกินไป  
ในเวลาต่อมา ได้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ [6]

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายพेटด้วยกระบวนการทางเคมีแบบไกลโคลิซิส  
มีดังนี้**

Xi G., Lu M. และ Sun C. [7] ได้ศึกษาการเกิดดีพอลิเมอร์ไฮดรอกซีของพेटเพื่อให้ได้ bis-2-ไฮดรอกซีเอทิลเทเรฟทาเลต [bis-(2-hydroxyethyl) terephthalate; BHET] โดยการย่อยสลายพेटด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสที่อุณหภูมิ 190°C ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทิลีนไกลคอลต่อพेटตั้งแต่ 0.5 ถึง 6 ใช้ซิงก์แอซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่างๆกัน ตั้งแต่ 0-1.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 1-5 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทิลีนไกลคอลต่อพेटที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานมากขึ้น ทำให้ได้มอนอเมอร์ออกมาในปริมาณมากขึ้น

Ikladios N.E. [8] ได้ศึกษาการดีพอลิเมอไรเซชันของเพต โดยกระบวนการไกลโคไลซิส ด้วยโพพิลีนไกลคอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพตต่อโพพิลีนไกลคอลต่างๆกัน ที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  และใช้ซิงก์แอสซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมสสเปกโทรเมทรี (Mass Spectrometry; MS) อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy; IR) และเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography; GPC) พบว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ประกอบด้วยไดเมอร์ และไตรเมอร์ของ BHET เป็นส่วนใหญ่ และไม่พบมอนอเมอร์อยู่ โดยอัตราส่วนระหว่างไดเมอร์กับไตรเมอร์สูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโพพิลีนไกลคอลเป็น 40-60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้เกิดการดีพอลิเมอไรเซชันขึ้นมาก

Baliga S. และ Wong W.T. [9] ได้ย่อยสลายขวดน้ำดื่มที่ทำจากเพตด้วยวิธีไกลโคไลซิส โดยใช้เอทิลีนไกลคอลที่มากเกินพอ ณ อุณหภูมิ  $190^{\circ}\text{C}$  และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพวกโลหะแอสซีเตต 4 ชนิด คือ เลดแอสซีเตต โคบอลต์แอสซีเตต แมงกานีสแอสซีเตต และซิงก์แอสซีเตต เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลที่ได้จากปฏิกิริยาส่วนใหญ่ประกอบด้วย BHET (มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์) และไดเมอร์ จากการศึกษายังไม่พบโพลิโกลิเมอร์ขนาดใหญ่ของเพตอยู่เลย นอกจากนี้ยังพบว่า ซิงก์แอสซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด และพบว่าผงสีซีเขียวที่ผสมอยู่ในขวดเพตไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยวิธีไกลโคไลซิส

Kao C.Y., Cheng W.H. และ Wan B.Z. [10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาการย่อยสลายเพตด้วยวิธีไกลโคไลซิส ซึ่งใช้เอทิลีนไกลคอลเป็นสารย่อยสลาย โดยศึกษาจากการทดสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry; DSC) และได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิด คือ โคบอลต์-แอสซีเตต คูบริกแอสซีเตต แมงกานีสแอสซีเตต โซเดียมแอสซีเตต และซิงก์แอสซีเตต พบว่าซิงก์แอสซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด เพราะสามารถทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ขาดออกจากกัน และยังทำให้ได้โพลิโกลิเมอร์ที่มีขนาดเล็ก ช่วยให้อัตราการเกิดดีพอลิเมอไรเซชันเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

Vaidya U.R. และ Narkami V.M. [11] ได้ศึกษาการย่อยสลายเพตด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้โพพิลีนไกลคอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพตต่อโพพิลีนไกลคอล เท่ากับ 37.5:62.5 50:50 และ 62.5:37.5 โดยใช้ซิงก์แอสซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไดเมอร์หรือไตรเมอร์ และโพลิโกลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโมเลกุล ซึ่งประสิทธิภาพของการย่อยสลายเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโพพิลีนไกลคอลที่ใช้สูงขึ้น และได้ทำการทดลองต่อมา โดยใช้เอทิลีนไกลคอลแทนโพพิลีนไกลคอล พบว่า เมื่อใช้เอทิลีนไกลคอลปริมาณมากเกินพอ (อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเพตต่อเอทิลีนไกลคอลเท่ากับ 37.5:62.5) ทำให้ได้ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ประกอบด้วย BHET เป็นส่วนใหญ่

## 2.4 สารเคลือบผิว (Surface Coatings) [12]

สารเคลือบผิว หมายถึง วัสดุที่เมื่อเคลือบบางๆลงบนพื้นผิวใดๆแล้วจะเกิดเป็นฟิล์ม ซึ่งมีการยึดเกาะกันระหว่างสารเคลือบผิวด้วยตัวเอง และระหว่างสารเคลือบผิวกับพื้นผิวที่ต้องการเคลือบ

### 2.4.1 วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

สารเคลือบผิวได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิวจากมลภาวะต่างๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ ยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขีดสี และช่วยยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น
2. เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าอาจมาจากสี (color) ความเงา (gloss) ลวดลายจากการตกแต่ง (texture) ความสว่าง (lighting) หรือจากปัจจัยหลายๆอย่างรวมกัน
3. เพื่อจุดประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การทาสีห้องเรือเพื่อกันสนหรือกันเพรียง การเคลือบใยแก้วนำแสงเพื่อกันรอยขีดข่วน การทาสีช่องแบ่งจราจร และการทาสีเครื่องบิน เป็นต้น

### 2.4.2 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

### 2.4.3 ส่วนประกอบของสารเคลือบผิว

สารเคลือบผิว ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

#### 1. สารยึด (Binders)

สารยึด เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของสารเคลือบผิว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ เกาะติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ (substrate) และทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่นๆ ของสารเคลือบผิวเข้าไว้ด้วยกัน สารยึดส่วนใหญ่จะเป็นพวกพอลิเมอร์เรซิน การพิจารณาเลือกสารเคลือบผิวต้องคำนึงถึงชนิดและคุณภาพของสารยึด เพราะฟิล์มของสารเคลือบผิวจะติดแน่นให้ความสวยงามทนทาน ขึ้นกับสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของสารยึด โดยสารยึดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าสารเคลือบผิวชนิดนั้นควรนำไปใช้ในงานประเภทใด

#### 2. ตัวทำละลาย (Solvents)

เนื่องจากสมบัติความเป็นของเหลวของตัวทำละลาย จึงทำให้สารเคลือบผิวมีความสามารถในการไหลตัว และจะระเหยไปหลังจากที่ส่วนประกอบอื่นๆ ทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นฟิล์ม ตัวทำละลายมีหน้าที่ปรับความหนืด และช่วยในการผสมส่วนประกอบต่างๆ ของสารเคลือบผิว ตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมีมากมายหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้ตัวทำละลายชนิดใด จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

- (1) ความสามารถในการละลายสารยึด
- (2) กรรมวิธีในการเคลือบ เช่น การทาด้วยแปรงหรือลูกกลิ้ง และการพ่นด้วยอากาศ (air spray)
- (3) อัตราความเร็วในการแห้งของฟิล์มสารเคลือบผิว
- (4) ความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น สารที่ระเหยออกมาจะต้องไม่เป็นพิษต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม

#### 3. ผงสี (Pigments)

ผงสีเป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดเฉดสีและความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิวนอกจากนี้ ในบางกรณียังทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ เช่น เพิ่มความทนทานการกัดกร่อนหรือการทนไฟ ดังนั้นสารเคลือบผิวที่ดีต้องมีผงสีที่เหมาะสมกับสารเคลือบผิวประเภทนั้นๆ อย่างไรก็ตาม สารเคลือบผิวบางประเภทก็ไม่จำเป็นต้องใส่ผงสี เช่น วาร์นิชและแล็กเกอร์ เป็นต้น

#### 4. สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่ง คือ สารผสมพิเศษที่ใส่ลงไปปริมาณเล็กน้อย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารเคลือบผิวให้มีสมบัติพิเศษตามต้องการ ตัวอย่างของสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมสารเคลือบผิว ได้แก่

- (1) พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ช่วยลดความเปราะและเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มสารเคลือบผิวเมื่อแห้ง เพื่อให้สามารถทนแรงกระแทกและแรงดัดโค้งได้ดีขึ้น
- (2) สารกันบูด (bactericide) ส่วนใหญ่ใช้ในสีน้ำพลาสติก เพื่อป้องกันมิให้สีภายในภาชนะบรรจุเสื่อมคุณภาพเนื่องจากแบคทีเรีย
- (3) สารป้องกันเชื้อรา (fungicide) ใช้ในสีน้ำพลาสติกและสีน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อรา
- (4) สารกันการเกิดฟอง (defoamer) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิต การบรรจุและการใช้งาน
- (5) สารข้น (thickener) เพื่อปรับความข้นหนืดของสารเคลือบผิวทั้งในขณะที่อยู่ในภาชนะบรรจุและระหว่างการใช้งาน
- (6) สารเร่งแห้ง (drier) ช่วยเร่งการแห้งของสารเคลือบผิว

#### 2.4.4 การเกิดฟิล์ม (Film Formation)

การเกิดฟิล์ม เป็นการเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุไปเป็นฟิล์มที่ยึดติดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้น แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. แอปพลิเคชัน (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบางๆ ขึ้น อาจทำการใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้
2. ฟิกเซชัน (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ การเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือถ้าสารเคลือบผิวเป็นระบบลาเท็กซ์ (latex system) ขั้นตอนฟิกเซชันจะเกิดโดยอาศัยการระเหยของน้ำ เป็นต้น
3. การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ เช่น สีน้ำมันทาบ้านจะเกิดการบ่มโดยอาศัยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีความทนทานเพิ่มขึ้น หรือการนำเคลือบ (enamel) ที่เป็นการนำพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตไปอบ ก็เป็นการบ่มอีกวิธีหนึ่ง



## 2.4.5 การแห้งของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไป สารเคลือบผิวจะแห้งโดยกรรมวิธีต่าง ๆ กันได้ 2 แบบ คือ

1. แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical drying) การแห้งตัวโดยกรรมวิธีนี้ เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary bond) อย่างอ่อนๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดขึ้นจึงยังคงละลายได้ในตัวทำละลายของสารเคลือบผิวนั้น ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ แล็กเกอร์ เป็นต้น
  2. แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีการนี้ ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะมีความแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย
- การแห้งตัวโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้อาจเกิดโดย
- 2.1 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูออกซิเจนในอากาศ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดอนุของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้นจนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ เช่น สีน้ำมันทาบ้านที่ผลิตจากอัลคิเดเรซิน เป็นต้น การแห้งตัวโดยวิธีการนี้อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้ด้วยการใส่สารเร่งแห้ง
  - 2.2 แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกันก่อนใช้จึงต้องนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมกันแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) ตัวอย่างเช่น ยูเรียเรซิน (urea resin) พอลิยูรีเทนเรซิน (polyurethane resin) เป็นต้น แต่ถ้การเกิดปฏิกิริยาต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving or baking coating)

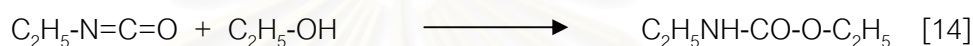


## 2.5 สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน (Polyurethane Coating)

พอลิยูรีเทน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “พอลิคาร์บาเมต” เป็นอนุพันธ์เอสเทอร์แอมิดของกรดคาร์บาเมก ( $R_2NHCOOH$ ) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารเคลือบผิว อิลาสโตเมอร์ เส้นใย หรือโฟมทั้งชนิดแข็งและยืดหยุ่น เป็นต้น [13]

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

ในปี ค.ศ. 1848 Wurtz พบว่าเอทิลไอโซไซยาเนตสามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลแอลกอฮอล์ ได้เอทิลคาร์บาเมต ซึ่งเรียกอีกอย่างว่า “ยูรีเทน” ดังสมการ



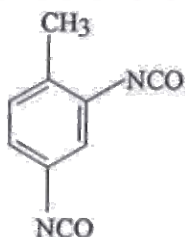
ในงานเคลือบผิว สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนชนิดหนึ่งๆ นั้น จะต้องมีความฟังก์ชันแนลลิตี (functionality) อย่างน้อยเท่ากับ 3 ซึ่งอาจได้มาจากไตรออลและไดไอโซไซยาเนต หรือ ไดออลและไตรไอโซคาร์บาเมต แต่โดยทั่วไปมักให้ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลสูงกว่า

### 2.5.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

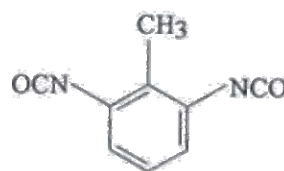
#### 2.5.1.1 ไอโซไซยาเนต (Isocyanates)

ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว ไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้มี 2 ชนิด ในขณะที่สารประกอบไฮดรอกซิลที่ใช้มีมากมายหลายชนิด ส่วนไอโซไซยาเนต 2 ชนิดดังกล่าว ได้แก่ โทลิลีนไดไอโซไซยาเนต (tolylene diisocyanate; TDI) และเมทิลีนบิสฟีนิล-4,4'-ไดไอโซไซยาเนต (methylene bisphenyl-4,4'-diisocyanate; MDI) โดย TDI ผลิตได้ง่ายและราคาถูกกว่า

TDI ที่ผลิตในทางการค้ามี 2 ประเภทคือ TDI 80/20 และ TDI 60/40 ซึ่งตัวเลขที่ตามหลังแสดงอัตราส่วนร้อยละของผลผสมของ 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 เนื่องจาก หมู่ไอโซไซยาเนตในตำแหน่งที่ 4 มีความว่องไวมากกว่าในตำแหน่งที่ 6 [13]

### 2.5.1.2 พอลิออล (Polyols)

สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ว่องไวและนิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน ได้แก่ กลีเซอรอล ไกลคอล ไตรเมทิลโพรเพน เพนตะอริทริทอล ฟีนอล พอลิไกลคอล พอลิอีเทอร์ พอลิเอสเทอร์ อัลคิล น้ำมันละหุ่ง และอนุพันธ์ของซูโครส เป็นต้น [14]

### 2.5.1.3 สมบัติของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

สารเคลือบผิวที่ได้จากการพอลิยูรีเทนมีสมบัติดังนี้ คือ

- (1) พันธะยูรีเทนเกิดไฮโดรลิซิสได้ยาก จึงทนต่อต่าง น้ำ และกรดได้ดี
- (2) พิล์มของพอลิยูรีเทนทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ โดยเฉพาะตัวทำละลายอะโรมาติก และคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน และยังทนต่อน้ำมัน
- (3) พิล์มที่ผ่านการบ่มเต็มที่แล้ว มีแรงยึดผิวหน้าดี มีความทนทานต่อการขัดถูสูง มีความเหนียว ทนทานต่อลมฟ้าอากาศ
- (4) สารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน ซึ่งมีอะโรมาติกไอโซไซยาเนตเป็นองค์ประกอบ มักจะเหลืองได้ง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต และเหลืองง่ายขึ้นถ้าโมเลกุลมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวซึ่งสามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์กับออกซิเจนได้ เชื่อกันว่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปออกซิไดส์หมู่อะโรมาติกให้เกิดเป็นสารสีเหลือง

## 2.5.2 ประเภทของสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

สารเคลือบผิวจากพอลิยูรีเทนสามารถจำแนกได้เป็น 5 ชนิด คือ

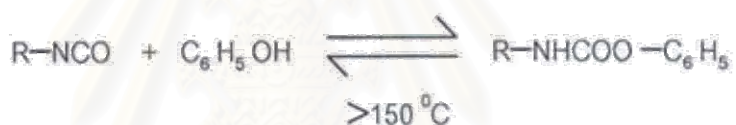
1. ยูรีเทนออยล์ หรือ ยูรัลคิต (Urethane Oil or Uralkyd; ASTM Type 1)  
เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการแอดกอสอลิซิสของน้ำมัน
2. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบบ่มด้วยความชื้น (One-pack Moisture Cured Urethane; ASTM Type 2) ประกอบด้วยพรีพอลิเมอร์ซึ่งมีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ พรีพอลิเมอร์ที่ใช้ทั่วไปคือ พอลิอีเทอร์ที่ปลายโซ่

เป็นหมู่ไอโซไซยาเนต กลไกการเกิดปฏิกิริยาของพอลิยูรีเทนชนิดนี้ คือ น้ำจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดเป็นหมู่อะมิโน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไอโซไซยาเนตที่มีอยู่ในพรีพอลิเมอร์เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเดิม ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะระเหยออกไปพร้อมตัวทำละลาย ดังสมการ



พอลิยูรีเทนชนิดนี้ต้องการความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อยที่สุด 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 20°C จึงจะเกิดการบ่มได้รวดเร็วพอเพียง

3. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบอบ (One-pack Urethane Stoving Systems; ASTM Type 3) โดยการปิด (block) หมู่ไอโซไซยาเนตด้วยฟีนอล ซึ่งทำให้เกิดฟีนิลยูรีเทน (phenyl urethane) ที่ไม่เสถียรและจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C เกิดเป็นหมู่ไอโซไซยาเนตขึ้นมาใหม่ ดังนี้



หมู่ไอโซไซยาเนตที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเอสเทอร์ที่ใส่รวมอยู่ด้วยและขณะเดียวกัน ฟีนอลที่เกิดขึ้นจะระเหยไป ถ้าอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C

4. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วนแบบบ่มด้วยความชื้นและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Two-pack Moisture Cured Urethane Plus Catalyst; ASTM Type 4) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระกับความชื้น โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กัน คือ เมทิลไดเอทานอลแอมีน
5. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วน (Two-pack Polyisocyanate Plus Polyol; ASTM Type 5) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอยู่ที่ปลายโซ่กับพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโซ่ พอลิยูรีเทนชนิดนี้มีจุดอ่อน คือ ทำแล้วต้องใช้งานให้หมด มิฉะนั้นถ้าเหลือจะแข็งตัว [15]

## 2.6 ยูรีเทนออยล์ (Urethane Oil)

ยูรีเทนออยล์หรือยูรีลคิด จัดเป็นพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรด้วยน้ำมัน สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับกลีเซอไรต์ที่ได้จากกระบวนการแอลลกอฮอล์ิซิสของน้ำมัน

ยูรีเทนออยล์ สามารถพิจารณาเป็นอัลคิดเรซินได้เมื่อแทนที่ไดไอโซไซยาเนตด้วยฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งอัลคิดเรซินเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแอนไฮไดรด์กับกลีเซอไรต์ที่ได้จากกระบวนการแอลลกอฮอล์ิซิสของน้ำมัน

ลักษณะของฟิล์มยูรีเทนออยล์ขึ้นกับธรรมชาติของน้ำมัน พอลิออล และไดไอโซไซยาเนตที่ใช้ในการผลิต โดยทั่วไป การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ มักจะใช้อัตราส่วนระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตต่อหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่า 1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร และป้องกันไม่ให้มีไอโซไซยาเนตเหลืออยู่ [14]

### 2.6.1 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

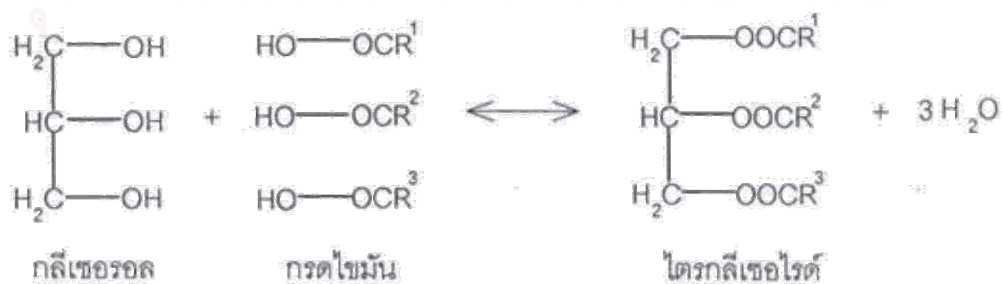
#### 2.6.1.1 น้ำมัน

น้ำมัน ถูกใช้เป็นสารยัดในอุตสาหกรรมเคลือบผิวมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันการนำน้ำมันเพียงอย่างเดียวมาใช้เป็นสารยัดมีอยู่น้อยมาก อย่างไรก็ตาม ยังมีการใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมของวารันิชหรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อจุดประสงค์อื่น เช่น เพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์ม หรือช่วยปรับปรุงสมบัติการละลาย เป็นต้น

น้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว ได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ น้ำมันจากพืช (vegetable oils) และน้ำมันจากทะเล (marine oils) ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันปลา (fish oils)

#### องค์ประกอบของน้ำมัน

น้ำมัน เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรต์ (triglyceride) กล่าวคือ เป็นไตรเอสเทอร์ (triester) ของกลีเซอรอล (glycerol) กับกรดไขมัน (fatty acid) ดังนี้



$R^1, R^2, R^3 =$  โซ่กรดไขมัน ( $\text{C}_9 - \text{C}_{22}$ )

## กรดไขมัน

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

กรดไขมันแบ่งออกได้ 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)

ทั้งนี้ พันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมันมีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมันเป็นอย่างมาก เพราะปฏิกิริยาการแข็งตัวของน้ำมันเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของโมเลกุลของ กรดไขมัน ยิ่งมีพันธะคู่มากเท่าไร การแข็งตัวก็จะยิ่งเร็วขึ้น นอกจากนี้ ตำแหน่งของพันธะคู่ก็มีผลต่อสมบัติการแข็งตัวของน้ำมันเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าเป็นพันธะคู่สลับเดี่ยว จะเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่แบบห่าง ตัวอย่างของกรดไขมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	โครงสร้าง
<b>กรดไขมันอิ่มตัว</b>	
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)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
กรดสเตียริก (Stearic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
กรดอะราซิดิก (Arachidic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
<b>กรดไขมันไม่อิ่มตัว</b>	
กรดโอเลอิก (Oleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดลิโนเลอิก (Linoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
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)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CHOHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดปาล์มมิโตเลอิก (Palmitoleic)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
กรดพารินาริก (Parinaric)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CHCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ชนิดของน้ำมัน

ถ้าพิจารณาตามสมบัติการแห้งตัว สามารถแบ่งชนิดของน้ำมันได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. น้ำมันแห้งเร็ว (drying oil) เป็นน้ำมันที่แห้งตัวได้เร็วที่สุด กล่าวคือ เป็นน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลมาก ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ จึงสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้ดี เปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นฟิล์มที่แห้งแข็งได้ ตัวอย่างเช่น น้ำมันทัง (tung oil) และน้ำมันลินสีด (linseed oil)
2. น้ำมันแห้งช้า (semi-drying oil) เป็นน้ำมันที่แห้งตัวได้ แต่ช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว เนื่องจากประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ ตัวอย่างเช่น น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันทอลล์ (tall oil) น้ำมันละหุ่งที่ถูกขจัดน้ำออก (dehydrated castor oil) น้ำมันทานตะวัน (sunflower oil) น้ำมันคำฝอย (safflower oil) เป็นต้น
3. น้ำมันไม่แห้ง (non-drying oil) เป็นน้ำมันที่ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้จะประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มักนำไปใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดในแลกเกอร์ ตัวอย่างเช่น น้ำมันละหุ่ง (castor oil) เป็นต้น

โดยทั่วไป ปริมาณพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของน้ำมัน สามารถวัดได้จากค่าไอโอดีน (iodine value) น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีพันธะคู่อยู่มาก ดังนั้นจึงสามารถแห้งตัวในอากาศได้เร็วกว่าน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำ [14]

สำหรับน้ำมันที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ นิยมใช้น้ำมันชนิดแห้งเร็ว และน้ำมันแห้งช้า ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถแห้งตัวได้เองในอากาศ

นอกจากนี้ น้ำมันยังมีผลต่อสมบัติอื่นๆที่สำคัญของยูรีเทนออยล์ ซึ่งชนิดและปริมาณของน้ำมันที่ใช้จะมีผลต่อสมบัติของยูรีเทนออยล์ดังแสดงในตารางที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ผลของปริมาณและชนิดของน้ำมันที่มีต่อสมบัติของยูรีเทนออยล์ [14]

Urethane Oil	Oil	Drying Time	Color	Flexibility	Mineral Spirit Solubility
100	0	increase ↓	increase ↓	increase ↓	increase ↓
0	100				

(A) : Effect of amount of oil on properties

Oil	Iodine Value	Drying Time	Color	Gloss Retention
Tung	165	increase ↓	increase ↓	increase ↓
Dehydrated castor	140			
Safflower	145			
Soybean	140			

(B) : Effect of type of oil on properties

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย กล่าวคือ เป็นพืชน้ำมันที่มีการผลิตในประเทศไทยมากที่สุด และเป็นน้ำมันพืชของไทยเพียงชนิดเดียวที่ไม่ต้องเสียดุลการค้า นำเข้าจากต่างประเทศ แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันชนิดไม่แห้ง ดังนั้นจึงทดลองนำน้ำมันปาล์มมาดัดแปรโดยการทำปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันลินสีด ซึ่งเป็นน้ำมันชนิดแห้งเร็ว ได้เป็นน้ำมันปาล์มดัดแปรที่มีปริมาณพันธะคู่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จะทำให้ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้แห้งได้เร็วขึ้น [23, 25]

รายละเอียดของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีดังต่อไปนี้

#### น้ำมันปาล์ม [16-18]

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่ได้มาจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชในตระกูล *Palmae* มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis Guineensis 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) สกัดได้จากส่วนเปลือกสดหรือเนื้อผลของผลปาล์มน้ำมัน
2. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (rude palm kernel oil) สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน

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



รูปที่ 2.1 ผลปาล์มน้ำมัน

โดยทั่วไป น้ำมันปาล์มมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2.3 นี้

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีน้ำมันปาล์ม [17]

