

ผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม



นางสาวนครินทร์สกุล ศรีศักดิ์สรชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2294-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T25197769

EFFECTS OF CHAIN EXTENDERS ON PHYSICAL PROPERTIES OF PALM-BASED FLEXIBLE  
POLYURETHANE FOAMS

Miss Nakarinsakun Srisaksorachat

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 974-14-2294-6

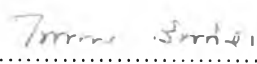
**481931**

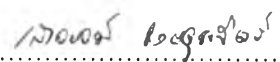
หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม
โดย	นางสาวนครินทร์สกุล ศรีศักดิ์สรชาติ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ อรุษา สรวารี

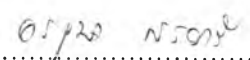
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

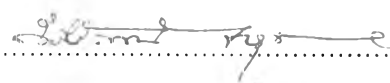
  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ อรุษา สรวารี)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ)

นครินทร์สกุล ศรีศักดิ์สรชาติ : ผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม (EFFECTS OF CHAIN EXTENDERS ON PHYSICAL PROPERTIES OF PALM-BASED FLEXIBLE POLYURETHANE FOAMS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรอุษา สรวารี, 111 หน้า. ISBN 974-14-2294-6

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม โฟมเหล่านี้ถูกสังเคราะห์จากปาล์มพอลิออลที่ได้จากสถาบันน้ำมันปาล์มประเทศมาเลเซียและ MDI ดัดแปร กับเซนเอกซ์เทนเดอร์ 3 ชนิดคือ เอทิลีนไกลคอล ไพรพิลีนไกลคอล และ 1,4-บิวเทนไดออล ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้สารผสมพอลิออลที่เตรียมจากพอลิออลทางการค้า ปาล์มพอลิออล และสารเติมแต่ง (สารผสมของตัวเร่งปฏิกิริยา สารลดแรงตึงผิว และสารฟู) ในอัตราส่วน 100/0/17.65 80/20/17.65 60/40/17.65 40/60/17.65 และ 20/80/17.65 ซึ่งสารผสมพอลิออลที่ได้ถูกนำไปผสมกับ MDI ดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ เพื่อให้ได้โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น ขึ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อถูกนำไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากสูตรที่ใช้ปาล์มพอลิออล 40 ส่วน มีสมบัติต่างๆ ดีที่สุด และจากผลการทดลองนี้ จึงได้นำเซนเอกซ์เทนเดอร์ทั้ง 3 ชนิด (เอทิลีนไกลคอล ไพรพิลีนไกลคอล และ 1,4-บิวเทนไดออล) ใส่เข้าไปในสารผสมพอลิออลในปริมาณ 5 10 และ 15 ส่วนต่อสารผสมพอลิออล 100 ส่วน ขึ้นงานได้ถูกนำไปศึกษาผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่อสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็ง สมบัติด้านแรงดึง ความต้านทานการขีดถู การคืนตัว พฤติกรรมทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างและขนาดความยาวของเซนเอกซ์เทนเดอร์ มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น อย่างไรก็ตาม โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากปาล์มพอลิออล 40 ส่วน ร่วมกับการใช้ 1,4-บิวเทนไดออล 10 ส่วน เป็นเซนเอกซ์เทนเดอร์มีความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความต้านทานการขีดถูสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังมีความแข็งและสมบัติการคืนตัวที่ดี และจากภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบเซลล์ปิด

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต... นครินทร์สกุล ศรีศักดิ์สรชาติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม... อรุษา สรวารี

# # 4772587723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: PALM POLYOL / CHAIN-EXTENDER / MICROCELLULAR ELASTOMER

NAKARINSAKUN SRISAKSORACHAT: (EFFECTS OF CHAIN EXTENDERS ON PHYSICAL PROPERTIES OF PALM-BASED FLEXIBLE POLYURETHANE FOAMS.