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	Palm Kernel oil	Palm Oil
ค่าไอโอดีน	14-20	43-59
ค่าของกรด (crude)	20	15
ค่าสะปอนิฟาย	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 เปอร์เซ็นต์ สีของน้ำมันปาล์มจะถูกทำให้จางลงในขั้นตอนการฟอกสี และกระบวนการอัดแก๊สไฮโดรเจน

น้ำมันปาล์มใช้ในการปรุงอาหารมากกว่า 5,000 ปีแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่ในปัจจุบันมักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำมาร์การีน เนยเหลว ครีม สบู่ นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาขัดรองเท้า ใช้ในการผลิตกรดไขมัน ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตดินสอสีและเทียน อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการผลิตเครื่องสำอาง เพราะสามารถแทรกซึมเข้าไปในผิวหนังได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้

Ali M.A. และคณะ [19] ได้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตเรซินจากน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในงานเคลือบไม้ โดยสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์อะคริเลตพรีพอลิเมอร์ก่อน จากนั้น ทำให้เกิดการเชื่อมขวางด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อะคริเลตพอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่น การฟอก และการดับกลิ่นแล้ว และอะคริเลตพอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มดิบ สามารถใช้เคลือบไม้ได้ โดยพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีความติดแน่น ความทนทานต่อการขีดขีด ความทนทานต่อตัวทำละลายและสารเคมีเท่ากัน แต่พอลิเมอร์ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่น การฟอก และการดับกลิ่นแล้ว มีความแข็ง ความเงา และความต้านทานต่อการขีดถูดีกว่า

### น้ำมันลินสีด [12]

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

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

ปริมาณของน้ำมันในเมล็ดแฟลกซ์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อากาศ และส่วนประกอบของดิน เมล็ดแฟลกซ์ที่ปลูกในที่ร้อนจะให้ น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนและปริมาณกรดลิโนเลนิกต่ำกว่าเมล็ดแฟลกซ์ที่ปลูกในที่หนาว และดินที่ใช้ปลูกถ้ามีปริมาณโปแตชและคลอรีนสูง จะให้น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงกว่าเมล็ดที่ปลูกด้วยดินที่มีปูนขาว และฟอสฟอรัสสูง

การสกัดน้ำมันลินซีดดิบ (raw linseed oil) ทำได้โดยนำเมล็ดแฟลกซ์ไปตากให้แห้ง แล้วเก็บไว้ที่กระยะหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้การหีบได้ผลดีเมื่อเมล็ดสุกเต็มที่และมีน้ำไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ล้างเอาฝุ่นและสิ่งสกปรกออกให้หมด แล้วให้ผ่านเข้าไปในเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (roller mill) เพื่อกะเทาะเปลือกออก นำเมล็ดที่ได้กะเทาะเปลือกออกแล้วไปผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 90°C ซึ่งจะทำให้ผนังเซลล์แตกออก จากนั้น นำไปบีบในเครื่องบีบ (screw press) ซึ่งเรียกกันว่า เอกซ์เพลเลอร์ (expellers) ในขั้นนี้จะบีบน้ำมันออกมาได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากที่เหลืออาจเอาไปทำให้อุ่นแล้วบีบน้ำมันออกที่ความดันสูงก็ได้ แต่ส่วนมากมักเอาไปสกัดด้วยตัวทำละลายต่อเลย

สำหรับกากที่เหลือ จะมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณ 1-6 เปอร์เซ็นต์ แล้วแต่วิธีการสกัดที่ใช้ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนรวมทั้งสารอื่นๆ เช่น สารประกอบไนโตรเจนหรือพวกโลหะ (trace metals) ปนอยู่ด้วย ซึ่งใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

น้ำมันดิบที่ได้จากการสกัดนี้จะขุ่น ไม่ใส เพราะมีพวกเมล็ดปนอยู่ด้วย ดังนั้น ก่อนนำไปใช้งานต้องนำไปกรองเสียก่อน

น้ำมันลินซีดจะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆกัน ดังนี้

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

โดยทั่วไปน้ำมันลินซีดดิบถ้าทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะแห้งภายใน 4 วัน บางทีอาจถึง 10 วัน ก็ได้ถ้าปัจจัยหรือภาวะต่างๆไม่ดี หากต้องการให้แห้งเร็วขึ้น ต้องเติมสารเติมแต่ง เช่น สารประกอบของตะกั่ว แมงกานีส หรือโคบอลต์ลงไปด้วย

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันลินซีดมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว มีดังนี้**

Jacky M. และคณะ [20] ได้ศึกษาอิทธิพลของสารเร่งแห้งที่มีต่อการอบน้ำมันลินซีด โดยใช้สารเร่งแห้งโคบอลต์ 2-เอทิลเฮกซาโนเอต (cobalt 2-ethylhexanoate drier) พบว่าการเติมสารเร่งแห้งช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด ซึ่งรวมถึงปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดเป็นฟิล์มแข็งเกิดได้เร็วขึ้น และฟิล์มที่ได้มีปริมาณของกรดคาร์บอกซิลิก คีโตน และแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันลดต่ำลง

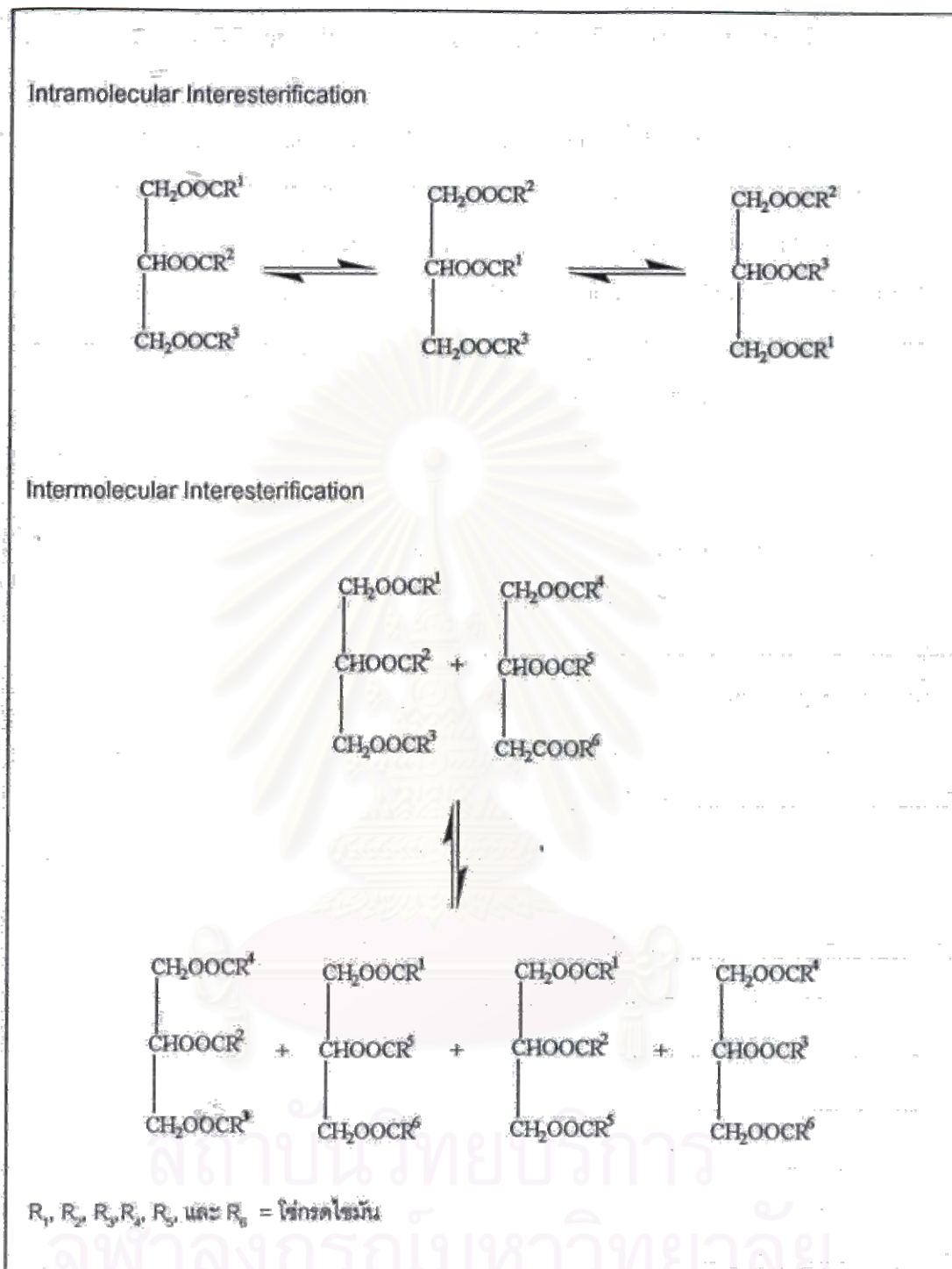
### ปฏิกิริยาอินเตอ์เอสเทอร์ฟิเคชัน (interesterification)

ปฏิกิริยาอินเตอ์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนตำแหน่งของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ โดยพันธะเอสเทอร์ในไตรกลีเซอไรด์จะแตกออกและเกิดการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของกรดไขมัน โดยอาจเกิดขึ้นภายในโมเลกุลเดียวกัน ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาอินเตอ์เอสเทอร์ฟิเคชันภายในโมเลกุล (intramolecular interesterification) หรือเกิดขึ้นกับไตรกลีเซอไรด์ 2 โมเลกุล ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาอินเตอ์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโมเลกุล (intermolecular interesterification) ก็ได้ ซึ่งลักษณะการเกิดปฏิกิริยา แสดงไว้ในรูปที่ 2.2



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันภายในโมเลกุล และปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างโมเลกุล

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน มีดังนี้

Kabasakal O.S. และคณะ [21] ทำการวิจัยโดยใช้น้ำมันละหุ่ง ซึ่งเป็นน้ำมันชนิดไม่แห้ง และประกอบด้วยกรดริซิโนเลอิก (ricinoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในปริมาณสูง มาผลิตน้ำมันสไตรีนเตด ยูรีเทนออยล์ และอัลคิเดเรซิน โดยนำน้ำมันละหุ่งมาทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันลินสีดที่อัตราส่วนต่างๆกัน เพื่อให้ได้น้ำมันที่สามารถแห้งตัวได้ และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล โดยใช้อุณหภูมิ 232°C เวลา 1 ชั่วโมง และใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้น นำน้ำมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ฟิเคชันมาสังเคราะห์น้ำมันสไตรีนเตด โดยนำมาทำปฏิกิริยากับ 4,4'-อะไซบิส(4-ไซยาโนเพนตะโนอิก แอลคิลคลอไรด์) หรือ ACPC และ สไตรีน รวมทั้งนำมาสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์โดยให้ทำปฏิกิริยากับโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต หรือ TDI นอกจากนี้ ยังนำมาสังเคราะห์อัลคิเดเรซิน โดยให้ทำปฏิกิริยากับฟทาสิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัลคิเดเรซินแห้งตัวช้าที่สุด ในขณะที่น้ำมันสไตรีนเตดมีความหนืดสูงที่สุด ส่วนความอ่อนตัวและความติดแน่นของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดดีมาก

Saravari O., Phapant P. และ Pimpan V. [22] ได้สังเคราะห์สารยึดสูตรน้ำชนิดอะคริลิก-อัลคิเด จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการตัดแปรด้วยน้ำมันทั้ง โดยนำน้ำมันปาล์มมาตัดแปรด้วยปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันทั้ง ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้น นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการตัดแปรมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและอะคริลิกเรซินที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก และทำให้หมู่คาร์บอกซิลิกของอะคริลิก-อัลคิเดเรซินเป็นกลางด้วยไดเอทานอลแอมีน ได้เป็นอะคริลิก-อัลคิเดเรซินที่เจือจางได้ด้วยน้ำ โดยอะคริลิก-อัลคิเดเรซินสูตรน้ำทุกสูตร มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลือง และสามารถแห้งเป็นฟิล์มได้โดยการอบที่อุณหภูมิ 190°C โดยระยะเวลาการแห้งตัวลดลงเมื่อปริมาณอะคริลิกเรซินเพิ่มขึ้น และเมื่อทดสอบสมบัติของฟิล์ม พบว่าอะคริลิก-อัลคิเดเรซินทุกสูตรมีสมบัติทางกายภาพเท่ากับอัลคิเดเรซินทางการค้า มีความทนน้ำและกรดดีเยี่ยม ในขณะที่ความหนืดของฟิล์มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะคริลิกเรซินเพิ่มขึ้น

### 2.6.1.2 ไดไอโซไซยาเนตและพอลิออล

ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ คือ โทลิลีนไดไอโซไซยาเนต (tolylene diisocyanate; TDI) ส่วนพอลิออลที่ใช้มีหมู่ฟังก์ชันตั้งแต่ 2-6 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

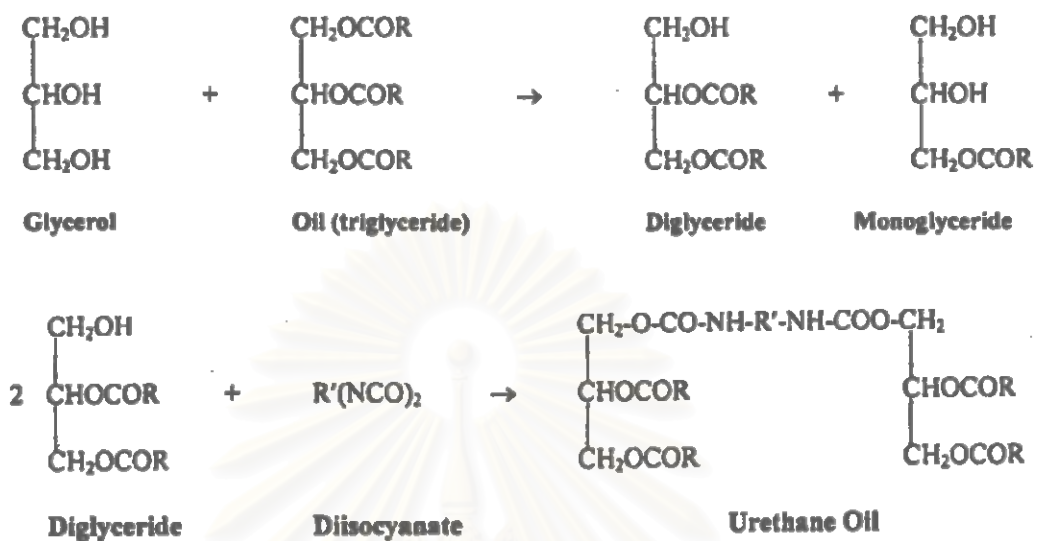
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของพอลิออลที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

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	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CCHCH}_2\text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	2
Glycerine	$\begin{array}{c} \text{HOCH}_2\text{CHCH}_2\text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	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	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\   \quad   \\ \text{HOCH}_2\text{CHCHCHCH}_2\text{OH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	6

### 2.6.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

ยูรีเทนออยล์ สามารถสังเคราะห์ได้จากการนำสารผสมระหว่างน้ำมันและพอลิออลมาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 230-245°C น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสเปลี่ยนจากสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไดกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์ แล้วให้ทำปฏิกิริยาต่อไปกับโทลิลีนไดไอโซไซยาเนตที่อุณหภูมิ 60-80°C โดยหมู่ไฮดรอกซิลในไดกลีเซอไรด์และมอนอกลิเซอไรด์ จะเกิดปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนต ได้เป็นพันธะยูรีเทน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำมันกับไตรออลและไดไอโซไซยาเนตในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ สามารถแสดงได้ดังนี้ [15]



### 2.6.3 กลไกการเกิดพอลิเมอร์และชั้นและการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์

กรรมวิธีการแห้งตัวของฟิล์มจากการเกิดออกซิเดชัน แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

- ขั้นตอนที่ 1 : การออกซิไดซ์เอง (autoxidation) ซึ่งน้ำมันจะรับออกซิเจนเข้ามา เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (peroxy compounds)
- ขั้นตอนที่ 2 : การเกิดฟิล์ม (film formation) สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น จะเข้าทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อน ซึ่งเชื่อมโยงกันอยู่ด้วยพันธะปฏุมภูมิ
- ขั้นตอนที่ 3 : การขึ้นตอของการทิ้งไว้ให้ป่มตัว (aging) ซึ่งฟิล์มจะรับออกซิเจนต่อไปอีก แล้วเกิดการสลายตัวเพียงบางส่วน เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.6.4 สมบัติและการใช้งานของยูรีเทนออยล์

ยูรีเทนออยล์ เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในงานวารันิชเคลือบพื้น เนื่องจากมีสมบัติที่ดี และเหมาะสมอยู่หลายประการ คือ

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

ยูรีเทนออยล์มีจุดอ่อนอยู่บ้าง คือ สำหรับฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่มีอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนต เป็นองค์ประกอบ มักจะเหลืองง่ายเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเล็ต อย่างไรก็ตาม สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการขึ้นเหลืองได้โดยเตรียมยูรีเทนออยล์จากอะลิฟาติกไดไอโซไซยาเนต ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงแทน

นอกจากใช้งานเป็นวารันิชเคลือบพื้นแล้ว ยังสามารถนำยูรีเทนออยล์ไปใช้ในงานทางด้านอื่นได้ด้วย ตัวอย่างเช่น ยูรีเทนออยล์ที่มีน้ำมันปริมาณสูงจะใช้เป็นสารยึดในหมึกพิมพ์ เพื่อช่วยให้หมึกมีสมบัติเปียก และกระจายตัวได้ดี หรือยูรีเทนออยล์ที่ปราศจากหมู่คาร์บอกซิล สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับผงโลหะอย่างดีเยี่ยม จึงใช้เป็นสารยึดในซิงกิริชไพรเมอร์ (zinc-rich primer) และสีบรอนซ์ (bronze paints) เป็นต้น

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ มีดังนี้

Erciyes A.T., Erkal F.S. และ Kabasakal O.S. [23] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ ที่ดัดแปรด้วย Ecballium elaterium และ Prumus mahaleb seed oils ซึ่งน้ำมันทั้งสองชนิดต่างก็ประกอบด้วยกรดไตรีนิกที่มีพันธะคู่แบบสลับ 3 พันธะ (conjugated trienoic acids) พบว่า สารไม่เกิดเจลระหว่างการสังเคราะห์ ทำให้สังเคราะห์ได้ง่าย นอกจากนี้ ฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่ได้สามารถแห้งได้เองในอากาศ



Guner F.S. และคณะ [24] ได้ศึกษาสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันดอกทานตะวันและใช้ไอโซไซยาเนตชนิดต่างๆ ได้แก่ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI) เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (HMDI) และ พอลิ(1,4-บิวเทนไดคอล) โทลูอิน-2,4-ไดไอโซไซยาเนต (PBTDI) และมีการใช้อัตราส่วนระหว่างไอโซไซยาเนตต่อน้ำมันที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 อัตราส่วน พบว่าความหนืดและสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของไอโซไซยาเนตที่ใช้ กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณไอโซไซยาเนตมากขึ้น ทำให้ได้ยูรีเทนออยล์ที่มีความหนืดสูงขึ้น และยูรีเทนออยล์ที่ใช้ PBTDI มีความหนืดสูงที่สุด ซึ่งสารที่มีความหนืดสูงย่อมส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวน้อย

Mecit O. และ Akar A. [2] ได้พยายามสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากขยะпет โดยนำพेटมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส ใช้ไกลคอลชนิดต่างๆในการย่อยสลาย คือ เอทิลีนไกลคอล (EG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) พอลิเอทิลีนไกลคอล 200 (PEG 200) และกลีเซอริน สารไอโซไซยาเนตที่ใช้คือ โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI) ซึ่งขยะпетสามารถนำมาย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาการไกลโคไลซิส เพื่อให้ได้เป็นโพลิโกลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลาย ซึ่งสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นยูรีเทนออยล์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า และยังใช้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า

Saravari O., Vessabutr B. และ Pimpan V. [1] ได้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากขวดPET ที่ใช้แล้ว โดยนำขวดPETไปย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส ใช้โพรพิลีนไกลคอล (PG) เป็นสารย่อยสลายที่อัตราส่วน PET:PG เท่ากับ 37.5:62.5 และใช้ซิงก์แอซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำโกลโคไลซ์พรดักส์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันถั่วเหลือง และโทลูอินไดไอโซไซยาเนต ได้เป็นยูรีเทนออยล์ ซึ่งเป็นของเหลวหนืด สีเหลืองอ่อน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์มีแนวโน้มสูงขึ้น มีระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มลดลง ฟิล์มที่ได้มีสมบัติความแข็งและความติดแน่นดี มีความทนน้ำและกรดดีเยี่ยม ความทนด่างพอใช้ แต่ความอ่อนตัวและความต้านทานการสึกหรอต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า



วัชรภา จันทรเพียร [25] ได้พยายามสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มที่ดัดแปรด้วยน้ำมันทั้งและน้ำมันลินสีด โดยอาศัยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อให้ไขมันปาล์มมีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น แล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดัดแปรไปทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและโพลีฮันไดโอะไซยาเนต เพื่อให้ได้เป็นยูรีเทนออยล์ แต่ผลที่ได้พบว่า ยูรีเทนออยล์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้น้ำมันปาล์มที่ดัดแปรด้วยน้ำมันทั้งเกิดเป็นเจลอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ยูรีเทนออยล์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้น้ำมันปาล์มที่ดัดแปรด้วยน้ำมันลินสีด เกิดเป็นเจลภายใน 2-10 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันลินสีดที่ใช้ในการดัดแปร ในทางตรงกันข้าม เมื่อสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการดัดแปร ได้ยูรีเทนออยล์ที่เก็บไว้ได้นานโดยไม่เกิดเจล และสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่ได้ก็มีความใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและขวดเพตที่ใช้แล้ว โดยนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพตด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส โดยใช้โพรพิลีนไกลคอลเป็นสารย่อยสลาย มาทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ซิสกับน้ำมันปาล์ม จากนั้นนำผลผลิตที่ได้มาทำปฏิกิริยากับโพลีฮันไดโอะไซยาเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้เป็นยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆกัน ซึ่งการเตรียมยูรีเทนออยล์มีทั้งที่ใช้และไม่ใช้เมทานอลเป็นสารบล็อก เพื่อศึกษาผลของการปิดหมู่โอะไซยาเนตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ ยังมีการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปรด้วยน้ำมันลินสีด เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณพันธะคู่ที่มีต่อสมบัติการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ด้วย จากนั้นจึงนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบสมบัติในด้านต่างๆ พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมบัติดังกล่าวกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 การเตรียมไกลโคไลซ์โปรดักส์จากขวดเพตที่ใช้แล้ว

##### 3.1.1 สารเคมี

1. ขวดเพตบดละเอียด
2. โพรพิลีนไกลคอล เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Ajax Finechem จำกัด
3. ซิงก์แอสซีเทต เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Fluka จำกัด
4. เอทานอล เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Merck จำกัด

##### 3.1.2 อุปกรณ์

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

##### 3.1.3 เครื่องทดสอบ

1. พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) ของ Nicolet รุ่น Impact 400 D (รูปที่ 3.1)
2. เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatograph) ของ Waters รุ่น Waters 1515 (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 ฟลูออโรสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ของ Nicolet รุ่น Impact 400 D



รูปที่ 3.2 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี ของ Waters รุ่น Waters 1515

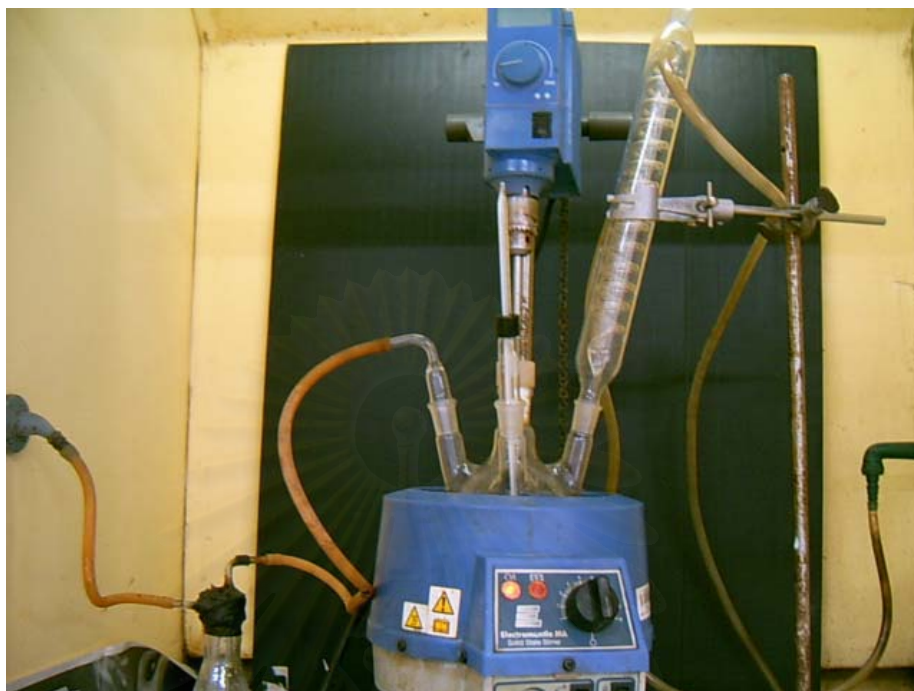
### 3.1.4 วิธีการทดลอง

1. ตัดและบดขวดเพตให้เป็นชิ้นเล็กๆ
2. นำขวดเพตที่บดละเอียดและโพรพิลีนไกลคอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของขวดเพตที่บดละเอียดต่อโพรพิลีนไกลคอล เท่ากับ 37.5:62.5\* และซิงก์แอซีเตตปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักขวดเพต ใส่ในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องควบแน่น และท่อนำเข้าไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.3
3. ให้ความร้อนกับของผสมจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 190°C ภายในเวลา 30 นาที โดยใช้ heating mantle พร้อมทั้งกวนของผสมตลอดเวลา ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
4. ปล่องยให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายดำเนินไปภายใต้ภาวะดังกล่าวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
5. ลดความร้อน และทิ้งให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน จากนั้นนำไปทดสอบการละลายในเอทานอล ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องละลายในเอทานอลได้
6. นำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ซึ่งก็คือไกลโคไลซ์โพรดักส์ ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR
7. ตรวจสอบหาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ด้วยเทคนิค GPC โดยใช้เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran; THF) เป็นเฟสเคลื่อนที่ และใช้พอลิสไตรีนเป็นมาตรฐาน
8. วิเคราะห์หาค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ตามมาตรฐาน ASTM D4274 เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณ TDI ที่เหมาะสมในสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

---

หมายเหตุ : \* ที่ใช้อัตราส่วนนี้ เนื่องจากทำให้ได้ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยของผสมระหว่างมอนอเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโมเลกุล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การย่อยสลายกรดเพต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3.2 การตัดแปรน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน

### 3.2.1 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม\*
2. น้ำมันลินสีด\*\*
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Ajax Finechem จำกัด

#### หมายเหตุ

\* น้ำมันปาล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท โอลีน จำกัด

มีสมบัติดังนี้

- ค่าของกรด	0.5
- ค่าไอโอดีน	57.88
- ความถ่วงจำเพาะ	0.9010
- สี (การ์ดเนอร์)	3.5
- ความหนืด (เซนติพอยส์)	108

\*\* น้ำมันลินสีดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี จำกัด

มีสมบัติดังนี้

- ค่าของกรด	0.5
- ค่าไอโอดีน	178.28
- ความถ่วงจำเพาะ	0.8976
- สี (การ์ดเนอร์)	2+
- ความหนืด (เซนติพอยส์)	76

### 3.2.2 อุปกรณ์

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



### 3.2.3 เครื่องทดสอบ

1. เครื่องวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) ของ Nicolet รุ่น Impact 400 D (รูปที่ 3.1)
2. แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) ของ Shimadzu รุ่น GC 17 (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แก๊สโครมาโทกราฟี ของ Shimadzu รุ่น GC 17

### 3.2.4 วิธีทดลอง

1. นำน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันลินสีด ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และไซเตียมไฮดรอกไซด์ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันผสม มาใส่ในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องควบคุม และท่อนำแก๊สไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.3
2. ให้ความร้อนแก่สารผสมจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ  $240^{\circ}\text{C}$  พร้อมทั้งกวนของผสมตลอดเวลา ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน และให้อุณหภูมิของสารผสมคงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
3. ลดความร้อน และทิ้งให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
4. ตรวจสอบชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดัดแปร โดยใช้เทคนิค GC
5. ทดสอบสมบัติด้านอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มดัดแปรที่ได้ ซึ่งได้แก่ ค่าของกรด ค่าไอโอดีน ความถ่วงจำเพาะ สี และความหนืด

### 3.3 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

#### 3.3.1 สารเคมี

1. ไกลโคไลซ์โพรดักส์
2. น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันปาล์มดัดแปร
3. แคลเซียมออกไซด์ เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Fluka จำกัด
4. เอทานอล เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Merck จำกัด
5. ไซลีน เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Panreac Quimica SA จำกัด
6. โทลิลีนไดไอโซไซยาเนต (TDI 80/20)\*
7. สารเร่งแห้ง (ในงานวิจัยนี้ ใช้สารละลายของเกลือเซอร์โคเนียม)
8. เมทานอล เกรดสำหรับการวิเคราะห์ของ บริษัท Zen Point จำกัด

#### หมายเหตุ

\* โทลิลีนไดไอโซไซยาเนต (TDI 80/20) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยมิตซุขย สเปเชียลตี้ เคมีคัล จำกัด

#### 3.3.2 อุปกรณ์

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

#### 3.3.3 เครื่องทดสอบ

1. ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) ของ Nicolet รุ่น Impact 400 D (รูปที่ 3.1)
2. เจลเพอเมชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatograph; GPC) ของ Shimadzu รุ่น 10 AVP (รูปที่ 3.5)
3. ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter; DSC) ของ Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.5 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี ของ Shimadzu รุ่น 10 AVP



รูปที่ 3.6 ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ของ Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC

### 3.3.4 วิธีทดลอง

#### 3.3.4.1 การสังเคราะห์มोनอและไดกลีเซอไรด์ จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์อิสระระหว่าง น้ำมันปาล์มกับไกลโคไลซีพอร์ดิกส์

1. ใส่น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดัดแปร ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.1 ลงในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ ท่อนำแก๊สไนโตรเจน และตัวดักน้ำที่ต่อกับเครื่องควบแน่นแบบกลั่นไหลกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7
2. ทำการกวนสารตลอดเวลาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน พร้อมทั้งให้ความร้อนด้วย heating mantle จนกระทั่งอุณหภูมิถึง  $150^{\circ}\text{C}$  จึงเติมไกลโคไลซีพอร์ดิกส์ลงไป
3. ให้ความร้อนกับของผสมจนถึงอุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  จึงเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไป แล้วให้ความร้อนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิถึง  $245^{\circ}\text{C}$  และให้อุณหภูมิของสารผสมคงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำสารผสม 1 ส่วนมาทดสอบการละลายในเอทานอล 2 ส่วน จนกระทั่งเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ จึงลดความร้อนและทิ้งไว้ให้เย็นจนของผสมมีอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี และ GPC โดยใช้ภาวะเช่นเดียวกับ 3.1.4 ข้อ 7
5. เติมโซลีนส่วนแรกลงในสารผสมที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งก็คือ มอนอและไดกลีเซอไรด์



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การสังเคราะห์มोनอและไดกลีเซอไรด์



ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆ

สูตร (OH:NCO)	ไกลโคไลซ์- โพรดักส์ (กรัม)	น้ำมัน (กรัม)	TDI (กรัม)	ไซลีน (กรัม)	CaO (กรัม)	สารเร่งแห้ง (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
1:1	50.00	61.98	58.88	80.58 x 2	0.0465	0.1859	-
1:1-mod. palm	50.00	61.98	58.88	80.58 x 2	0.0465	0.1859	-
1:1-block	50.00	61.98	58.88	80.58 x 2	0.0465	0.1859	1.00
1:0.9	50.00	55.78	52.99	72.52 x 2	0.0418	0.1673	-
1:0.9-mod. palm	50.00	55.78	52.99	72.52 x 2	0.0418	0.1673	-
1:0.9-block	50.00	55.78	52.99	72.52 x 2	0.0418	0.1673	1.00
1:0.8	50.00	49.58	47.11	56.40 x 2	0.0372	0.1488	-
1:0.8-mod. palm	50.00	49.58	47.11	56.40 x 2	0.0372	0.1488	-
1:0.8-block	50.00	49.58	47.11	56.40 x 2	0.0372	0.1488	1.00

## 3.3.4.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์จากมอนอและไดกลีเซอไรด์

1. เติมโพลิเอทิลีนไดไอโซไซยาเนต ไซลีนส่วนที่ 2 และสารเร่งแห้ง ซึ่งผสมอยู่ด้วยกัน ลงในสารผสมที่ได้จากขั้นตอน 3.3.4.1 ข้อ 5 โดยค่อยๆเติมทีละน้อย
2. ให้ความร้อนกับสารผสมจนถึงอุณหภูมิ 75-80°C แล้วปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง\*
3. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งก็คือ ยูรีเทนออยล์ ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี และ GPC
4. ในกรณีที่มีการบล็อกด้วยเมทานอล ให้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ตามวิธีข้างต้น และเติมเมทานอลในปริมาณ 2% โดยน้ำหนักของไกลโคไลซ์โพรดักส์ในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยา

\* ได้ทำการทดลองโดยเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 2 ชั่วโมง เป็น 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดของสารผสม และผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปีไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงใช้เวลาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ที่ 2 ชั่วโมงทุกสูตร

### 3.3.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มยูรีเทนออยล์

1. นำยูรีเทนออยล์แต่ละสูตรที่สังเคราะห์ได้มาปาดลงบนแผ่นกระจก แล้วทิ้งไว้จนแห้งสนิท
2. นำฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์มาตรวจสอบสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค DSC โดยให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 60-400°C และลดอุณหภูมิลงจาก 400-60°C แล้วจึงให้ความร้อนอีกครั้งในช่วงอุณหภูมิ 60-400°C โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10°C/นาที และอัตราการลดอุณหภูมิที่ 40°C/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



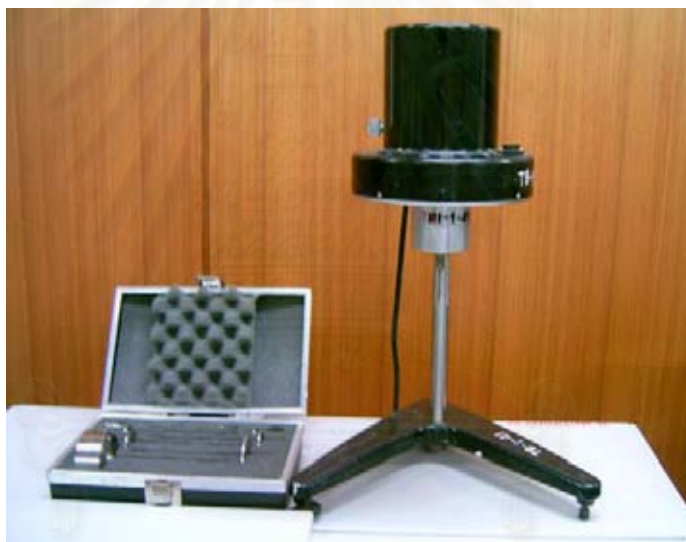
### 3.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์

#### 3.4.1 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว

##### 3.4.1.1 ความหนืด (Viscosity)

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

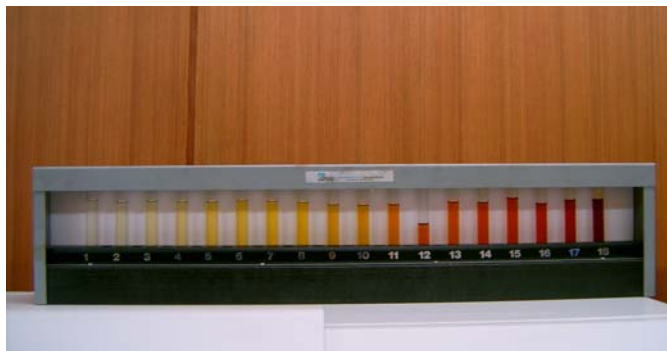
ในงานวิจัยนี้ ใช้มาตรฐานความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์ (Brookfield viscometer) เป็นเครื่องมือในการวัดความหนืดของของเหลว โดยอาศัยการวัดค่า Torque ที่ต้องการในการหมุนเข็มวัด (spindle) ที่จุ่มอยู่ในของเหลวดังกล่าว จนมีความเร็วคงที่ ซึ่งค่า Torque นี้จะแปรผันกับความหนืดของของเหลว ลักษณะของเครื่องมือได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 มาตรฐานความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์

##### 3.4.1.2 สี (Color)

การวัดสี สามารถทำได้โดยนำสารเคลือบผิวมาบรรจุลงในหลอดทดสอบซึ่งมีความใส แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสีของสารละลายสีมาตรฐาน (Gardner solution) ซึ่งเป็นสารละลายผสมในน้ำ (aqueous solution mixture) ของ  $\text{FeCl}_3 + \text{CCl}_4 + \text{HCl}$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน และมีเบอร์วัดสีตั้งแต่เบอร์ 1-18 โดยที่เบอร์ 1 เป็นสีอ่อนที่สุด ไล่ไปจนถึงเบอร์ 18 เป็นสีเข้มที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ส่วนการรายงานผล ให้บันทึกเป็นหมายเลขของสารมาตรฐานที่เทียบได้พอดี หรือที่อ่อนกว่า หรือเข้มกว่า เช่น ค่าของสีอยู่ระหว่าง 3 และ 4 ซึ่งลำดับของการรายงานเป็น 3- 3.5 3+ 4- และ 4



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสีแบบการ์ดเนอร์

#### 3.4.1.3 ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (% Nonvolatile Content)

การหาปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ ทำได้โดยการนำสารเคลือบผิว 2-3 กรัม (ซึ่งน้ำหนักให้แน่นอน) ใส่ในภาชนะกั้นแบน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำไปอบต่ออีก 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำหนักคงที่ นำน้ำหนักส่วนที่หายไปใช้คำนวณหาปริมาณสารที่ระเหยไม่ได้ โดยใช้สูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้} = 100 - [(A-B)/A \times 100]$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักสารก่อนอบ

B คือ น้ำหนักสารหลังอบ

#### 3.4.1.4 ค่าของกรด (Acid Value)

ค่าของกรด เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของกรดอิสระที่มีในสารตัวอย่าง สามารถหาได้โดยซึ่งตัวอย่างให้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง ซึ่งอาจใช้ไอโซโพรพานอลต่อโทลูอีน ที่อัตราส่วน 1:1 แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalene) เป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้จากมาตรฐาน ASTM D1639

ค่าของกรด สามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

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

### 3.4.1.5 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

ค่าไอโอดีน เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความไม่อิ่มตัวที่มีในสารตัวอย่าง นิยามให้ว่าเป็นจำนวนเซนติกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดโดยสารตัวอย่าง 1 กรัม ทำได้โดยซึ่งสารตัวอย่างให้น้ำหนักที่แน่นอน นำมาละลายในตัวทำละลายเฉื่อย (inert solvent) เช่น คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ แล้วเติมสารละลายที่มีหมู่ธาตุฮาโลเจนอิสระที่รู้ปริมาณที่แน่นอนลงไป เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ลงไป จะเกิดไอโอดีนออกมา นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ที่มีความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้จากมาตรฐาน ASTM D1959

ค่าไอโอดีน สามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(B - V) N \times 12.69}{S}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย Blank

V = ปริมาตรของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน

N = ความเข้มข้นของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

S = น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

### 3.4.1.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

นำสารตัวอย่างมาทดสอบการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการละลายในตัวทำละลายทั้งหมด 4 ชนิด คือ ไชลีน (xylene) ไวท์สปิริต (white spirit) บิวทิลแอสีเทต (butyl acetate) และนอร์มัลบิวทานอล (n-butanol)

### 3.4.1.7 ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying Time)

การทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว สามารถทำได้โดยนำสารเคลือบผิวมาปาดเคลือบลงบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tinplate) ด้วยแอปพลิเคเตอร์ ที่ความหนา 60 ไมครอน และจับเวลาการแห้งตัวของฟิล์ม การแห้งตัวของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่สามารถแห้งตัวได้เองในอากาศ จะมีลักษณะของการแห้งที่แตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้งตัวตามลำดับ ดังต่อไปนี้

- (1) แห้งฝุ่นไม่ติด (dust dry) หมายถึง การแห้งขั้นที่ฝุ่นไม่ติดพื้นผิวที่เคลือบไว้แล้ว
- (2) แห้งที่ผิว (surface dry) หมายถึง การแห้งเฉพาะผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่มและเหนียว
- (3) แห้งแตะได้ (touch dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แตะเบาๆ แล้วไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่
- (4) แห้งแตะไม่ติด (tack-free dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ผิวไม่อยู่ในสภาพเหนียวติด แม้ว่าจะมีแรงกด การแห้งขั้นนี้เป็นระยะที่เมื่อใช้นิ้วมือกดเบาๆ ที่ผิวฟิล์ม จะไม่มีรอยเกิดขึ้นบนผิวฟิล์ม
- (5) แห้งแข็ง (hard dry) หมายถึง การแห้งตัวถึงขั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรง ทดสอบได้โดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงบนผิวฟิล์มแล้วหมุนรอบๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าวหรือเสียหาย แสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้ว

รายละเอียดของการทดสอบ สามารถศึกษาได้จากมาตรฐาน ASTM D1640

### 3.4.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มยูรีเทนออยล์

#### การเตรียมฟิล์มยูรีเทนออยล์

นำยูรีเทนออยล์มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบที่เป็นโลหะหรือแผ่นกระจกตามที่มีมาตรฐานกำหนดไว้ การปาดเคลือบฟิล์มทำได้โดยใช้แอปพลิเคเตอร์ (film applicator) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งควบคุมความหนาของฟิล์มเปียกได้ตั้งแต่ 30 60 90 และ 120 ไมครอนเมตร สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ความหนาของฟิล์มที่ 120 ไมครอนเมตร จากนั้นทิ้งไว้จนฟิล์มแห้งแข็ง แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.10 แอปพลิเคเตอร์

### 3.4.2.1 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่สามารถทนต่อการเกิดรอยจากการกดหรือการขีดด้วยของแข็ง การหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้ทั่วไป คือ การทดสอบการขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็มทดสอบของเครื่องทดสอบความทนทานต่อการขีด (Mechanical Scratch Test Apparatus) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 สำหรับการรายงานค่าความแข็งของฟิล์ม จะยึดค่าน้ำหนักน้อยที่สุด (กรัม) ที่ทำให้เข็มสามารถแทงทะลุผิวของฟิล์มเคลือบ ซึ่งสำหรับรายละเอียดสามารถศึกษาได้จากมาตรฐาน ASTM D2197



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขีด

### 3.4.2.2 ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance)

ความทนทานต่อแรงกระแทก เป็นการวัดความคงทนของฟิล์มของสารเคลือบผิวเมื่อมีแรงมากระแทก เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย ลูกตุ้มหนัก 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) และสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ในระยะทาง 40 นิ้ว ลักษณะเครื่องมือได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 สำหรับการทดสอบสามารถทำได้โดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารตัวอย่างไว้แล้ววางยึดไว้ที่ฐานของเครื่องมือ จากนั้นตั้งระยะทางที่ปล่อยให้ลูกตุ้มตกลงมากระทบกับแผ่นทดสอบที่ระยะความสูงต่างๆกัน แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มตกลงมากระทบกับแผ่นทดสอบอย่างรวดเร็ว จากนั้น ตรวจสอบความเสียหายของแผ่นทดสอบ การรายงานค่าความทนทานต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยนิ้ว-ปอนด์ ซึ่งได้จากการนำค่าความสูงของลูกตุ้มก่อนปล่อยให้ตกลงมากระทบแผ่นทดสอบ (นิ้ว) คูณกับน้ำหนักของลูกตุ้ม (4 ปอนด์)





รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก

### 3.4.2.3 ความอ่อนตัว (Flexibility)

การทดสอบความอ่อนตัว สามารถทำได้โดยทดสอบดูความทนทานต่อการแตกร้าว หรือการหลุดล่อนออกจากแผ่นทดสอบของฟิล์ม เมื่อนำไปดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (bending test) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3-37 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ คือเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (Conical Mandrel Test Apparatus) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 การรายงานผลการทดสอบ ให้ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้ฉีกฟิล์มร้าว หรือหลุดล่อนออกจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่พบความบกพร่องให้ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของแกนรูปกรวย ตามรายละเอียดใน ASTM D522



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดัดโค้งรอบแกนรูปกรวย



#### 3.4.2.4 ความติดแน่น (Adhesion)







ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความสามารถในการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ ทดสอบได้โดยใช้วิธี Cross-cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D3359 Method B การทดสอบทำได้โดยใช้ Cross Hatch Cutter ดังแสดงในรูปที่ 3.14 กรีดเป็นตารางบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้น ใช้เทปกาวติดที่บริเวณรอยกรีดให้สนิท แล้วดึงเทปกาวออกอย่างรวดเร็ว ตรวจสอบข้อบกพร่องของฟิล์มแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน และรายงานผลเป็นเกรด ซึ่งแบ่งเกรดไว้ตั้งแต่ 5B-0B ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.14 Cross Hatch Cutter

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 การจัดลำดับความบกพร่องของฟิล์มจากการกรีดเป็นตาราง

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

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 3.4.2.6 ความทนน้ำ (Water Resistance)

การทดสอบหาความทนน้ำ เป็นการหาความสามารถของฟิล์มสารเคลือบผิวที่จะกันไม่ให้ น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ การทดสอบทำได้โดยนำฟิล์มของสารเคลือบผิวไปแช่น้ำภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลาแล้วให้นำแผ่นทดสอบออกจากน้ำ ชั้บด้วยกระดาษซับ ตรวจสอบผิวของแผ่นทดสอบเพื่อดูรอยพองหรือข้อบกพร่องอื่นๆ จากนั้น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นทดสอบอีกครั้ง สำหรับรายละเอียดสามารถศึกษาได้จากมาตรฐาน ASTM D1647

#### 3.4.2.7 ความทนกรดและด่าง (Acid and Alkali Resistance)

ทดสอบโดยนำแผ่นทดสอบไปแช่ในกรดหรือด่างภายในระยะเวลาที่กำหนด แล้วตรวจสอบคุณภาพผิวของฟิล์ม ถ้าฟิล์มมีความทนทานต่อกรดหรือด่างได้ดี หลังแช่ในกรดหรือด่างแล้วฟิล์มจะต้องมีสภาพเหมือนเดิม ไม่มีข้อบกพร่องใดๆเกิดขึ้น สำหรับรายละเอียดสามารถศึกษาได้จากมาตรฐาน ASTM D1647

#### 3.4.3 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้า

ทำการเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้สูตรที่ดีที่สุดกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ซึ่งยูรีเทนออยล์ทางการค้าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สยามเคมีคัล อินดัสตรี จำกัด โดยมีชื่อทางการค้าว่า “Burnock UL-65”

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 4.1 การเตรียมไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเพตที่ใช้แล้ว

##### 4.1.1 ลักษณะของไกลโคไลซ์โพรดักส์

จากการนำขวดเพตประเภทขวดน้ำดื่มที่ผ่านการบดแล้ว (รูปที่ 4.1) มาทำการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส โดยใช้โพรพิลีนไกลคอลที่มากเกินพอในอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเพตต่อโพรพิลีนไกลคอลเท่ากับ 37.5:62.5 และใช้ซิงก์แอสซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของขวดเพต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีสีเขียวอมฟ้า (รูปที่ 4.2) ซึ่งสีดังกล่าวเกิดจากการใส่ไบรท์เทนเนอร์ (brightener) ลงในขวดเพตเพื่อให้ขวดมีความใส



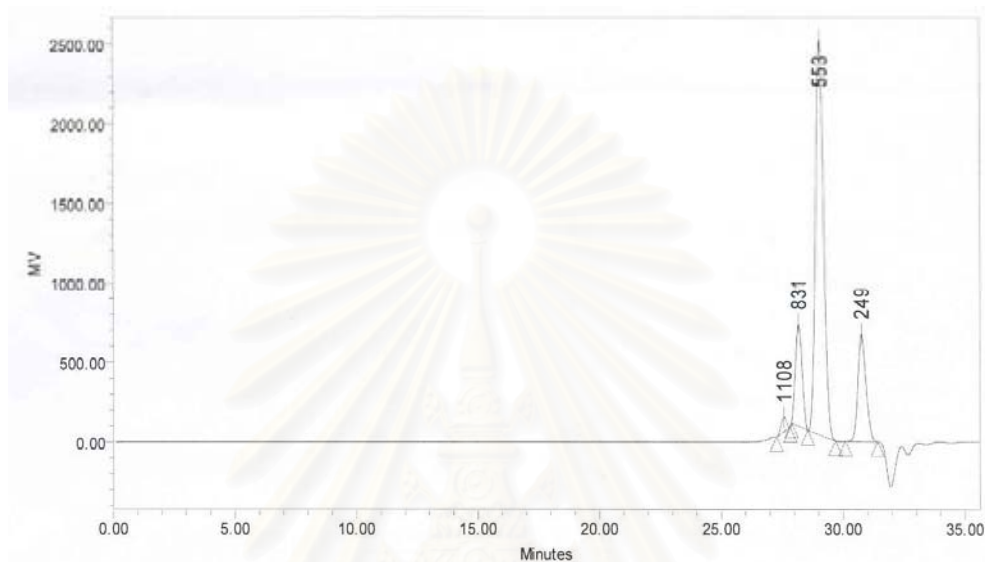
รูปที่ 4.1 ขวดเพตที่ผ่านการบดแล้ว



รูปที่ 4.2 ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพตด้วยวิธีไกลโคลิซิส

#### 4.1.2 การหาน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค GPC

เมื่อนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) ได้โครมาโทแกรมตามรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงพีคทั้งหมด 4 พีค แต่ละพีคบอกถึงค่าน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 GPC โครมาโทแกรมของไกลโคไลซ์โพรดักส์

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์

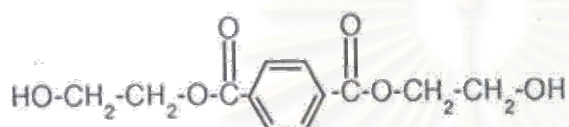
พีค	$M_p^*$	$\bar{M}_n$	$\bar{M}_w$	Polydispersity
1	1108	1107	1109	1.0018
2	831	828	831	1.0036
3	553	548	551	1.0055
4	249	240	242	1.0083
เฉลี่ย	-	542	544	-

\*  $M_p$  คือ ค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ปรากฏบนพีคในโครมาโทแกรม

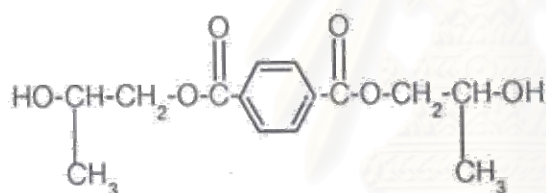
จากผลการวิเคราะห์ไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค GPC พบพีคที่แสดงถึงน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 ตำแหน่ง แสดงให้เห็นว่าพेटได้เปลี่ยนจากสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไปเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยมีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 ขนาด กล่าวคือ ได้เป็นโอลิโกเมอร์ 2 ขนาดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนเท่ากับ 1107 และ 828