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS

COADVISOR: ASSOC. PROF. ONUSA SARAVARI, 111 pp. ISBN 974-14-2294-6

The objective of this research was to study the effects of chain extenders on physical properties of palm-based flexible polyurethane foams. These foams were synthesized from palm-based polyol obtained from Malaysian Palm Oil Board (MPOB) and modified MDI extended by means of ethylene glycol (EG), propylene glycol (PG) and 1,4-butane diol (BD). In this work, polyol mixtures were prepared by mixing commercial polyol with palm-based polyol and an additive (a mixture of catalyst, surfactant and blowing agent) at the weight ratios of 100/0/17.65, 80/20/17.65, 60/40/17.65, 40/60/17.65 and 20/80/17.65. Each mixture was subsequently blended with various amount of modified MDI to obtain flexible PU foams. The cast specimens were examined for their physical properties and morphology. The results showed that the flexible PU foam prepared from palm-based polyol of 40 parts exhibited optimum properties. From this result, three chain extenders (EG, PG and BD) at the amount of 5, 10 and 15 parts per 100 parts of polyol mixture were incorporated into the polyol mixture containing 40 parts of palm-based polyol. The effects of chain extenders on foam properties i.e. hardness, tensile properties, abrasion resistance, compression set, thermal behavior and morphology were studied. It was found that, the structure and chain length of these chain extenders substantially affected the physical properties of the flexible PU foams. However, the flexible PU foam prepared from palm-based polyol 40 parts extended with BD 10 parts provided highest tensile strength, % elongation at break and abrasion resistance. Furthermore, this PU foam specimen exhibited good compression set and hardness. SEM micrograph revealed that the cells of these flexible PU foams were mostly closed cell.

Department of Materials Science

Student's signature. *Nakarimsakun S.*

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

Academic year 2005

Co-advisor's signature. *Onusa Saravari*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่สำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือ และการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายๆ ท่านเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ. อรุณา สรวารี อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. รศ. ไพพรรณ สันติสุข ผศ. ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา และ อ. ดร. วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. คุณชัยวัฒน์ นรกานต์กร ที่ได้ให้คำแนะนำและติดต่อขอสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้
4. บริษัท โอลีน จำกัด และ บริษัท ทีพีไอ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุดิบและสารเคมี
5. บริษัท ฟาบริเนท จำกัด บริษัท เมทเลอร์-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท อินโนเวชั่น กรุป จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย
6. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานศึกษา และทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 น้ำมันปาล์ม (Palm oil).....	3
2.2 ความหมายหรือคำนิยามของโฟม.....	6
2.3 การจำแนกประเภทของโฟม.....	7
2.3.1 ประเภทของโฟมจำแนกตามลักษณะของเซลล์.....	7
2.3.2 ประเภทของโฟมจำแนกตามลักษณะทางกายภาพ.....	8
2.3.3 ประเภทของโฟมจำแนกตามประเภทของพลาสติก.....	9
2.4 กระบวนการการเกิดโฟม (foam formation).....	10
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของโฟมพลาสติก (structure properties relationship of plastic foam).....	16
2.6 โฟมพอลิยูรีเทน.....	18
2.6.1 ปฏิกริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทน.....	18
2.6.2 ประเภทของโฟมพอลิยูรีเทน.....	19
2.6.3 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน.....	21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
3. การทดลอง.....	42
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	42

บทที่	หน้า
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	44
3.3 วิธีทดลอง.....	46
3.3.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม.....	46
3.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR.....	47
3.3.3 การตรวจสอบความหนืดของสารประกอบพอลิออล และ modified MDI..	47
3.3.4 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากปาล์มพอลิออล.....	48
3.3.5 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากของผสมระหว่างปาล์มพอลิออล-M และ พอลิออลทางการค้า.....	49
3.3.6 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนสูตร P40 เพื่อศึกษาผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์...	50
3.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....	52
3.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	52
3.5.1 การทดสอบความแข็ง.....	52
3.5.2 การทดสอบสมบัติด้านการดึง.....	53
3.5.3 การทดสอบความต้านทานการขีดถู.....	54
3.5.4 การทดสอบความสามารถในการคืนตัว.....	55
3.6 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC.....	56
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	57
4.1 ผลการเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม.....	57
4.1.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล.....	57
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR.....	58
4.1.3 การตรวจสอบความหนืดของสารประกอบพอลิออล และ modified MDI..	60
4.2 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากปาล์มพอลิออล.....	61
4.3 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจากของผสมระหว่างปาล์มพอลิออล-M และพอลิออล ทางการค้า.....	62
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	62
4.3.2 เวลาที่ใช้ทำให้โฟมเริ่มฟูตัว และเวลาที่หยิกไม่ขาด.....	63
4.3.3 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นด้วยเทคนิค SEM.....	64
4.3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	66



4.4 การศึกษาผลของเซนเซอร์เทอร์โมคอปเปิลต่อสมบัติทางกายภาพของโพลิเมอร์	
สูตร P40 .....	72
4.4.1 เวลาที่ใช้ทำให้โพลิเมอร์หลอมและเวลาที่หยึกไม่ขาด.....	72
4.4.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์ชนิดยืดหยุ่นด้วยเทคนิค SEM.....	74
4.4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	77
4.4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC.....	83