สำหรับพิกที่แสดงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนเท่ากับ 548 น่าจะเป็นไดเมอร์ของบิส(2-ไฮดรอกซีเอทิล)เทเรฟทาเลต [bis(2-hydroxyethyl)terephthalate; BHET], บิส(2-ไฮดรอกซีโพรพิล)เทเรฟทาเลต [bis(2-hydroxypropyl)terephthalate; BHPT] และ  $\alpha$ -(2-ไฮดรอกซีเอทิล)- $\alpha'$ -(2-ไฮดรอกซีโพรพิล)เทเรฟทาเลต [ $\alpha$ -(2-hydroxyethyl)- $\alpha'$ -(2-hydroxypropyl) terephthalate] ส่วนพิกที่แสดงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนเท่ากับ 240 น่าจะเป็นมอนอเมอร์ของ BHET, BHPT และ  $\alpha$ -(2-ไฮดรอกซีเอทิล)- $\alpha'$ -(2-ไฮดรอกซีโพรพิล)เทเรฟทาเลต [8] และ [11] ดังตัวอย่างโครงสร้างต่อไปนี้

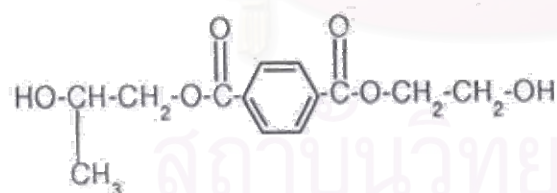
BHET



BHPT



$\alpha$ -(2-hydroxyethyl)- $\alpha'$ -(2-hydroxypropyl)terephthalate



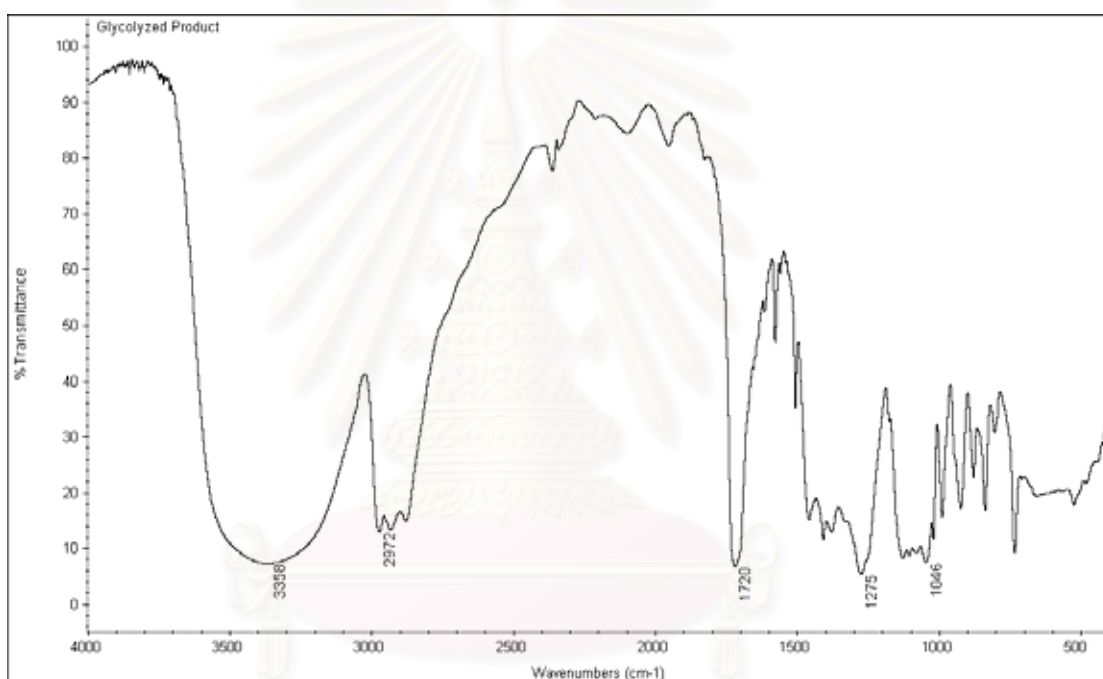
เมื่อนำค่าน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยพบว่า น้ำหนักโมเลกุลที่เฉลี่ยโดยจำนวนและโดยน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 542 และ 544 ตามลำดับ



#### 4.1.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี

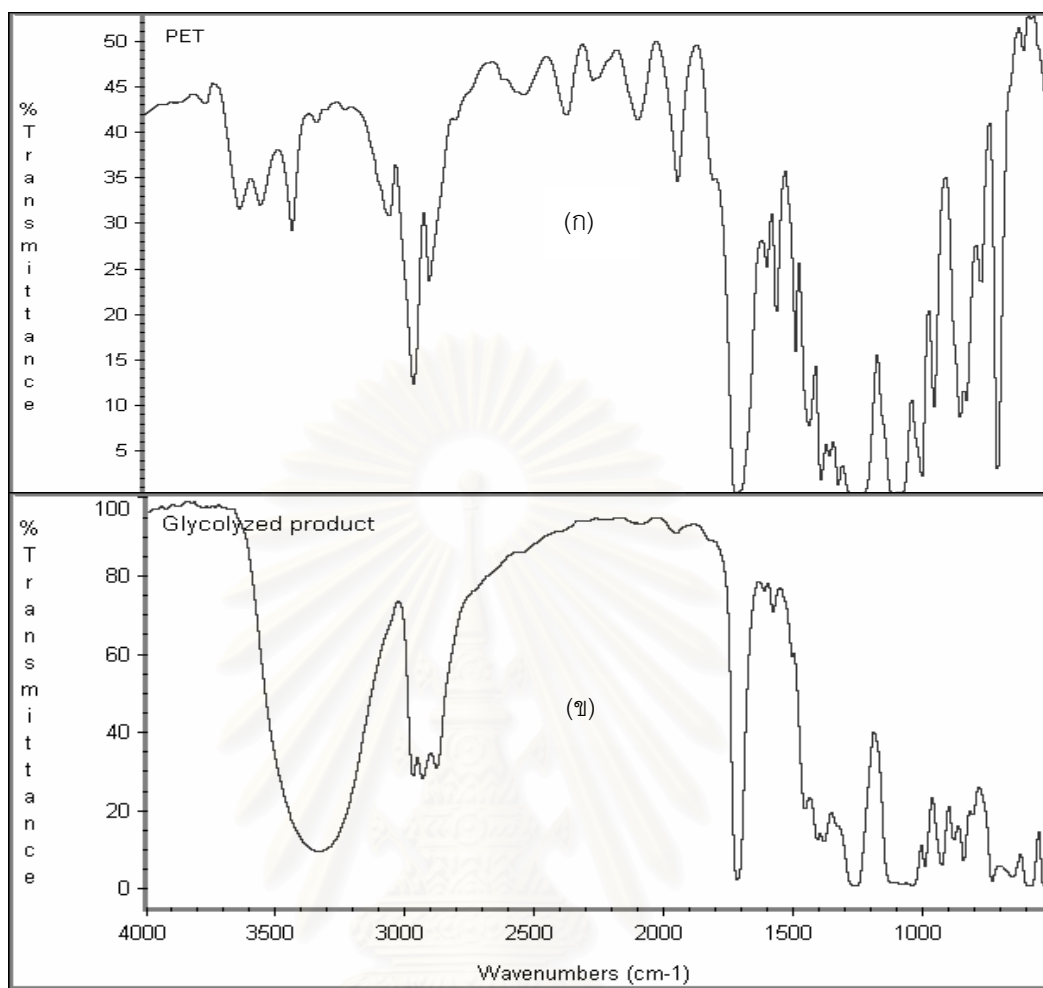
เมื่อนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.4 ซึ่งพบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญดังนี้

1. พีกที่ตำแหน่ง  $3358\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล (OH)
2. พีกที่ตำแหน่ง  $2972\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ C-H stretching
3. พีกที่ตำแหน่ง  $1720\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O)
4. พีกที่ตำแหน่ง  $1275\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ C-O-C stretching
5. พีกที่ตำแหน่ง  $1046\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ C-OH stretching



รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์

เมื่อเปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมของไกลโคไลซ์โพรดักส์กับ FT-IR สเปกตรัมของเพต ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า FT-IR สเปกตรัมของสารทั้งสองมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพีกที่ตำแหน่ง  $3358\text{ cm}^{-1}$  ในไกลโคไลซ์โพรดักส์ ซึ่งพีกนี้เป็นลักษณะเฉพาะของสารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบไฮดรอกซิล ในขณะที่ในสเปกตรัมของเพตไม่พบพีกดังกล่าว ซึ่งให้เห็นว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์เป็นส่วนของโมเลกุลของเพตที่ถูกตัดออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายโมเลกุล นอกจากนี้แล้วเมื่อนำไกลโคไลซ์โพรดักส์มาทดสอบความสามารถในการละลายในเอทานอล พบว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์สามารถละลายในเอทานอลได้ดี เป็นการยืนยันว่าโครงสร้างของไกลโคไลซ์โพรดักส์ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล



รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง (ก) ขวดเพต และ (ข) ไกลโคไลซ์โพรดักส์

ผลการวิเคราะห์ไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค GPC และ FT-IR ในช่วงต้น ทำให้คาดได้ว่า ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นสารประเภทมอนอเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ และโพลิโกลิเมอร์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ปลายโมเลกุล จึงมีความเป็นไปได้ในการนำไกลโคไลซ์โพรดักส์มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

#### 4.1.4 การหาค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์

ก่อนนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ไปใช้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ จำเป็นต้องนำไปทดสอบหาค่าไฮดรอกซิลเสียก่อน โดยในงานวิจัยนี้ ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4274 ซึ่งค่าไฮดรอกซิลนี้ ได้นำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณโพลีลีนไดไอโซไซยาเนตที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆต่อไป

จากการทดสอบหาค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์

ครั้งที่	ค่าไฮดรอกซิล (มิลลิกรัม KOH/กรัม)
1	761.74
2	758.96
3	757.71
ค่าเฉลี่ย	759.47

## 4.2 การดัดแปรน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน

### 4.2.1 การตรวจสอบชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันด้วยเทคนิค GC

ผลจากการดัดแปรน้ำมันปาล์มด้วยน้ำมันลินสีดที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันทั้งสองชนิดเท่ากับ 1:1 โดยอาศัยปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อน ซึ่งเมื่อนำมาตรวจสอบชนิดและปริมาณของกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มและน้ำมันลินสีด เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของชนิดและปริมาณของกรดไขมันหลังจากผ่านปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร

ชนิดของกรดไขมัน (จำนวนอะตอมคาร์บอน:จำนวนพันธะคู่)	ปริมาณกรดไขมัน (%)		
	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันลินสีด	น้ำมันปาล์มดัดแปร
กรดปาล์มมิติก (C 16:0)	38.38	4.89	19.67
กรดสเตียริก (C 18:0)	3.57	6.65	11.84
<b>ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด</b>	<b>41.95</b>	<b>11.54</b>	<b>31.51</b>
กรดโอเลอิก (C 18:1)	45.08	21.20	24.23
กรดลิโนเลอิก (C 18:2)	12.97	14.46	44.26
กรดลิโนเลนิก (C 18:3)	-	52.80	-
<b>ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด</b>	<b>58.05</b>	<b>88.46</b>	<b>68.49</b>

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันลินสีด ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของกรดไขมัน โดยน้ำมันปาล์มดัดแปรประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่ปริมาณระหว่างปริมาณในน้ำมันทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่ากรดไขมันที่มีมากในน้ำมันปาล์มดัดแปร คือ กรดลิโนเลอิก และไม่พบกรดลิโนเลนิกเลย ทำให้คาดว่าเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนระหว่างปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน กรดลิโนเลนิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบางส่วน เปลี่ยนไปเป็นกรดลิโนเลอิกที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ

#### 4.2.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร

จากการทดสอบสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร

สมบัติ	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันลินสีด	น้ำมันปาล์มดัดแปร
ค่าของกรด	0.5	0.5	0.5
ค่าไอโอดีน	57.88	178.28	123.06
ความถ่วงจำเพาะ (25°C)	0.9010	0.8976	0.8989
ความหนืด (เซนติพอยส์)	108	76	106
สี (การ์เดนเนอร์)*	3.5	2+	3.5

\* ลำดับความเข้มของสีจากอ่อนไปเข้ม คือ 2+ 2.5 3- 3 3+ 3.5

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าของกรด ค่าไอโอดีน ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และสี (ดังแสดงในรูปที่ 4.6) ของน้ำมันปาล์มดัดแปร มีค่าอยู่ระหว่าง หรือเท่ากับน้ำมันปาล์ม และน้ำมันลินสีด ซึ่งในส่วนของค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความไม่อิ่มตัวของน้ำมัน ในน้ำมันปาล์มดัดแปร มีค่าไอโอดีนที่สูงกว่าของน้ำมันปาล์ม แต่ต่ำกว่าของน้ำมันลินสีด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ทั้งนี้เป็นผลมาจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันได้รับความร้อน ทำให้กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลิโนเลนิกเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันบางส่วน ทำให้ปริมาณความไม่อิ่มตัวลดลง



รูปที่ 4.6 สีและลักษณะของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มดัดแปร

### 4.3 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

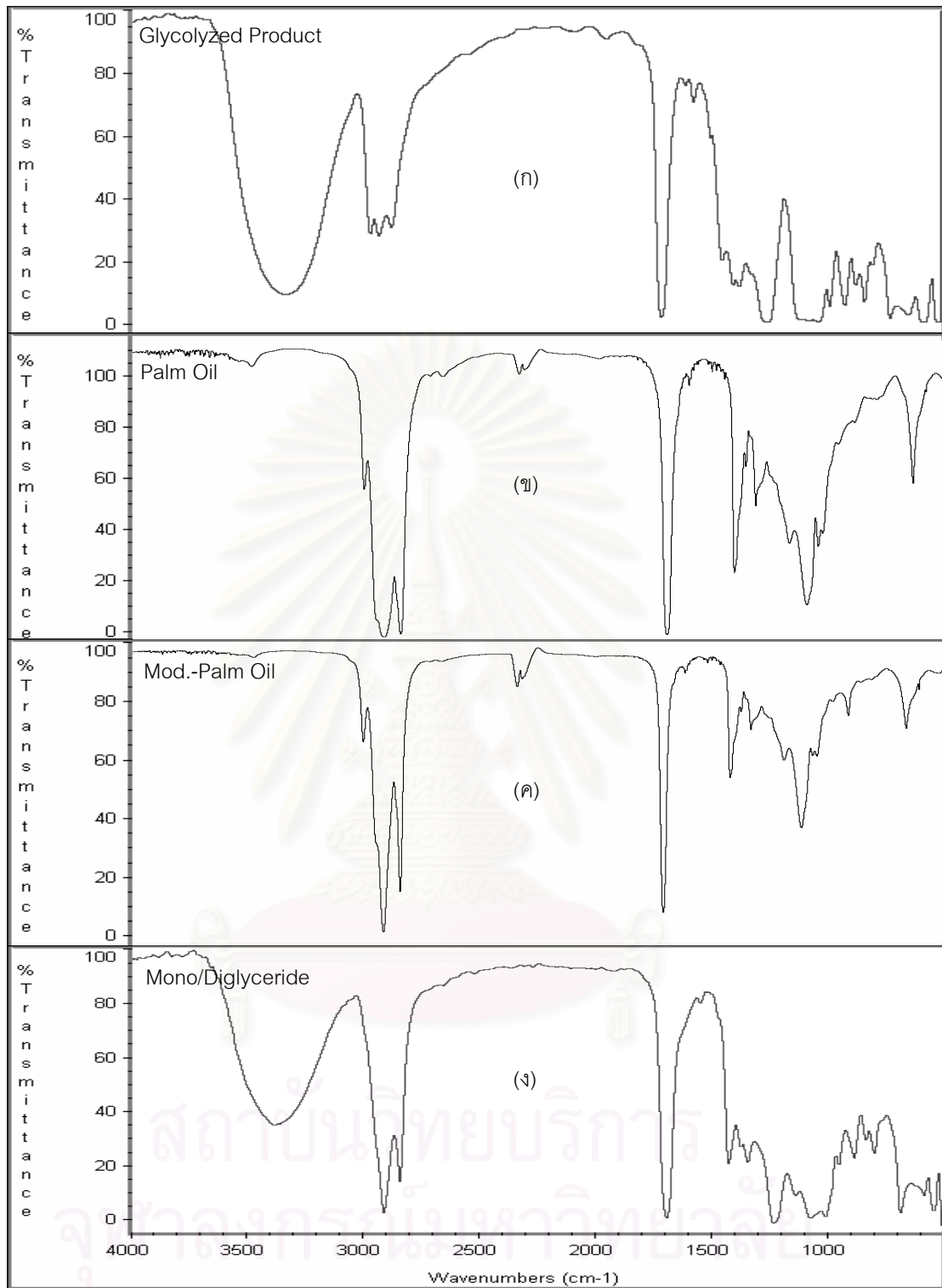
การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ สามารถทำได้โดยนำไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดพेट มาทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันปาล์มดัดแปร ซึ่งเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์ ซึ่งเกิดจากการเข้าแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในไกลโคไลซ์โพรดักส์ จากนั้นนำมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต ได้เป็นยูรีเทนออยล์เป็นผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้สามารถสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตรต่างๆกันไปตามอัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ไอโซไซยาเนต (OH:NCO)

#### 4.3.1 การวิเคราะห์มอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส

เมื่อนำมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสระหว่างน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดัดแปร และไกลโคไลซ์โพรดักส์มาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี และเปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมระหว่างไกลโคไลซ์โพรดักส์ น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มดัดแปร และมอนอและไดกลีเซอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่า สเปกตรัมของมอนอและไดกลีเซอไรด์แสดงหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ปรากฏทั้งในไกลโคไลซ์โพรดักส์และน้ำมันเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นเบื้องต้นจึงพอสรุปได้ว่าปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสระหว่างน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันปาล์มดัดแปรกับไกลโคไลซ์โพรดักส์ ได้มอนอและไดกลีเซอไรด์เป็นผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบเพื่อยืนยันว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสระหว่างไกลโคไลซ์โพรดักส์กับน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันปาล์มดัดแปร เป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์จริง สามารถทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบการละลายในเอทานอล โดยใช้สารตัวอย่าง 1 ส่วน ละลายในเอทานอล 2-3 ส่วน ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถละลายในเอทานอลได้อย่างสมบูรณ์ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์เรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติแล้วน้ำมันไม่สามารถละลายในเอทานอล ในขณะที่ไกลโคไลซ์โพรดักส์สามารถละลายในเอทานอลได้ ดังนั้น การที่ผลิตภัณฑ์สามารถละลายในเอทานอลได้ แสดงให้เห็นว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์กับน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันปาล์มดัดแปรเข้าทำปฏิกิริยากันโดยสมบูรณ์จนได้เป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์แล้ว





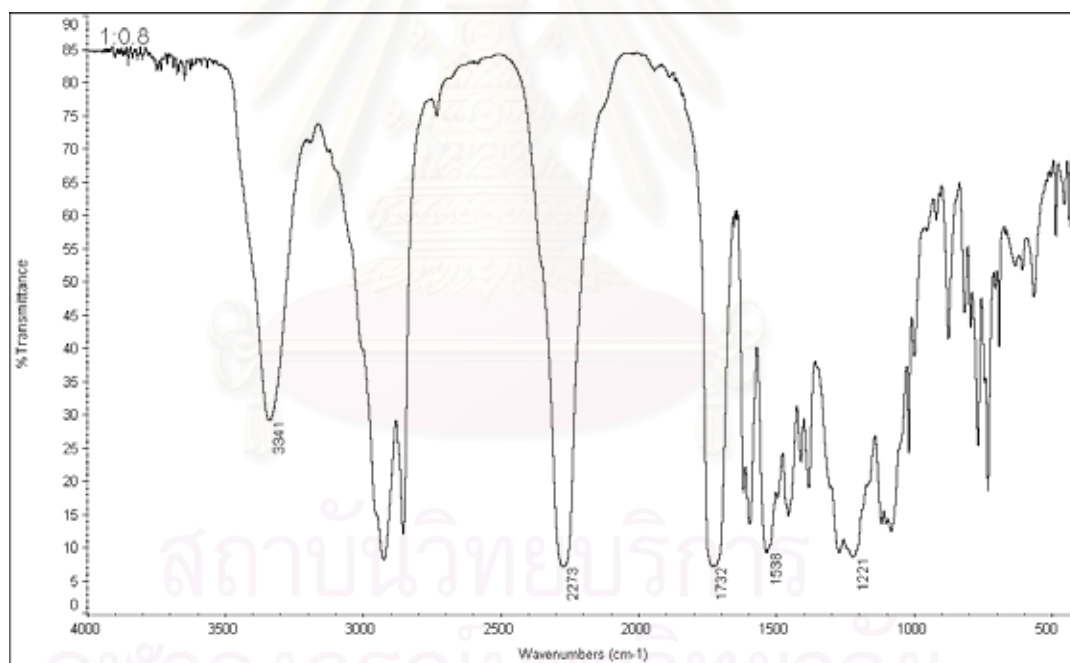
รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่าง

(ก) ไกลโคไลไซท์โปรดักส์ (ข) น้ำมันปาล์ม (ค) น้ำมันปาล์มดัดแปร (ง) มอนอและไดกลีเซอไรด์

### 4.3.2 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี

เมื่อนำมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่สังเคราะห์ได้มาทำปฏิกิริยากับโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต พบว่า หมู่ไฮดรอกซิลในมอนอและไดกลีเซอไรด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตในโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต เกิดเป็นพันธะยูรีเทนซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในยูรีเทนออยล์ และเมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้แต่ละสูตรไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี พบว่าได้ผลในลักษณะเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยพิกที่ปรากฏแสดงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ดังนี้

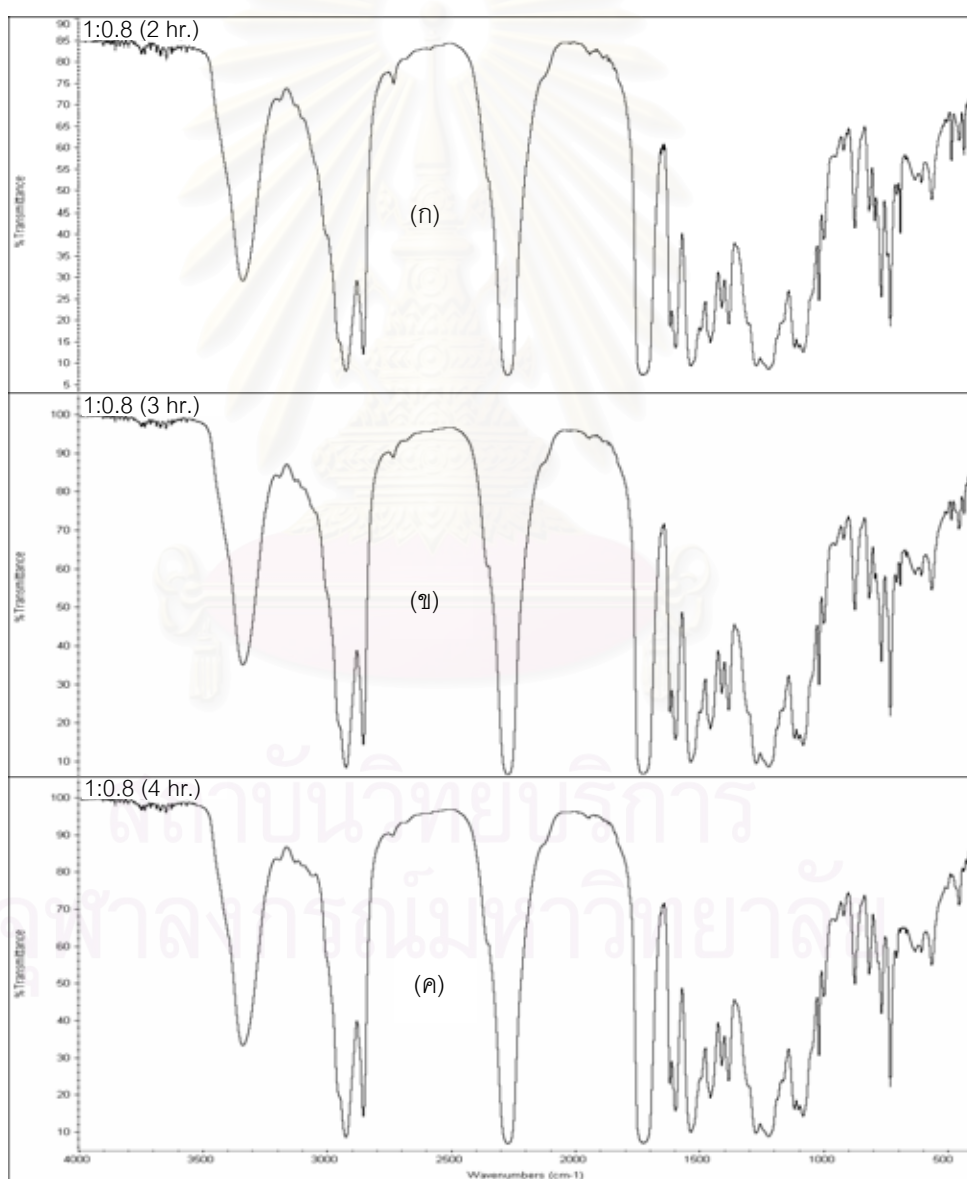
1. พิกที่ตำแหน่ง  $3341\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ N-H stretching
2. พิกที่ตำแหน่ง  $2273\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่ไอโซไซยาเนต  $\text{-NCO}$
3. พิกที่ตำแหน่ง  $1732\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล  $\text{C=O}$
4. พิกที่ตำแหน่ง  $1538\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ C-N และ N-H
5. พิกที่ตำแหน่ง  $1221\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงพันธะ C-O-C stretching



รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8

จากสเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8 ในรูปที่ 4.8 จะพบพิกที่ตำแหน่ง  $3341\text{ cm}^{-1}$  และ  $1538\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพันธะ N-H ที่มีอยู่ในพันธะยูรีเทน และพิกที่ตำแหน่ง  $1732\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C=O}$ ) ในเอสเทอร์และยูรีเทน นอกจากนี้ยังพบพิกของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง  $2273\text{ cm}^{-1}$  แสดงว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่

ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองโดยเพิ่มระยะเวลาการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ในขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์และไดกลีเซอไรด์กับโทลิลีนไดไอโซไซยาเนต จาก 2 ชั่วโมง เป็น 3 และ 4 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไอโซไซยาเนต ด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 โดยพบว่า FT-IR สเปกตรัมไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่า แม้จะเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาก็ไม่มีผลใดๆ นอกจากนี้ ยังทดสอบหาความหนืดของยูรีเทนออยล์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน พบว่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ที่ 2 ชั่วโมงนั้น ไม่ได้น้อยเกินไป



รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8 เปรียบเทียบระหว่าง  
(ก) 2 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง (ค) 4 ชั่วโมง

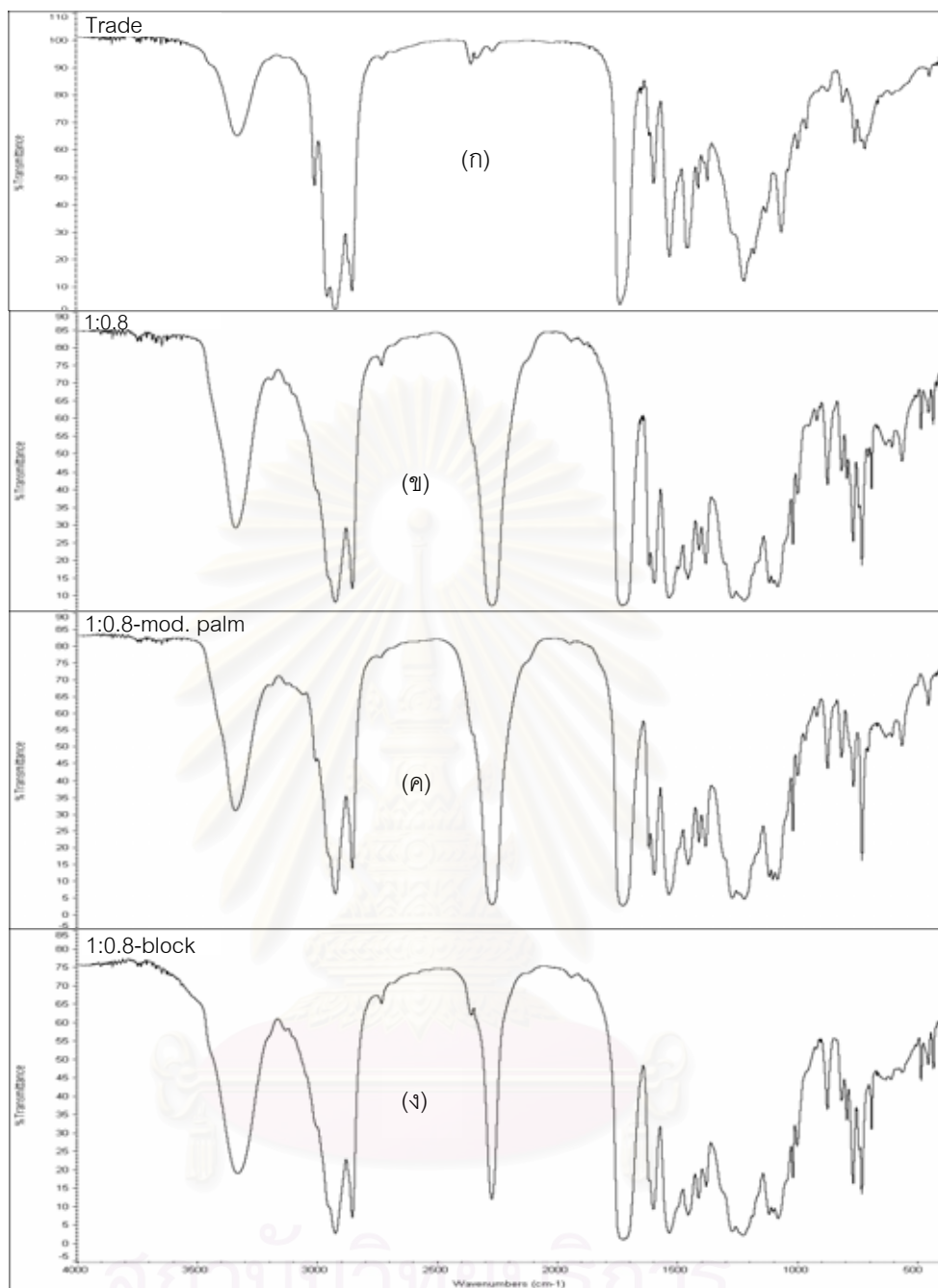
จากนั้น ได้ทดลองสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ด้วยวิธีการต่างๆ ที่อาจช่วยปรับปรุงสมบัติของยูรีเทนออยล์ให้ดีขึ้น ซึ่งได้ทำทั้งหมด 2 วิธี ดังนี้

1. บล็อกหมู่ไอโซไซยานาตที่เหลืออยู่ด้วยเมทานอลปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไกลโคไลซ์โพรดักส์ (ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย สูตร-block)
2. เปลี่ยนจากการใช้น้ำมันปาล์มธรรมดา มาเป็นน้ำมันปาล์มดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันลินสีด (ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย สูตร-mod. palm)

จากนั้น นำยูรีเทนออยล์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆข้างต้นไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์แต่ละสูตรกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10



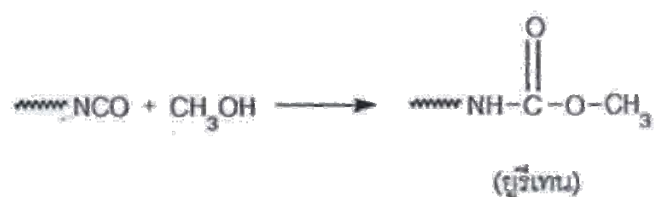
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



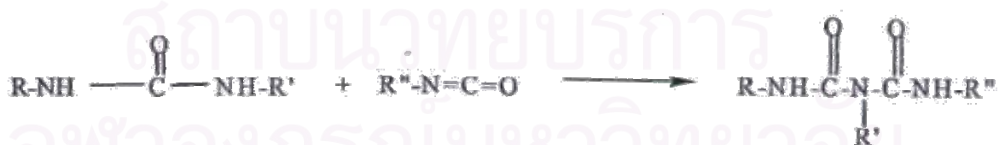
รูปที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ เปรียบเทียบระหว่าง  
 (ก) ยูรีเทนออยล์ทางการค้า (ข) สูตร 1:0.8 (ค) สูตร 1:0.8-mod. palm (ง) สูตร 1:0.8-block

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีลักษณะเหมือนกันกับของยูรีเทนออยล์ทางการค้า แต่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดตรงที่ FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้าแทบจะไม่ปรากฏพีกของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ตำแหน่ง  $2273\text{ cm}^{-1}$  เลย ในขณะที่พีกดังกล่าวพบในยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร นอกจากนี้ยังพบว่า ยูรีเทนออยล์ที่บดลอกจากเมทานอลจะมีความเข้มของพีกที่แสดงหมู่ไอโซไซยาเนตลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบ

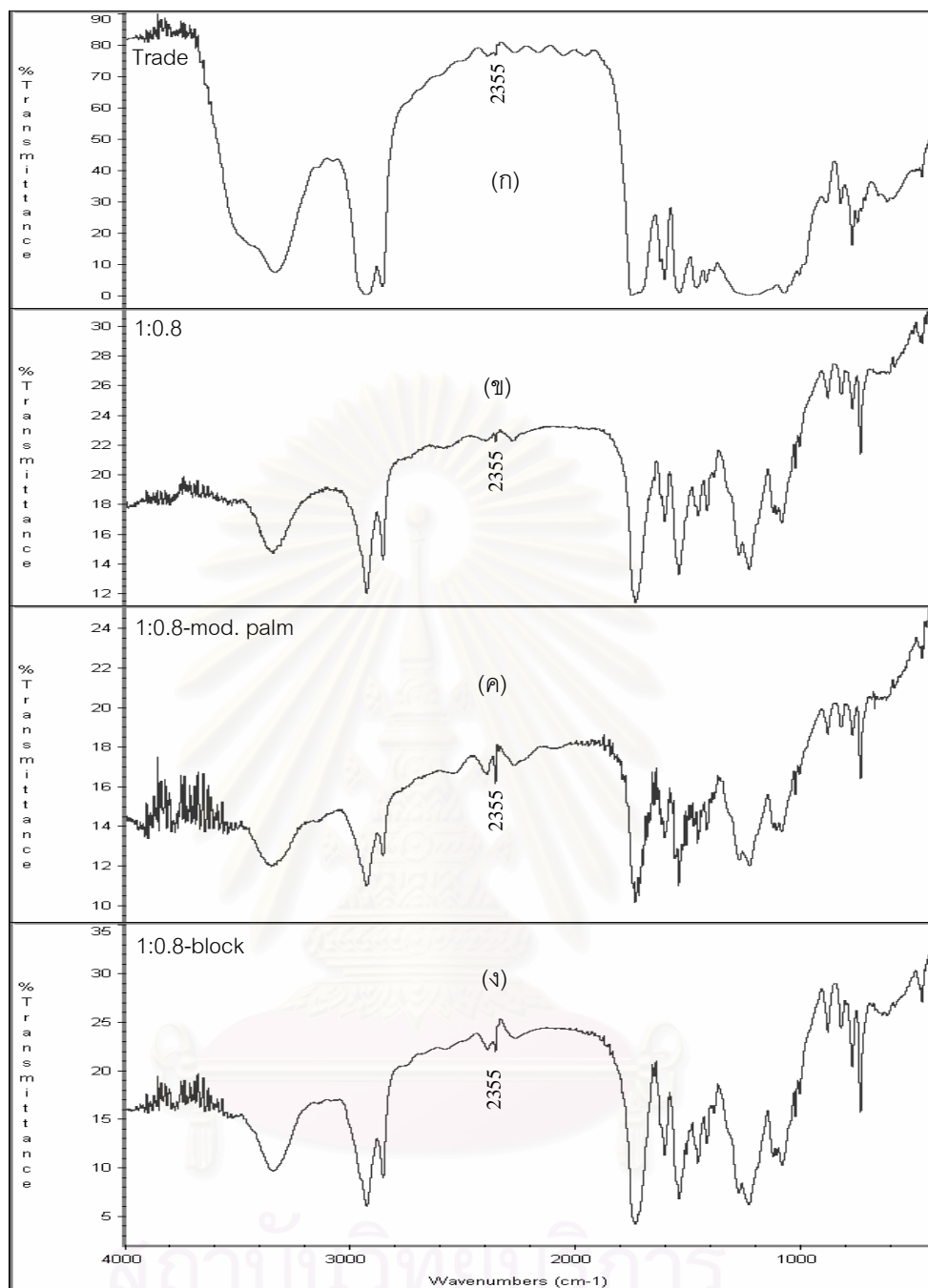
กับยูรีเทนออยล์ที่ไม่ได้บล็อคด้วยเมทานอล แสดงว่า เมทานอลได้เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานेटที่เหลืออยู่ เกิดเป็นพันธะยูรีเทน ดังแสดงไว้ในปฏิกิริยาต่อไปนี้



เมื่อนำยูรีเทนออยล์แต่ละสูตรไปทำให้เป็นฟิล์มแห้ง แล้วนำไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งพบว่า FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ที่ได้ไม่ปรากฏพีกของหมู่ไอโซไซยานेटที่  $2273 \text{ cm}^{-1}$  อีกต่อไป และพบพีกของคาร์บอนไดออกไซด์ที่  $2355 \text{ cm}^{-1}$  แสดงว่าในระหว่างการแห้งตัวหรือการบ่มตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์ หมู่ไอโซไซยานेटที่เหลืออยู่ได้เข้าทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศเกิดกรดคาร์บาไมคที่ไม่เสถียร ซึ่งจะแตกตัวให้แอมีนและคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นแอมีนจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานेटอีกหมู่ ได้เป็นยูเรีย และอาจเกิดปฏิกิริยาต่อไปกับหมู่ไอโซไซยานेटได้เป็นไบยูเรต ดังแสดงในสมการต่อไปนี้







รูปที่ 4.11 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแข็งยูรีเทนออยล์

(ก) ยูรีเทนออยล์ทางการค้า (ข) สูตร 1:0.8 (ค) สูตร 1:0.8-mod. palm (ง) สูตร 1:0.8-block

### 4.3.3 การหาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์แต่ละขั้นตอน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 ตารางที่ 4.5 น้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์แต่ละขั้นตอนจากการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8

ชนิดสาร	$\bar{M}_n$	$\bar{M}_w$	Polydispersity Index
ไกลโคไลซ์โพรดักส์	542	544	-
มอนอและไดกลีเซอไรด์	645	843	1.31
ยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8	1227	2613	2.13

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งให้เห็นว่าไกลโคไลซ์โพรดักส์ได้เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น และเมื่อนำมอนอและไดกลีเซอไรด์มาทำปฏิกิริยาต่อกับโพลีลีนไดไอโซไซยานเนต ก็พบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาจนได้เป็นยูรีเทนออยล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR สเปกโทรสโกปี กล่าวคือ สารต่างๆในระบบสามารถเข้าทำปฏิกิริยากันจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชัน และได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น

#### 4.3.4 การหาน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์

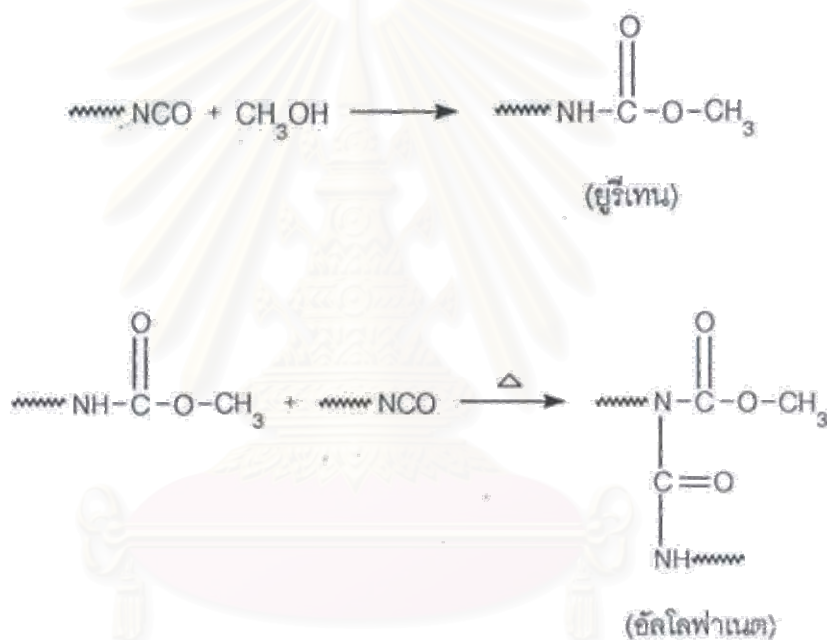
เมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (GPC) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์

สาร (OH:NCO)	$\bar{M}_n$	$\bar{M}_w$	Polydispersity
Trade	6158	75113	12.20
1:1	897	1422	1.59
1:1-mod. palm	1044	1956	1.87
1:1-block	1100	2069	1.88
1:0.9	1052	1879	1.79
1:0.9-mod. palm	1102	2101	1.91
1:0.9-block	1148	2823	2.46
1:0.8	1227	2613	2.13
1:0.8-mod. palm	1255	2948	2.35
1:0.8-block	1861	5533	2.97

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์แต่ละสูตรพบว่า เมื่ออัตราส่วนของหมู่ไฮโซไซยานาตลดลง น้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเข้าทำปฏิกิริยาของหมู่ไฮโซไซยานาตกับหมู่ไฮดรอกซิล กล่าวคือ ในกรณีที่ปริมาณหมู่ไฮโซไซยานาตอยู่มาก หมู่ไฮโซไซยานาตจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของมอนอและไดกลีเซอไรด์ที่ละหลายโมเลกุลในเวลาเดียวกันอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ในขณะที่เมื่อหมู่ไฮโซไซยานาตมีปริมาณลดลง การเข้าทำปฏิกิริยาของหมู่ไฮโซไซยานาตกับหมู่ไฮดรอกซิลอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในหนึ่งโมเลกุล เพราะมีปริมาณหมู่ไฮโซไซยานาตให้เลือกได้น้อยกว่า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักโมเลกุลจึงเพิ่มขึ้น

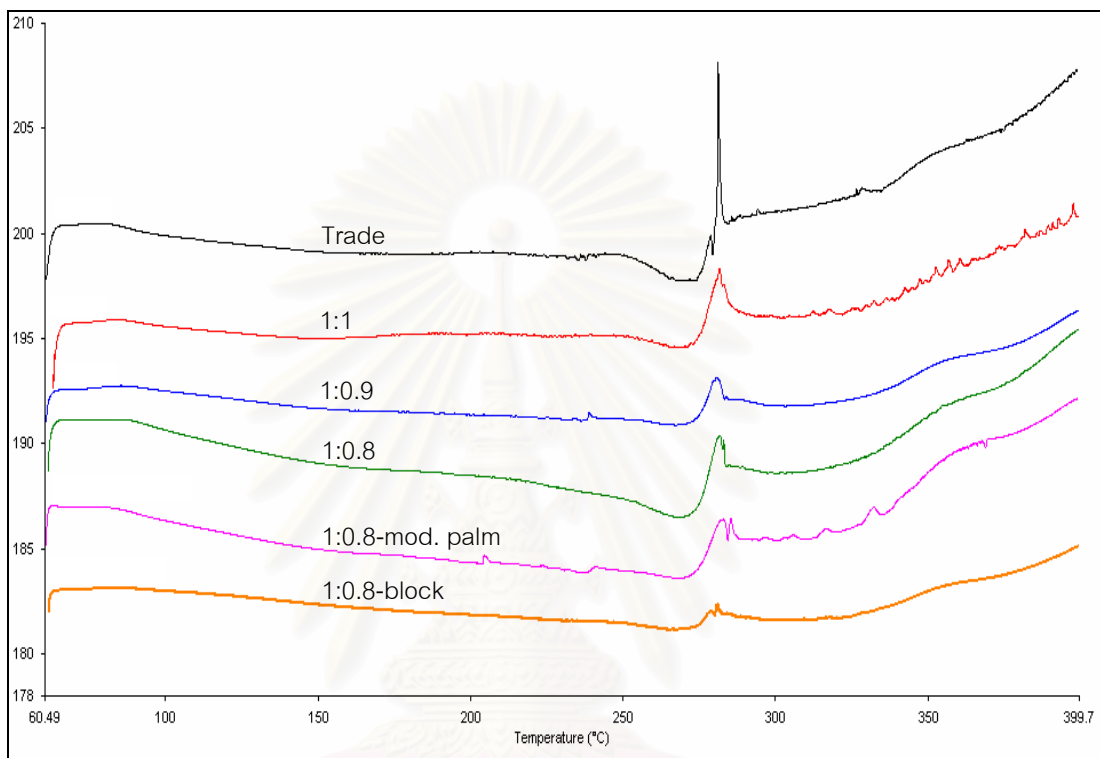
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ ที่อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตที่เท่ากัน แต่มีการปรับปรุงสูตรต่างกัน คือ สูตรที่ไม่มีการปรับปรุงสูตรที่บล็อกด้วยเมทานอล และสูตรที่ใช้ไขมันปาล์มดัดแปรแทนไขมันปาล์มธรรมดา พบว่าได้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ น้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ไขมันปาล์มดัดแปรแทนไขมันปาล์มที่ไม่มีการดัดแปร และเพิ่มขึ้นอีกเมื่อทำการบล็อกหมู่ไอโซไซยาเนตที่เหลืออยู่ด้วยเมทานอล ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลจากการที่เมทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดเป็นพันธะยูรีเทน เสมือนเป็นการเพิ่มขนาดโมเลกุล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น และอาจเป็นไปได้ที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปกับหมู่ไอโซไซยาเนตอีกหมู่ ได้เป็นอัลโลฟาเนต [26-28] ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการ



แต่ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้าพบว่า น้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรยังคงต่ำกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้ามาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากภาวะและชนิดของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์แตกต่างกัน

### 4.3.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ด้วยเทคนิค DSC

เมื่อนำฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่แห้งแล้วไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) ได้ผลการวิเคราะห์เป็นเทอร์โมแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.12 และได้ผลข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางความร้อนของฟิล์มยูรีเทนออยล์

สูตร (OH:NCO)	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)	Onset Temperature (°C)	Exothermic Peak (°C)
Trade	-	-	281	281
1:1	-	-	279	282
1:0.9	-	-	277	281
1:0.8	-	-	277	281
1:0.8-mod. palm	-	-	275	282
1:0.8-block	-	-	280	281

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มแข็งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร รวมถึงยูรีเทนออยล์ทางการค้า พบว่าไม่ปรากฏลักษณะเฉพาะทางความร้อนที่แสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature;  $T_g$ ) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature;  $T_m$ ) แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นระหว่างการแห้งของฟิล์มยูรีเทนออยล์ นอกจากนี้ยังพบพีกแสดงปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic peak) ที่อุณหภูมิประมาณ  $280^\circ\text{C}$  ซึ่งคาดว่าเป็นพีกแสดงอุณหภูมิการบ่มหรือการเชื่อมโยง (curing temperature) จากปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในระบบ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มยูรีเทนออยล์เกิดการบ่มอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ  $280^\circ\text{C}$  เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับฟิล์มอีกครั้ง จากอุณหภูมิ  $60\text{-}400^\circ\text{C}$  ไม่พบพีกที่แสดงปฏิกิริยาคายความร้อนอีก และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า  $300^\circ\text{C}$  พบว่าฟิล์มเริ่มเกิดการสลายตัว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.4 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์

##### 4.4.1 การทดสอบสมบัติในสถานะของเหลว

ยูรีเทนออยล์ทุกสูตรที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีเหลืองอ่อน (รูปที่ 4.13) และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆในสถานะของเหลว ได้แก่ สี ความหนืด ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (%Nonvolatile content; %NV) และค่าของกรด พบว่า สีของยูรีเทนออยล์อยู่ในช่วง 2+ ถึง 4+ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ทางการค้าสามารถยอมรับได้ คือ ไม่เกินระดับ 5 ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (%NV) อยู่ในช่วง 49.50-53.73% และค่าของกรดอยู่ในช่วง 3-4 ส่วนความหนืดของยูรีเทนออยล์จะแตกต่างกันไป ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติของยูรีเทนออยล์ในสถานะของเหลว

สูตร (OH:NCO)	สี* (การ์ดเนอร์)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	%Nonvolatile (%NV)	ค่าของกรด
1:1	3.5	40	49.78%	4
1:1-mod. palm	4-	45	49.50%	4
1:1-block	3-	52	49.76%	4
1:0.9	2+	50	50.00%	4
1:0.9-mod. palm	4+	52	51.72%	4
1:0.9-block	3-	53	52.40%	4
1:0.8	3-	111	50.90%	3
1:0.8-mod. palm	4+	124	51.74%	4
1:0.8-block	3-	420	53.73%	3

\* ลำดับความเข้มของสีจากอ่อนไปเข้ม คือ 2+ 2.5 3- 3 3+ 3.5 4- 4 4+

เมื่อพิจารณาความหนืดของยูรีเทนออยล์พบว่า เมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง ความหนืดมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตที่เท่ากันพบว่า ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยเริ่มจากสูตรที่ไม่มีการปรับปรุง สูตรที่ใช้น้ำมันปาล์มดัดแปร และสูตรที่บดด้วยเมทานอล ซึ่งผลของความหนืดที่ได้นี้สอดคล้องกับผลของน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นด้วย

(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



รูปที่ 4.13 สีและลักษณะของยูรีเทนออยด์สูตรต่างๆ (ก) ยูรีเทนออยด์ทางการค้า

(ข) สูตร 1:1 1:0.9 1:0.8 (ค) สูตร 1:1 1:1-mod. palm 1:1-block

(ง) สูตร 1:0.9 1:0.9-mod. palm 1:0.9-block (จ) สูตร 1:0.8 1:0.8-mod. palm 1:0.8-block

#### 4.4.2 การทดสอบความสามารถในการละลาย

เมื่อนำยูรีเทนออยล์มาทดสอบความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยพบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรสามารถละลายได้ดีในไซลีนและบิวทิลแอซีเตต แต่ไม่ละลายในไวท์สปิริตและนอร์มัลบิวทานอล ซึ่งเป็นผลมาจากยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้นั้นมีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อะโรมาติกจำนวนมาก (จากไกลโคไลซ์-โพรดักส์และโพลีลีนไดไอโซไซยานาต) และมีความเป็นขั้วปานกลาง ทำให้สามารถละลายได้ดีในไซลีนซึ่งเป็นตัวทำละลายอะโรมาติก และบิวทิลแอซีเตตที่มีขั้วปานกลาง (มีค่าพารามิเตอร์การละลายอยู่ในตัวทำละลายกลุ่มที่มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนปานกลาง;  $\delta_m=8.5$ ) แต่ไม่สามารถละลายได้ในไวท์สปิริตซึ่งเป็นตัวทำละลายอะลิฟาติก และนอร์มัลบิวทานอลที่มีขั้วสูง (มีค่าพารามิเตอร์การละลายอยู่ในตัวทำละลายกลุ่มที่มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนสูง;  $\delta_m=11.4$ )

ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายของยูรีเทนออยล์

(✓ = ละลาย, ✗ = ไม่ละลาย)

สูตร (OH:NCO)	ชนิดของตัวทำละลาย			
	ไซลีน	ไวท์สปิริต	บิวทิลแอซีเตต	นอร์มัลบิวทานอล
1:1	✓	✗	✓	✗
1:1-mod. palm	✓	✗	✓	✗
1:1-block	✓	✗	✓	✗
1:0.9	✓	✗	✓	✗
1:0.9-mod. palm	✓	✗	✓	✗
1:0.9-block	✓	✗	✓	✗
1:0.8	✓	✗	✓	✗
1:0.8-mod. palm	✓	✗	✓	✗
1:0.8-block	✓	✗	✓	✗

#### 4.4.3 การทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว

เมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบหาระยะเวลาการแห้งตัว โดยใช้ความหนาของฟิล์มเปียกที่ 60 ไมโครเมตร ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ระยะเวลาการแห้งตัวของฟิล์มยูรีเทนออยล์

สูตร (OH:NCO)	แห้งแตะได้ (ชั่วโมง:นาที)	แห้งแตะไม่ติด (ชั่วโมง:นาที)	แห้งแข็ง (ชั่วโมง:นาที)
1:1	1:30	3:50	25:10
1:1-mod. palm	0:45	3:40	23:50
1:1-block	0:40	3:20	23:40
1:0.9	0:20	1:45	23:50
1:0.9-mod. palm	0:12	1:15	22:50
1:0.9-block	0:07	1:00	20:30
1:0.8	0:10	1:20	23:00
1:0.8-mod. palm	0:08	1:00	20:30
1:0.8-block	0:06	0:55	19:50

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง ยูรีเทนออยล์แห้งเป็นฟิล์มได้เร็วขึ้น นั่นคือ ระยะเวลาการแห้งตัวน้อยลง ทั้งนี้่าจะเป็นเพราะสาเหตุ 2 ประการ คือ

- ยูรีเทนออยล์สูตรที่มีอัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตต่ำกว่า มีปริมาณของสารที่ระเหยไม่ได้สูงกว่า (ดูตารางที่ 4.8) นั่นคือ มีปริมาณสารที่ระเหยได้ หรือตัวทำละลายน้อยกว่า ดังนั้นจึงใช้เวลาน้อยกว่าในการทำให้ตัวทำละลายทั้งหมดระเหยออกไปจากฟิล์ม
- การแห้งเป็นฟิล์มของยูรีเทนออยล์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่มีอยู่ รวมทั้งปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยาเนตที่เหลือออกกับความชื้นในอากาศ สำหรับยูรีเทนออยล์สูตรที่มีอัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตต่ำ มีปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตและน้ำมันที่ใช้น้อยกว่าสูตรที่มีอัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตสูง (ดูตารางที่ 3.1) ดังนั้น เวลาที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นฟิล์มแห้งจึงน้อยกว่า

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ที่อัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตที่เท่ากัน แต่มีการปรับปรุงสูตรต่างกันคือ สูตรที่ไม่มีการปรับปรุง สูตรที่ใช้ น้ำมันปาล์มดัดแปร และสูตรที่บดลือกด้วยเมทานอล จะเห็นได้ว่า ยูรีเทนออยล์สูตรที่บดลือกด้วยเมทานอลมีระยะเวลาการแห้งตัวน้อยที่สุด และสูตรที่ไม่มีการปรับปรุงมีระยะเวลาการแห้งตัวนานที่สุด ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดนี้ถือว่าสอดคล้องกับผลความหนืด (ดังแสดงในตารางที่ 4.8) และน้ำหนักโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ (ดังแสดงในตารางที่ 4.6) กล่าวคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ความหนืดมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวสั้นลง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก 2 ประการ คือ

- ปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่ในน้ำมันที่นำมาใช้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ คือ น้ำมันปาล์มดัดแปร มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการดัดแปร จึงมีปริมาณพันธะคู่ที่จะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้มากกว่า ดังนั้นฟิล์มยูรีเทนออยล์สูตรที่ใช้ น้ำมันปาล์มดัดแปรจึงแห้งตัวได้เร็วกว่าสูตรที่ใช้ น้ำมันปาล์มธรรมดา
- ยูรีเทนออยล์สูตรที่มีการบดลือกด้วยเมทานอลมีจำนวนหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่น้อยกว่าสูตรอื่นๆ หมู่ไอโซไซยาเนตที่เหลืออยู่นี้จึงเข้าทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศจนหมดไปได้เร็วกว่าสูตรที่ไม่บดลือกด้วยเมทานอล

#### 4.4.4 การทดสอบสมบัติของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์

##### 4.4.4.1 สมบัติเชิงกล

เมื่อนำยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนดด้วยแอปพลิเคเตอร์ (applicator) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้ความหนาของฟิล์มเปียกเท่ากับ 120 ไมโครเมตร จากนั้นทิ้งไว้จนฟิล์มแห้งแข็ง แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลในด้านต่างๆ ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความอ่อนตัว (flexibility) ความติดแน่น (adhesion) และความทนทานต่อแรงกระแทก (impact resistance) ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สมบัติเชิงกลของยูรีเทนออยล์

สูตร (OH:NCO)	ความแข็ง (กรัม)	ความอ่อนตัว ( $\phi$ , มิลลิเมตร)	ความติดแน่น	ความทนทานต่อ แรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)
1:1	600	3	5B	160
1:1-mod. palm	600	3	5B	160
1:1-block	600	3	5B	160
1:0.9	700	3	5B	160
1:0.9-mod. palm	700	3	5B	160
1:0.9-block	600	3	5B	160
1:0.8	600	3	5B	160
1:0.8-mod. palm	600	3	5B	160
1:0.8-block	700	3	5B	160

ผลการทดสอบความแข็งของยูรีเทนออยล์ด้วยวิธีการขีด (scratch test) พบว่าฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ทุกสูตรมีความแข็งใกล้เคียงกัน คือ 600-700 กรัม

ผลการทดสอบความอ่อนตัวด้วยการตัดโค้งรอบแกนรูปกรวยพบว่า ฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ทุกสูตรมีความอ่อนตัวดีเยี่ยม เพราะสามารถทนการตัดโค้งได้แม้แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของแกนรูปกรวย คือที่ 3 มิลลิเมตร โดยไม่เกิดการแตกร้าวของฟิล์ม



ผลการทดสอบความติดแน่นด้วยวิธี cross-cut tape พบว่า พิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีความติดแน่นกับผิววัสดุได้ดีเยี่ยม คือไม่มีส่วนใดของฟิล์มเกิดความเสียหาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีหมู่ที่มีขั้วอยู่ในโมเลกุลจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่อะมิโนซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพื้นผิววัสดุที่เคลือบได้ ทำให้ยึดติดกับพื้นผิวได้ดี

ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของฟิล์มยูรีเทนออยล์พบว่า พิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีความทนทานต่อแรงกระแทกสูงได้ คือ สามารถทนแรง 160 นิวตัน-ปอนด์ที่มากระแทกได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความอ่อนตัวของฟิล์ม กล่าวคือ พิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีความอ่อนตัวสูงจึงสามารถทนแรงกระแทกได้สูงด้วย

#### 4.4.4.2 การทดสอบความทนน้ำ ทนกรด และทนด่าง

เมื่อนำฟิล์มยูรีเทนออยล์ไปทดสอบความทนน้ำ ทนกรด และทนด่าง โดยการจุ่มแผ่นฟิล์มทดสอบลงในน้ำ ในกรด และในด่าง ภายในระยะเวลาที่กำหนดแล้วตรวจสอบสภาพของฟิล์มเพื่อดูข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมบัติความทนน้ำ ทนกรด และทนด่างของฟิล์มยูรีเทนออยล์  
(ที่อุณหภูมิห้อง; ชั่วโมง:นาท)

สูตร (OH:NCO)	ความทนน้ำ	ความทนกรด (5% v/v H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ความทนด่าง (5% w/v NaOH)
1:1	ดีเยี่ยม*	14:00**	2:10
1:1-mod. palm	ดีเยี่ยม	14:10	2:10
1:1-block	ดีเยี่ยม	14:15	2:15
1:0.9	ดีเยี่ยม	14:15	2:15
1:0.9-mod. palm	ดีเยี่ยม	14:15	2:15
1:0.9-block	ดีเยี่ยม	14:15	2:15
1:0.8	ดีเยี่ยม	14:30	2:20
1:0.8-mod. palm	ดีเยี่ยม	14:30	2:20
1:0.8-block	ดีเยี่ยม	14:30	2:30

\* ดีเยี่ยม คือ ฟิล์มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆหลังจากจุ่มลงในน้ำ กรด หรือด่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

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

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 4.12 พบว่าฟิล์มยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากจุ่มในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงว่าฟิล์มทนน้ำได้ดีเยี่ยม ทั้งนี้เนื่องจากพันธะยูรีเทนเกิดไฮโดรลิซิสได้ยาก สำหรับการทดสอบความทนกรด พบว่าฟิล์มเริ่มเกิดการพองหลังจุ่มลงในกรดเป็นเวลาประมาณ 14:00-14:30 ชั่วโมง แสดงว่าฟิล์มมีความทนกรดได้ดี แต่เมื่อนำฟิล์มยูรีเทนออยล์ไปทดสอบความทนด่าง พบว่าฟิล์มเริ่มเกิดการพองหลังจุ่มลงในด่างเป็นเวลาประมาณ 2:00-2:30 ชั่วโมง แสดงว่าฟิล์มมีความทนด่างพอใช้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากโมเลกุลของยูรีเทนออยล์ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับด่างได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.4.5 การเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้จากยูรีเทนออยล์ทางการค้า

จากผลการทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่ายูรีเทนออยล์ทุกสูตรมีสมบัติใกล้เคียงกัน ในที่นี้ได้เลือกสูตรที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตเท่ากับ 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงสูตรด้วยวิธีต่างๆมาพิจารณาเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ซึ่งข้อมูลการเปรียบเทียบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สมบัติของยูรีเทนออยล์ทางการค้าเปรียบเทียบกับยูรีเทนออยล์สูตร 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆ

สมบัติในสถานะของเหลว	ยูรีเทนออยล์ ทางการค้า	ยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8		
		ไม่ปรับปรุง	mod. palm	block
สี (การ์ดเนอร์)	3.5	3-	4+	3-
ความหนืด (เซนติพอยส์)	1700	111	124	420
ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้	65.17	50.90	51.74	53.73
ค่าของกรด	0.5	3	4	3
ความสามารถในการละลาย				
- ไวท์สปีริต	ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
- ไฮลีน	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
- บิวทิลแอซีเตต	ละลาย	ละลาย	ละลาย	ละลาย
- นอร์มัลบิวทานอล	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
ระยะเวลาการแห้งตัว (ชั่วโมง:นาที)				
- แห้งแตะได้	1:51	0:10	0:08	0:06
- แห้งแตะไม่ติด	6:07	1:20	1:00	0:55
- แห้งแข็ง	18:06	23:00	20:30	19:50

สมบัติในสถานะฟิล์มแห้ง	ยูรีเทนออยล์ ทางการค้า	ยูรีเทนออยล์ สูตร 1:0.8		
		ไม่ปรับปรุง	mod. palm	block
ความแข็ง (กรัม)	700	600	600	700
ความอ่อนตัว ( $\phi$ , มิลลิเมตร)	3	3	3	3
ความติดแน่น (cross-cut tape test)	0B	5B	5B	5B
ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิ้ว-ปอนด์)	160	160	160	160
ความทนน้ำ (RT x 24hr)	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม
ความทนกรด (ชั่วโมง:นาที)	15:40	14:30	14:30	14:30
ความทนด่าง (ชั่วโมง:นาที)	3:30	2:20	2:20	2:30

เมื่อพิจารณาสมบัติในสถานะของเหลวพบว่า ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีสีใกล้เคียงกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า แต่มีความหนืดและปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ต่ำกว่า ส่วนค่าของกรดสูงกว่า สำหรับผลการทดสอบความสามารถในการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ พบว่า ยูรีเทนออยล์ทางการค้าสามารถละลายได้ในตัวทำละลายทั้งที่เป็นตัวทำละลายอะลิฟาติกอย่างไวท์สปิริต และตัวทำละลายอะโรมาติกอย่างไซลีนและบิวทิลแอกซีเทต ซึ่งอาจเนื่องมาจากยูรีเทนออยล์ทางการค้าประกอบด้วยทั้งส่วนที่เป็นอะลิฟาติกและอะโรมาติกรวมกัน ในขณะที่ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอะโรมาติก จึงสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติก แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอะลิฟาติก

เมื่อพิจารณาสมบัติในสถานะฟิล์มแห้งพบว่า ทั้งยูรีเทนออยล์ทางการค้าและยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ มีสมบัติความแข็งดี ความอ่อนตัวและความทนทานต่อแรงกระแทกดีเยี่ยมเหมือนกัน แต่แตกต่างกันตรงที่ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการติดแน่นอยู่บนพื้นผิววัสดุได้ดีกว่ามาก นอกจากนี้ผลของการทดสอบความทนน้ำ ทนกรด และทนด่างก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

จากผลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำไกลโคไลซ์โพรดักต์มาใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมกับน้ำมันปาล์มและโพลีลีนไดไอโซไซยานตเพื่อสังเคราะห์เป็นยูรีเทนออยล์ได้ แต่ต้องทำการปรับปรุงสมบัติบางประการที่ยังด้อยอยู่ให้ดีขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

- 5.1.1 สามารถเตรียมไกลโคไลซ์โพรดักส์จากขวดเปิดที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส ณ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของขวดเปิดต่อโพรดักส์ไกลโคไลซ์เท่ากับ 37.5:62.5 และใช้ซิงก์แอสซีเทต 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของขวดเปิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 5.1.2 ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนอยู่ในช่วง 240-1107 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 542 และส่วนใหญ่ประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ที่ปลายโมเลกุลเป็นหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ได้ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตตั้งแต่ 1:1 จนถึง 1:0.8
- 5.1.3 น้ำมันปาล์มดัดแปรสามารถเตรียมได้จากการนำน้ำมันปาล์มมาผ่านปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันกับน้ำมันลินสีดที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันผสมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 5.1.4 น้ำมันปาล์มดัดแปรที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด ใส สีเหลืองอ่อน มีสมบัติต่างๆ ได้แก่ สี ค่าของกรด ค่าไอโอดีน และความถ่วงจำเพาะ อยู่ระหว่างสมบัติของน้ำมันปาล์มและน้ำมันลินสีด
- 5.1.5 ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตร มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด ใส สีเหลืองอ่อน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถละลายได้ดีในไซลีนและบิวทิลแอสซีเทต แต่ไม่ละลายในไวท์สปิริตและนอร์มัลบิวทานอล
- 5.1.6 เมื่ออัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตในยูรีเทนออยล์ลดลง น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของยูรีเทนออยล์มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนระยะเวลาการแห้งตัวมีแนวโน้มลดลง

- 5.1.7 เมื่อเปรียบเทียบยูรีเทนออยล์สูตรที่ไม่มีการปรับปรุง สูตรที่ใช้น้ำมันปาล์มดัดแปร และสูตรที่มีการบล็อกด้วยเมทานอลที่อัตราส่วนของหมู่ไอโซไซยาเนตที่เท่ากัน พบว่ายูรีเทนออยล์สูตรที่ไม่มีการปรับปรุงมีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดต่ำที่สุด และใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวนานที่สุด ส่วนสูตรที่บล็อกด้วยเมทานอลมีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดสูงที่สุด และใช้ระยะเวลาในการแห้งตัวสั้นที่สุด
- 5.1.8 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้สูตร 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงด้วยวิธีการต่างๆกับยูรีเทนออยล์ทางการค้า ถือว่าได้ผลที่น่าพอใจ เพราะสมบัติส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีความแข็งดี ความอ่อนตัวและความทนทานต่อแรงกระแทกดีเยี่ยม ความทนน้ำดีเยี่ยม ความทนกรดดี และความทนต่างพอใช้ ส่วนสมบัติที่แตกต่างกัน คือ ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้มีความติดแน่นดีเยี่ยมเหนือกว่ายูรีเทนออยล์ทางการค้า

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ ไม่ว่าจะเป็สมบัติในสถานะของเหลว ความสามารถในการละลาย ระยะเวลาการแห้งตัว และสมบัติของฟิล์มแห้ง พบว่ายูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้ทุกสูตรมีสมบัติใกล้เคียงกัน ยกเว้นระยะเวลาการแห้งตัวที่พบว่า ยูรีเทนออยล์สูตรที่ใช้อัตราส่วนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยาเนตเท่ากับ 1:0.8 ที่บล็อกด้วยเมทานอลแห้งได้เร็วที่สุด (พิจารณาจากตารางที่ 4.10) จึงทำให้สรุปได้ว่า สูตรดังกล่าวเป็นสูตรที่ดีที่สุด สำหรับการเตรียมยูรีเทนออยล์จากน้ำมันปาล์มและไกลโคไลไซโพรดักส์ที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพตซึ่งปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ คือ ไกลโคไลไซโพรดักส์ 50.00 กรัม น้ำมันปาล์ม 49.58 กรัม โทลิลีนไดไอโซไซยาเนต 47.11 กรัม และ เมทานอล 1:00 กรัม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษากระบวนการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันปาล์มด้วยวิธีอื่นๆ เช่น ปฏิกริยาการขจัดไฮโดรเจน (dehydrogenation) หรือพยายามทำให้น้ำมันปาล์มมีความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น เพื่อปรับปรุงให้มีระยะเวลาการแห้งตัวที่เร็วขึ้น



## รายการอ้างอิง

1. 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.
2. Mecit, O.; Akar, A. Synthesis of Urethane Oil Varnishes from Waste Poly(ethylene terephthalate). Macromolecular Materials and Engineering 286, 9 (2001): 513-515.
3. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตรี และ อมร เพชรสม. การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากขวดพลาสติกที่ใช้แล้ว. รายงานผลการวิจัยระดับปริญญาโท สาขาเคมีอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2537.
4. Goodman, I.; and Rhys, J.A. Polyester. Vol.1: Saturated Polyesters. London: American Elsevier, 1965.
5. Paszum D.; and Szychaj, T. Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate). Industrial & Engineering Chemistry Research 36, 4 (1997): 1373-1383.
6. Guclu, G.; Kasgoz, A.; Ozbudak, S.; Ozgumus, S.; and Orbay, M. Glycolysis of Poly(ethylene terephthalate) Wastes in Xylene. Journal of Applied Polymer Science 69 (1998): 2311-2319.
7. Xi, G.; Lu, M.; and Sun, C. Study on Depolymerization of Waste Poly(ethylene terephthalate) into Monomer of Bis(2-hydroxyethyl terephthalate). Polymer Degradation and Stability 87 (2005): 117-120.
8. Ikadios, N.E. Recycling of Poly(ethylene terephthalate): Identification of Glycolysis Products. Journal of Elastomers and Plastics 32, 2 (2000): 140-151.
9. Baliga, S.; and Wong, W.T. Depolymerization of Poly(ethylene terephthalate) Recycled from Post-consumer Soft-drink Bottles. Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry 27 (1989): 2071-2082.
10. Kao, C.Y.; Cheng, W.H.; and Wan, B.Z. Investigation of Catalytic Glycolysis of Poly(ethylene terephthalate) by Differential Scanning Calorimetry. Thermochimica Acta 292 (1997): 95-104.
11. Vaidya, U.R.; and Nadkarni, V.M. Unsaturated Polyesters from PET Waste: Kinetics of Polycondensation. Journal of Applied Polymer Science 34 (1987): 235-245.

12. อรุษา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิชและแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 2: กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
13. Wicks, Z.W.; Jones, F.N.; and Pappas, S.P. Organic Coating: Science and Technology. 2<sup>nd</sup>.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.
14. Martens, C.R. Technology of Paints. Varnish and Lacquer. New York: Robert E. Krieger, 1974.
15. Australia. Oil and Colour Chemists' Association. Surface Coating. Vol.1: Raw Material and Their Usage. London: Chapman & Hall, 1993.
16. สุขใจ สืบตระกูล. รายงานผลการศึกษาวิจัย การผลิตและการค้ามะม่วงหิมพานต์และน้ำมันพืช "ทั้งอออยล์". ฝ่ายวิจัยสินค้าอุตสาหกรรม กองวิจัยสินค้าและการตลาด กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์, ธันวาคม 2519.
17. ประดิษฐ์ รังสฤษฏ์กุล. การผลิตและการค้าปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม. กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์, สิงหาคม 2517.
18. ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย 1, 3 (กัณยายน-พฤศจิกายน 2544).
19. 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.
20. Jacky, M.; Jacquer, L.; and Jean-Luc, G. Drier Influence on the Curing of Linseed Oil. Progress in Organic Coating 39 (2000): 107-113.
21. Kabasakal, O.S.; Guner, F.S.; Arsian, A.; Ergun, 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.
22. 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.
23. 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 Coatings Technology 64 No.815 (1992): 64-69.
24. 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.

25. วัชรา จันทร์เพ็ญ. การสังเคราะห์น้ำมันยูรีเทนสำหรับงานเคลือบผิวจากน้ำมันปาล์มดัดแปร.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, 2546.
26. Petrovic, Z.S.; and Fajnik, D. Preparation and Properties of Castor Oil-Based  
Polyurethanes. Journal of Applied Polymer Science 29 (1984): 1031-1040.
27. Kamiski, A.M.; and Urban, M.W. Interfacial Studies of Crosslinked Polyurethanes,  
Part I. Quantitative and Structural Aspects of crosslinking Near Film-Air and  
Film-Substrate Interfaces in Solvent-Borne Polyurethanes. Journal of Coatings  
Technology 69 No.872 (1997): 55-66.
28. Desai, S.; Thakore, I.M.; Sarawade, B.D.; and Devi, S. Effect of Polyols and  
Diisocyanates on Thermo-Mechanical and Morphology Properties of  
Polyurethanes. European Polymer Journal 36 (2001): 711-725.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## การย่อยสลายขวดเพตที่ใช้แล้ว

ก.1 ค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซีพอร์ดักส์

ครั้งที่	ปริมาณ NaOH (มิลลิลิตร)	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ค่าไฮดรอกซิล (มิลลิกรัม KOH/กรัม)
1	79.90	0.70	761.74
2	79.70	0.71	758.96
3	80.00	0.70	757.71
เฉลี่ย	-	-	759.47

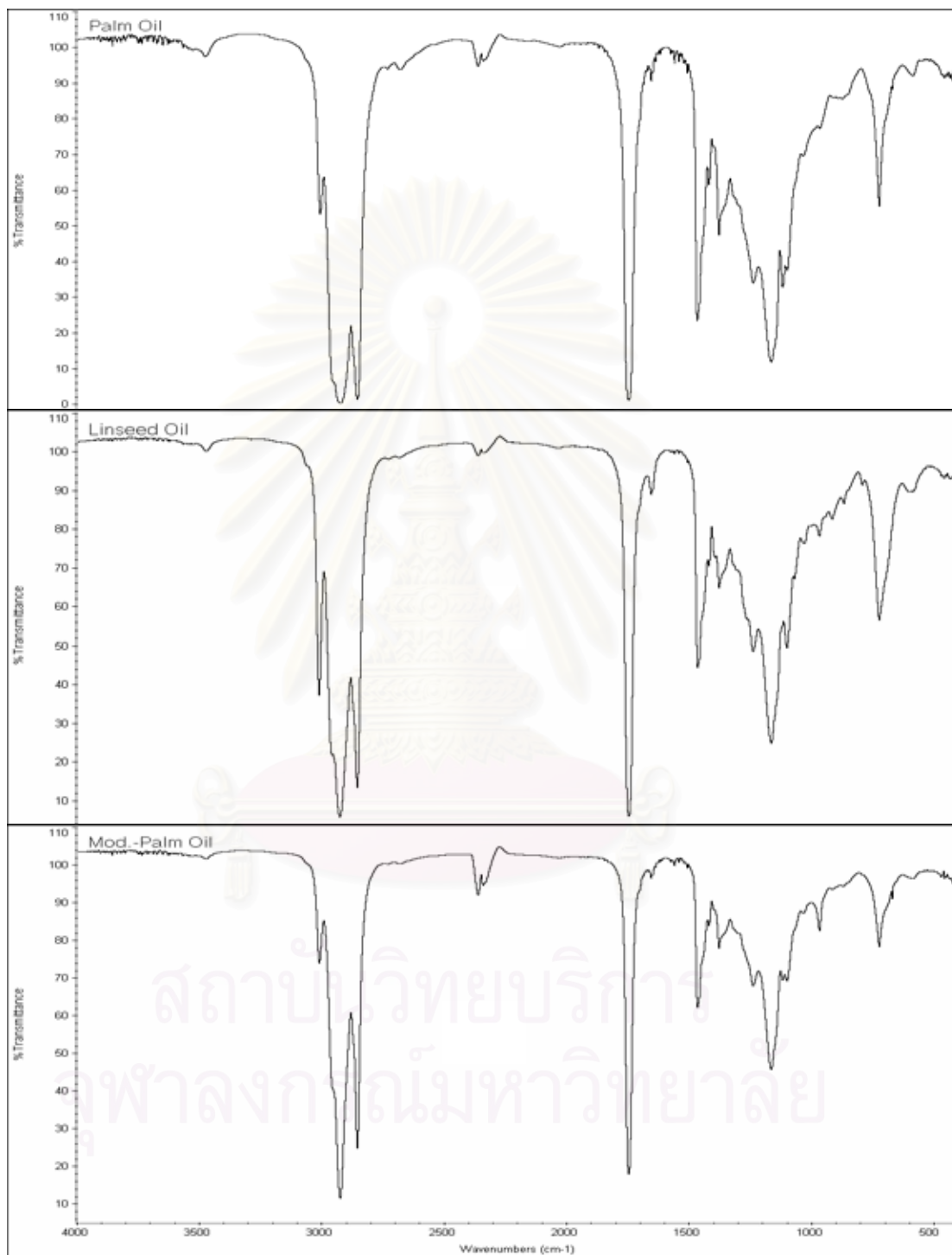
Normality ของ NaOH = 0.5029

ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต blank = 98.80 มิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การดัดแปรน้ำมันปาล์ม

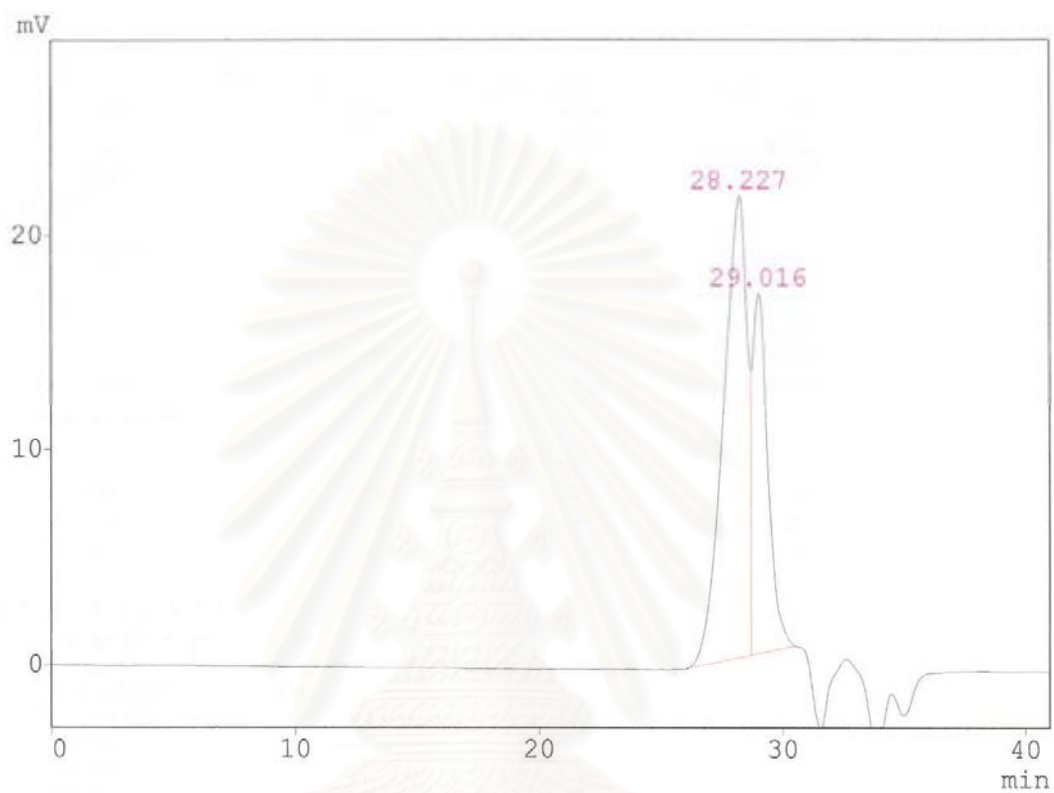
ก.2 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันชนิดต่างๆ





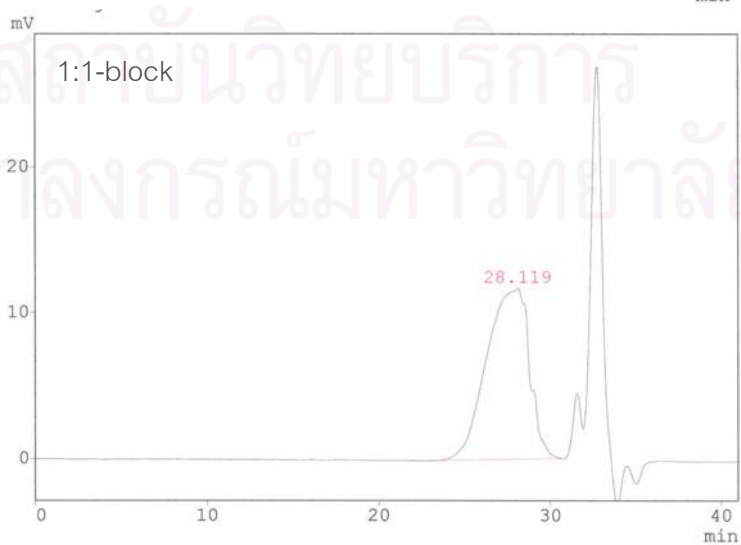
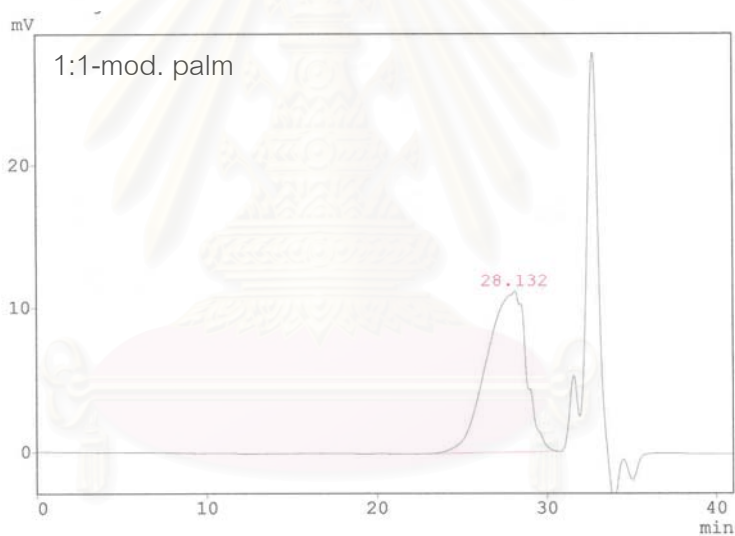
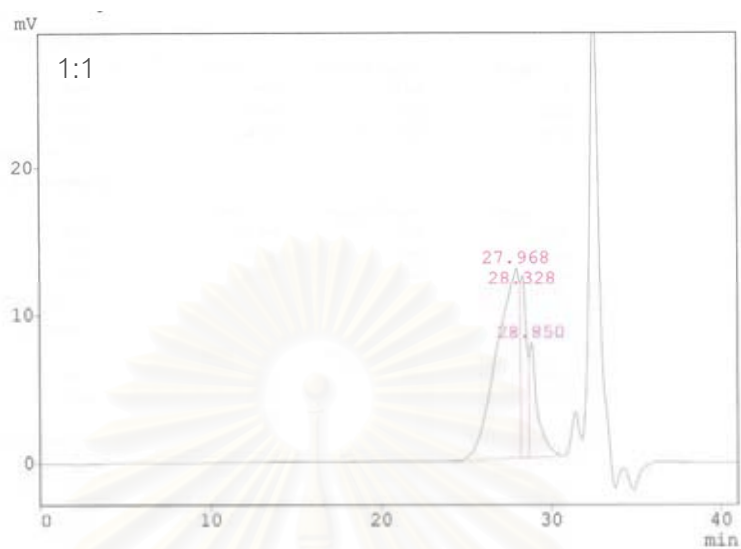
### การสังเคราะห์ยูรีเทนออกยล

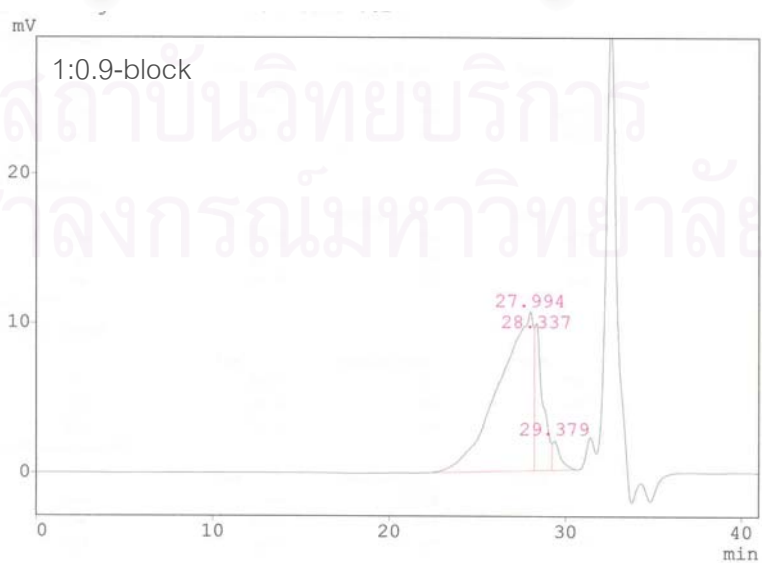
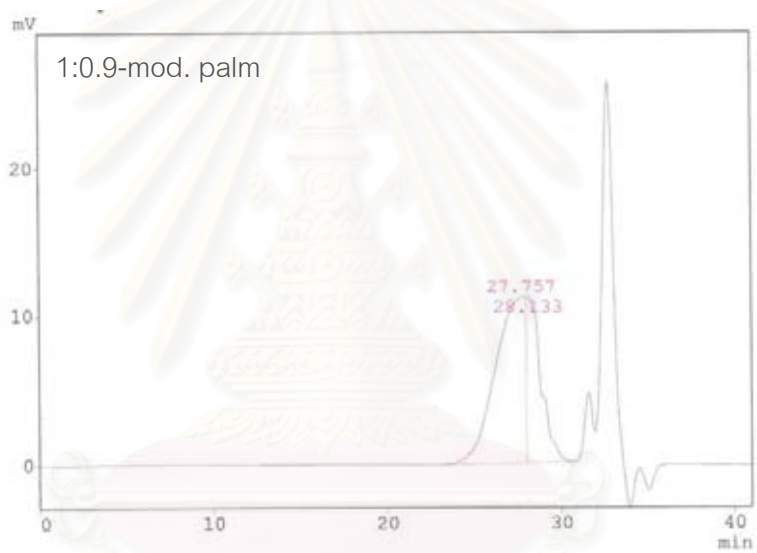
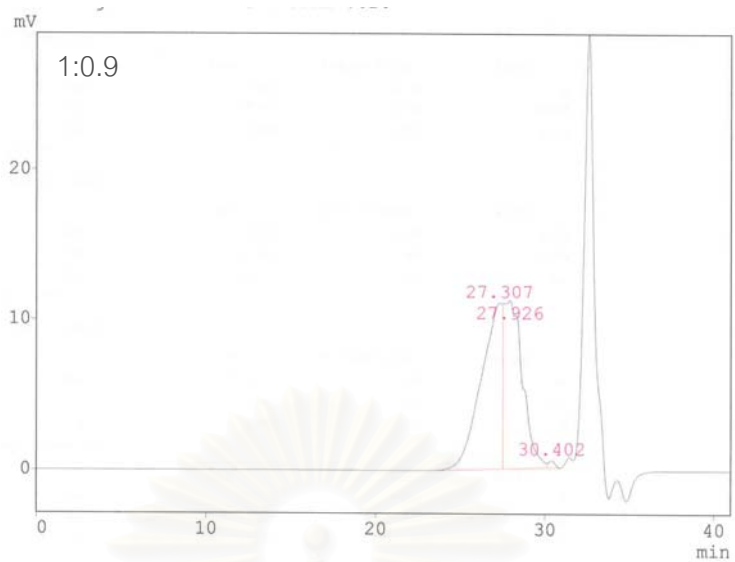
ก.3 โคโรมาโทแกรมจากการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของมอนอและไดกลีเซอไรต์ด้วยเทคนิค GPC

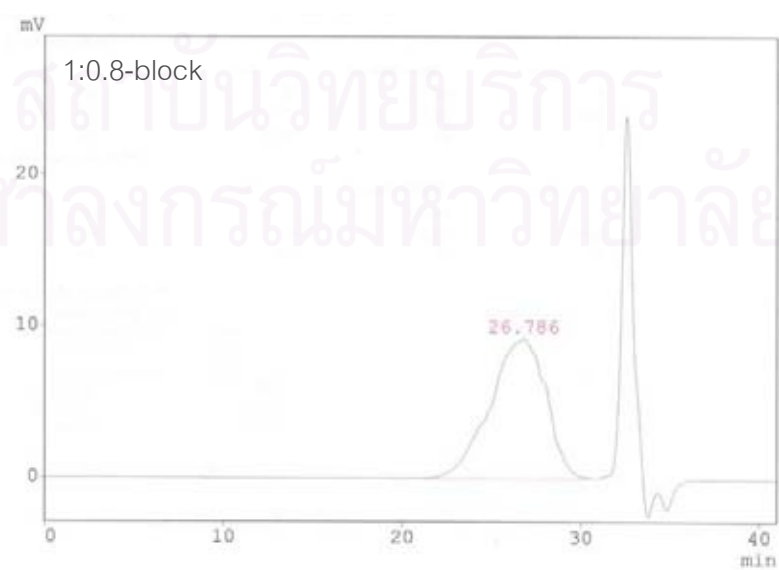
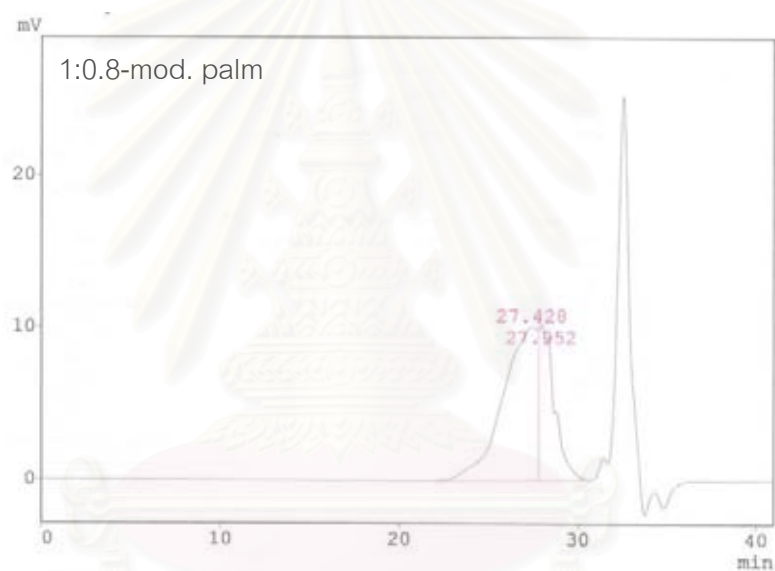
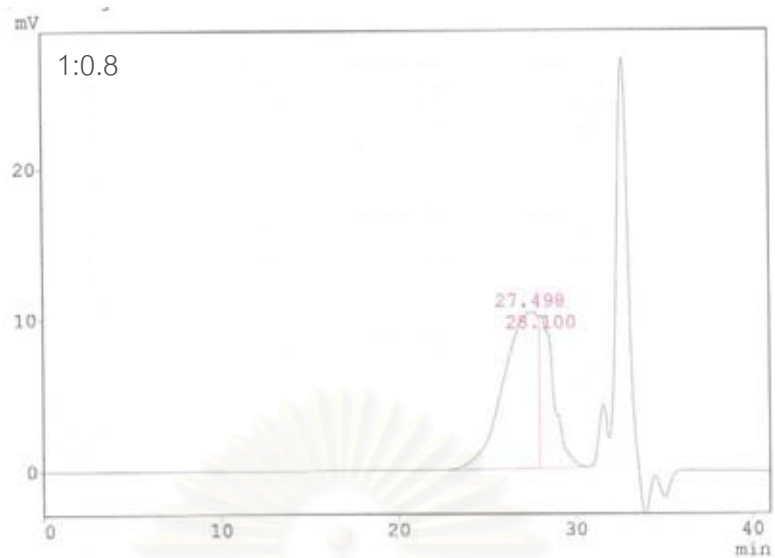


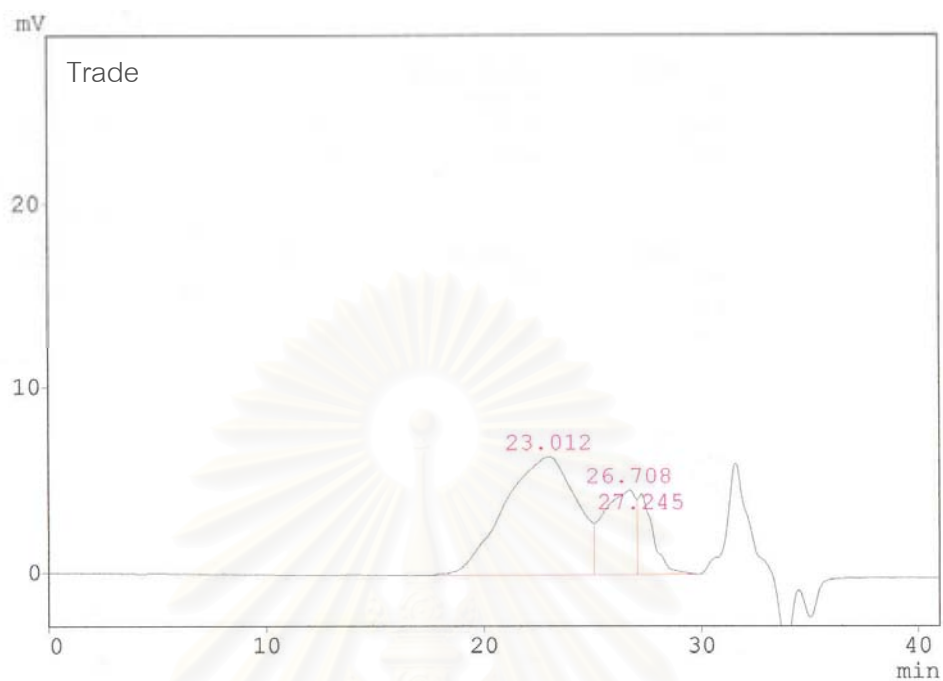
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.4 โคโรมาโทแกรมจากการศึกษาหน้าหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของ ยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้และยูรีเทนออยล์ทางการค้าด้วยเทคนิค GPC



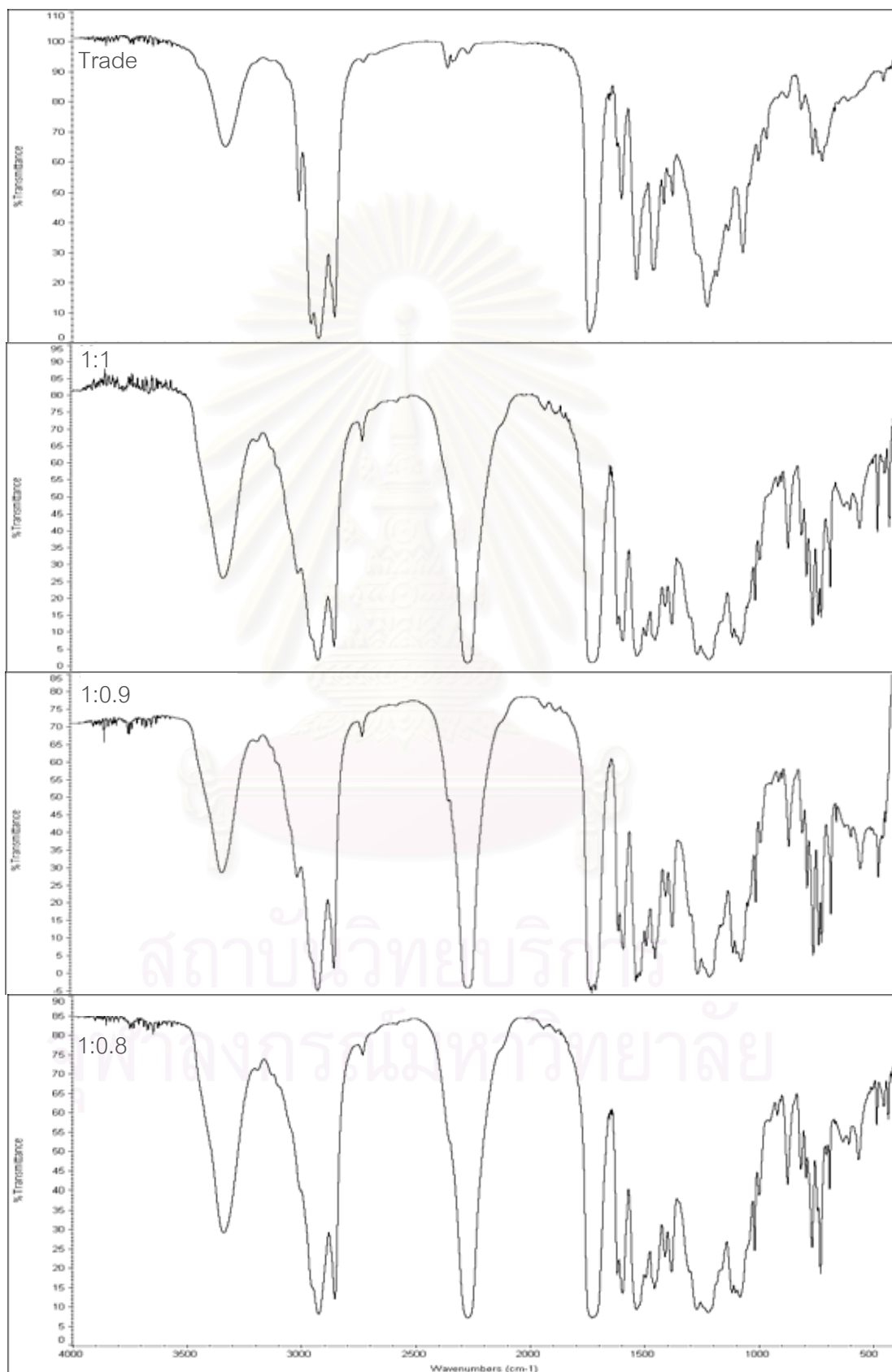






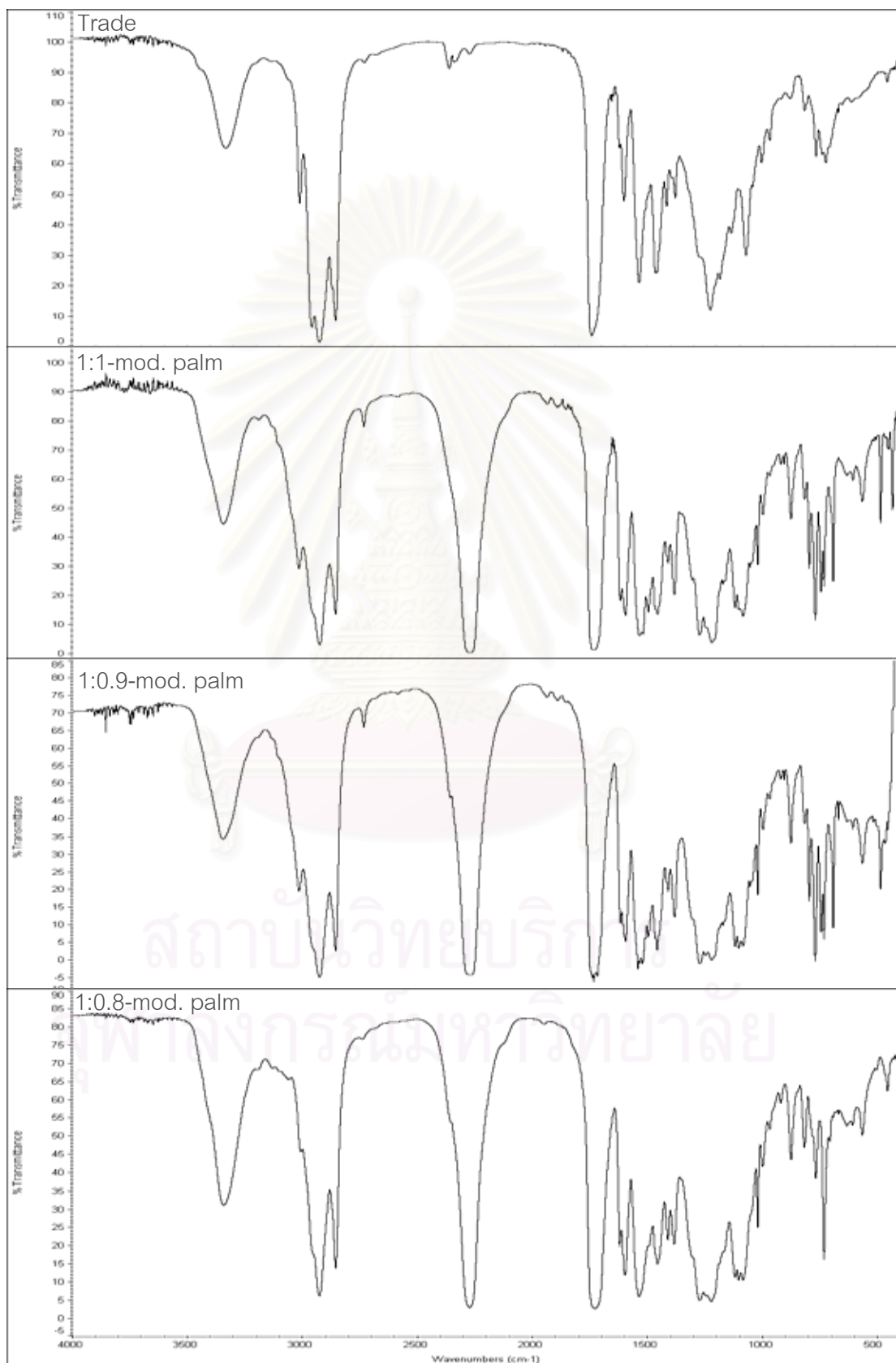
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้าและยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้สูตรที่ไม่มีการปรับปรุง (Trade 1:1 1:0.9 และ 1:0.8)

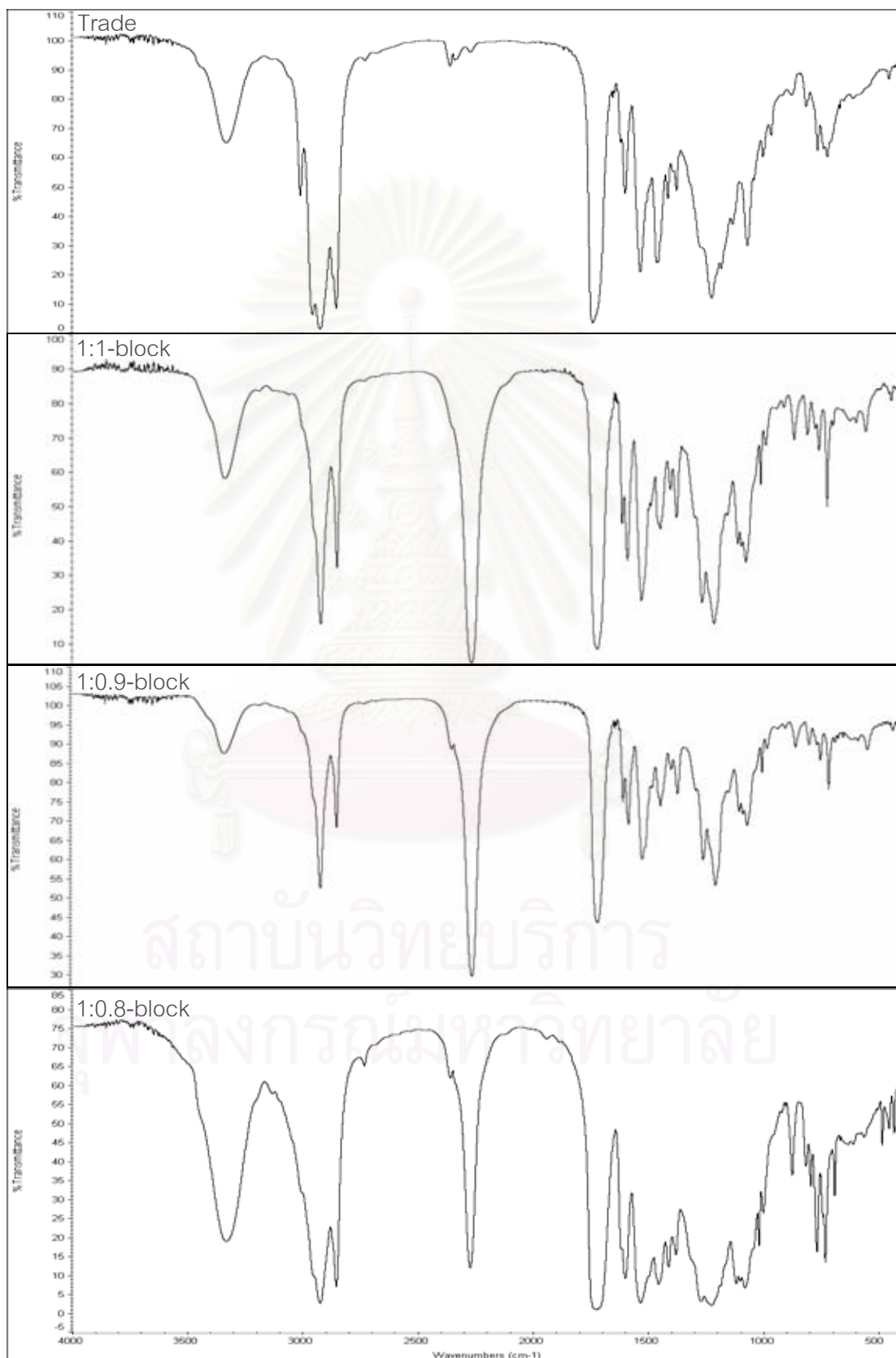




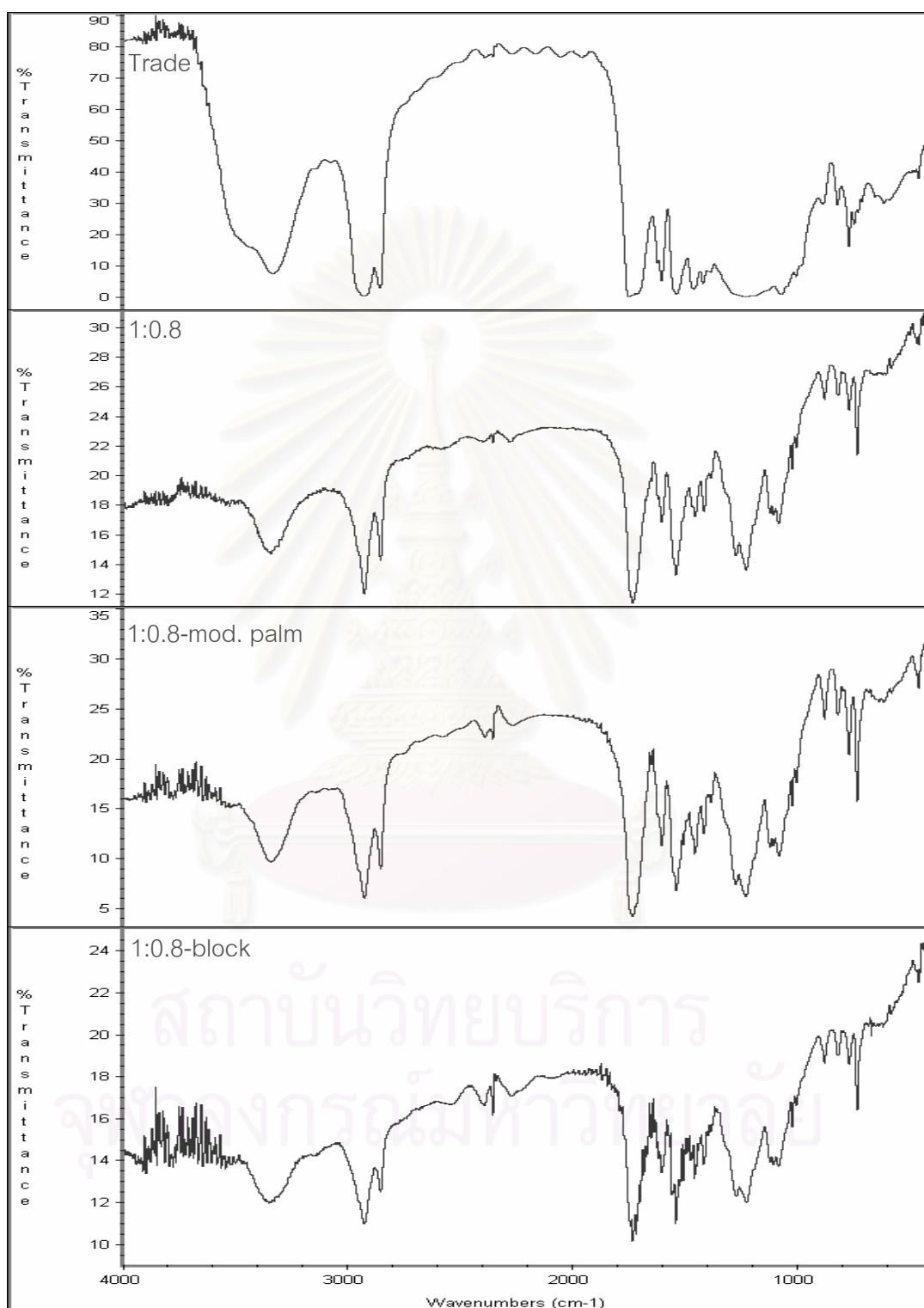
ก.6 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออยล์ทางการค้าและยูรีเทนออยล์ที่สังเคราะห์ได้สูตรที่ใช้ น้ำมันปาล์มดัดแปร (Trade 1:1-mod. palm 1:0.9-mod. palm และ 1:0.8-mod. palm)



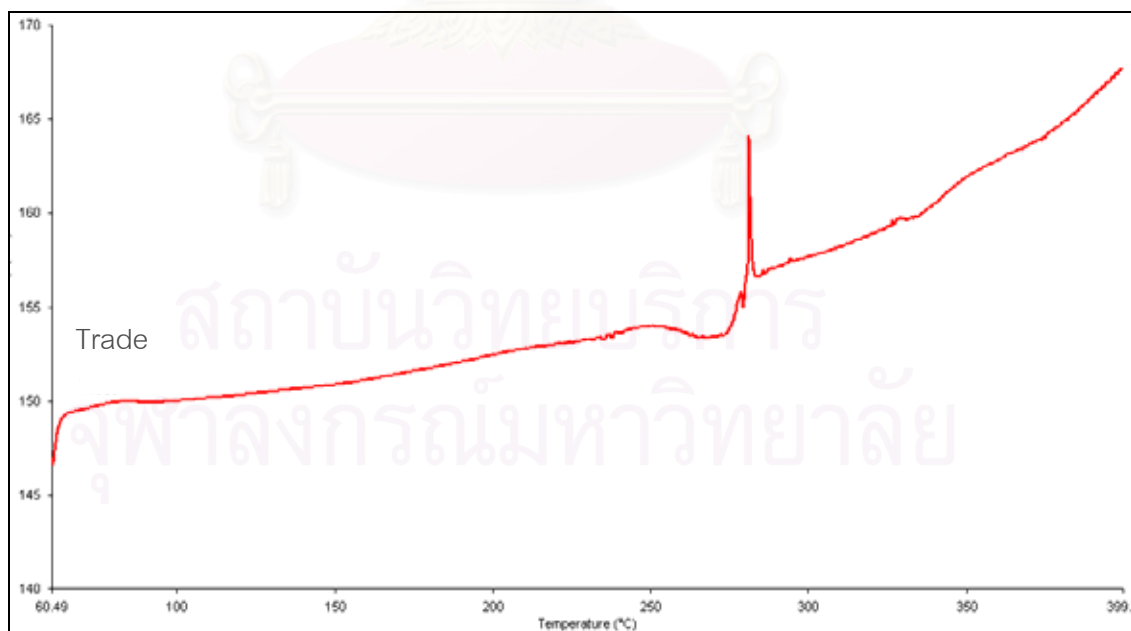
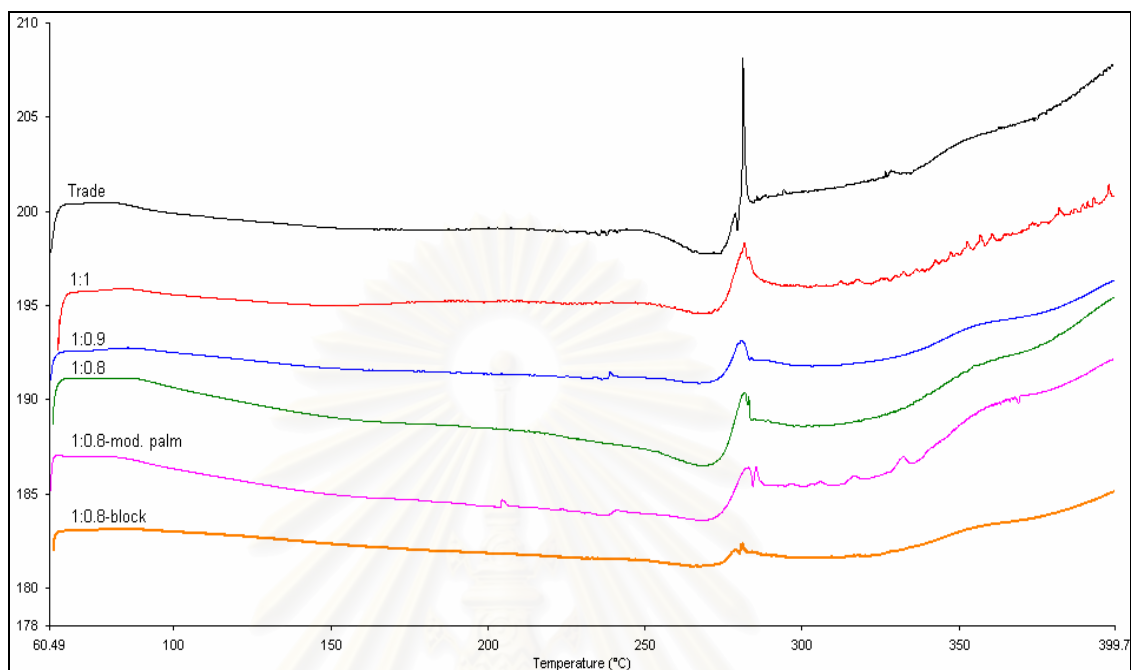
ก.7 FT-IR สเปกตรัมของยูรีเทนออกยด์ทางการค้าและยูรีเทนออกยด์ที่สังเคราะห์ได้สูตรที่บล็อกด้วยเมทานอล (Trade 1:1-block 1:0.9-block และ 1:0.8-block)

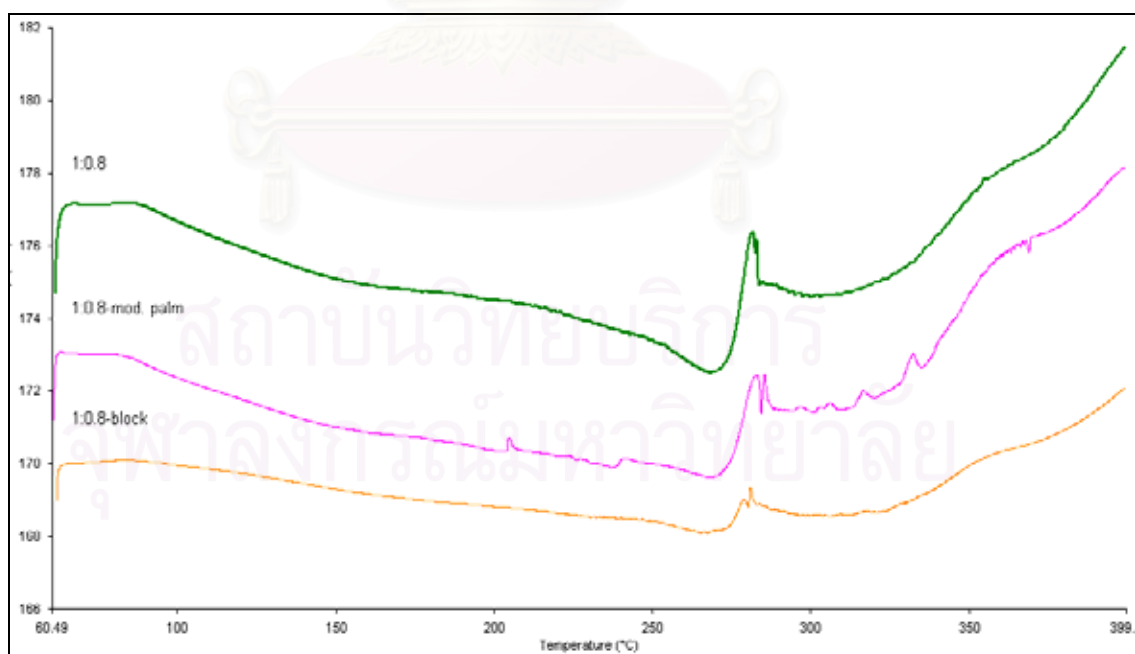
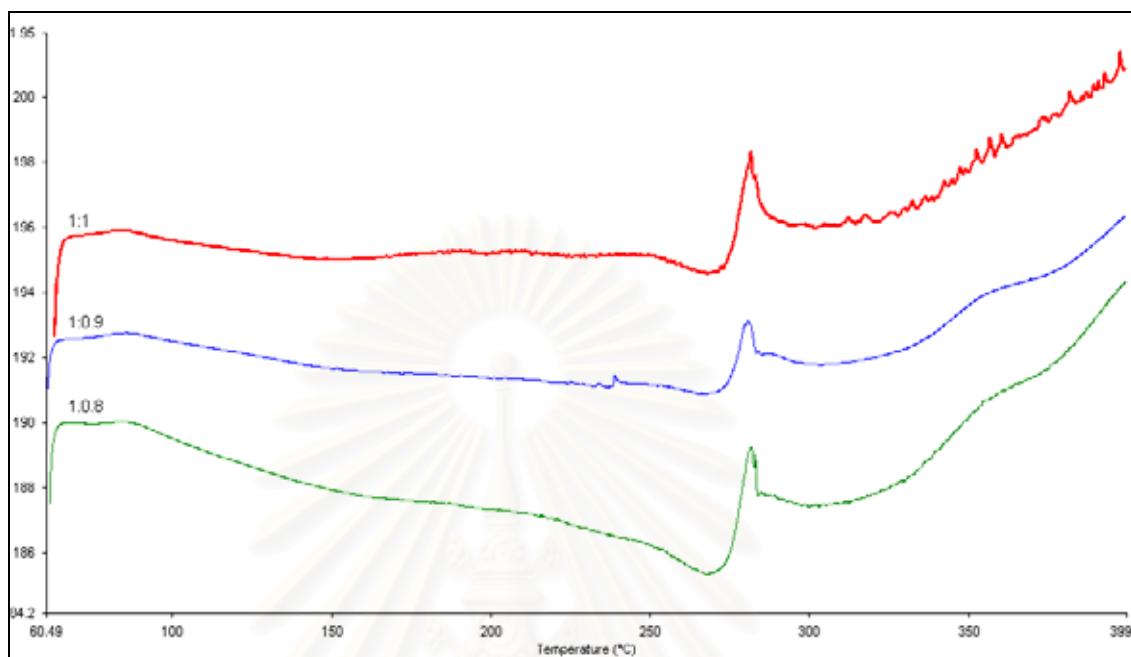


ก.8 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มแห้งของยูรีเทนออยล์ทางการค้าและที่สังเคราะห์ได้ สูตร 1:0.8 ที่มีการปรับปรุงต่างๆกัน (Trade 1:0.8 1:0.8-mod. palm และ 1:0.8-block)



ก.9 เทอร์โมแกรมจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของฟิล์มแข็งยูรีเทนออกไซด์  
ทางการค้าและที่สังเคราะห์ได้





## ภาคผนวก ข

## การทดสอบสมบัติของน้ำมัน

ข.1 ค่าของกรดของน้ำมันปาล์ม น้ำมันลินสีด และน้ำมันปาล์มตัดแปร

(ความเข้มข้น KOH = 0.1002 N.)

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักสาร ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร KOH (มิลลิลิตร)	ค่าของกรด
น้ำมันปาล์ม	1	20.01	1.70	0.48
	2	20.03	1.90	0.53
	3	20.00	1.80	0.51
	เฉลี่ย			0.51
น้ำมันลินสีด	1	20.06	1.90	0.53
	2	20.04	1.80	0.50
	3	20.05	1.90	0.53
	เฉลี่ย			0.52
น้ำมันปาล์มตัดแปร	1	20.10	2.00	0.56
	2	20.05	1.80	0.50
	3	20.07	1.90	0.53
	เฉลี่ย			0.53

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## การทดสอบสมบัติยูรีเทนออยล์

### ข.2 ค่าของกรดของยูรีเทนออยล์

(ความเข้มข้น KOH = 0.09629 N.)

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร KOH (มิลลิลิตร)	ค่าของกรด
1:1	1	20.02	15.80	4.26
	2	20.04	15.00	4.04
	3	20.06	15.40	4.15
	เฉลี่ย			4.15
1:1-mod. palm	1	20.06	16.00	4.31
	2	20.04	16.40	4.42
	3	20.00	15.80	4.27
	เฉลี่ย			4.33
1:1-block	1	20.05	15.40	4.15
	2	20.03	15.20	4.10
	3	20.01	15.00	4.05
	เฉลี่ย			4.10
1:0.9	1	20.06	15.00	4.04
	2	20.04	15.80	4.26
	3	20.08	15.20	4.09
	เฉลี่ย			4.13
1:0.9-mod. palm	1	20.05	14.40	3.88
	2	20.04	14.50	3.91
	3	20.07	14.70	3.96
	เฉลี่ย			3.92
1:0.9-block	1	20.05	14.40	3.88
	2	20.04	14.50	3.91
	3	20.07	14.70	3.96
	เฉลี่ย			3.92

## ข.2 (ต่อ)

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตร KOH (มิลลิลิตร)	ค่าของกรด
1:0.8	1	20.04	11.80	3.18
	2	20.12	12.00	3.22
	3	20.06	11.80	3.18
	เฉลี่ย			3.19
1:0.8-mod. palm	1	20.07	13.70	3.69
	2	20.07	14.50	3.90
	3	20.05	14.10	3.80
	เฉลี่ย			3.80
1:0.8-block	1	20.01	11.60	3.13
	2	20.06	11.70	3.15
	3	20.03	11.70	3.16
	เฉลี่ย			3.15

## ข.3 ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ของยูรีเทนออยล์ (%NV)

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	น้ำหนักสารก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักสารหลังอบ (กรัม)	%NV
1:1	2.23	1.11	49.78
1:1-mod. palm	2.00	0.99	49.50
1:1-block	2.05	1.02	49.76
1:0.9	2.22	1.11	50.00
1:0.9-mod. palm	2.03	1.05	51.72
1:0.9-block	2.08	1.09	52.40
1:0.8	2.20	1.12	50.90
1:0.8-mod. palm	2.01	1.04	51.74
1:0.8-block	2.01	1.08	53.73

ข.4 ระยะเวลาการแห้งตัวของยูรีเทนออยล์ (ชั่วโมง:นาที)

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ครั้งที่	แห้งแตะได้ (touch dry)	แห้งแตะไม่ติด (tack-free dry)	แห้งแข็ง (hard dry)
1:1	1	1:35	3:45	25:20
	2	1:20	3:50	25:05
	3	1:35	3:55	25:05
	เฉลี่ย	1:30	3:50	25:10
1:1-mod. palm	1	0:45	3:42	23:48
	2	0:45	3:38	23:54
	3	0:45	3:40	23:48
	เฉลี่ย	0:45	3:40	23:50
1:1-block	1	0:43	3:20	23:35
	2	0:40	3:20	23:40
	3	0:37	3:20	23:45
	เฉลี่ย	0:40	3:20	23:40
1:0.9	1	0:18	1:45	24:00
	2	0:18	1:50	23:45
	3	0:24	1:40	23:45
	เฉลี่ย	0:20	1:45	23:50
1:0.9-mod. palm	1	0:12	1:13	22:54
	2	0:12	1:15	22:50
	3	0:12	1:17	22:46
	เฉลี่ย	0:12	1:15	22:50
1:0.9-block	1	0:06	1:04	20:33
	2	0:07	0:56	20:30
	3	0:08	1:00	20:27
	เฉลี่ย	0:07	1:00	20:30

## ข.4 (ต่อ)

สูตรยูรีเทนออกยลล์ (OH:NCO)	ครั้งที่	แห้งแตะได้ (touch dry)	แห้งแตะไม่ติด (tack-free dry)	แห้งแข็ง (hard dry)
1:0.8	1	0:10	1:22	23:02
	2	0:09	1:21	22:58
	3	0:11	1:17	23:00
	เฉลี่ย	0:10	1:20	23:00
1:0.8-mod. palm	1	0:08	1:05	20:35
	2	0:10	0:55	20:20
	3	0:06	1:00	20:35
	เฉลี่ย	0:08	1:00	20:30
1:0.8-block	1	0:07	0:50	19:60
	2	0:06	0:55	19:45
	3	0:05	0:45	19:45
	เฉลี่ย	0:06	0:55	19:50

## ข.5 การทดสอบความแข็งด้วยวิธีการชูดขีด

สูตรยูรีเทนออกยลล์ (OH:NCO)	ความแข็ง (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1:1	600	600	600	600
1:1-mod. palm	600	600	600	600
1:1-block	600	600	600	600
1:0.9	700	600	700	700
1:0.9-mod. palm	700	700	600	700
1:0.9-block	700	600	600	600
1:0.8	600	600	600	600
1:0.8-mod. palm	600	600	600	600
1:0.8-block	700	700	700	700

## ข.6 ความอ่อนตัวของฟิล์ม

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ความอ่อนตัว ( $\phi$ , มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1:1	3	3	3	3
1:1-mod. palm	3	3	3	3
1:1-block	3	3	3	3
1:0.9	3	3	3	3
1:0.9-mod. palm	3	3	3	3
1:0.9-block	3	3	3	3
1:0.8	3	3	3	3
1:0.8-mod. palm	3	3	3	3
1:0.8-block	3	3	3	3

## ข.7 ความติดแน่น (cross-cut, tape test)

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ความอ่อนตัว ( $\phi$ , มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1:1	5B	5B	5B	5B
1:1-mod. palm	5B	5B	5B	5B
1:1-block	5B	5B	5B	5B
1:0.9	5B	5B	5B	5B
1:0.9-mod. palm	5B	5B	5B	5B
1:0.9-block	5B	5B	5B	5B
1:0.8	5B	5B	5B	5B
1:0.8-mod. palm	5B	5B	5B	5B
1:0.8-block	5B	5B	5B	5B

## ข.8 ความทนทานต่อแรงกระแทก

สูตรยูรีเทนออยล์ (OH:NCO)	ความทนทานต่อแรงกระแทก (นิว-ปอนด์)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1:1	160	160	160	160
1:1-mod. palm	160	160	160	160
1:1-block	160	160	160	160
1:0.9	160	160	160	160
1:0.9-mod. palm	160	160	160	160
1:0.9-block	160	160	160	160
1:0.8	160	160	160	160
1:0.8-mod. palm	160	160	160	160
1:0.8-block	160	160	160	160

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ค

### การคำนวณค่าไฮดรอกซิล

ค่าไฮดรอกซิลสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

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

เมื่อ B คือ ปริมาตรของ NaOH (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไทเทรต blank

A คือ ปริมาตรของ NaOH (มิลลิลิตร) 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  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  (กรัม)

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

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การคำนวณปริมาณโพลีลีนไดไอโซไซยาเนต

จากค่าไฮดรอกซิลสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของหมู่ OH ได้จากความสัมพันธ์

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

เนื่องจาก ไกลโคไลซ์โพรด์กส์ 1 โมล มี 2 โมล OH

และ โพลีลีนไดไอโซไซยาเนต (TDI) 1 โมล มี 2 โมล NCO

ดังนั้น จำนวนโมลไกลโคไลซ์โพรด์กส์ = จำนวนโมล TDI

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

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

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

ดังนั้น ปริมาณ TDI ที่ใช้ (กรัม) = จำนวนโมล OH x Mw ของ TDI

สูตร 1:0.9 (อัตราส่วนโดยโมลระหว่างระหว่าง OH:NCO = 1:0.9)

$$\text{จำนวนโมล NCO} = 0.9 \times \text{จำนวนโมล OH}$$

ดังนั้น ปริมาณ TDI ที่ใช้ (กรัม) = 0.9 x จำนวนโมล OH x Mw ของ TDI

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

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

ดังนั้น ปริมาณ TDI ที่ใช้ (กรัม) = 0.8 x จำนวนโมล OH x Mw ของ TDI

## ตัวอย่างสูตรยูรีเทนออยล์

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

จากการอ้างอิงสูตรของยูรีเทนออยล์ในข้างต้น สามารถคำนวณปริมาณของส่วนประกอบอื่นๆ เทียบกับปริมาณ TDI ที่ใช้ ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

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

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

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

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

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเกศินี ปฐมวัฒน์ศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากภาควิชา วิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ศิลปากร ปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาใน ภาคปลายของปีการศึกษา 2548 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย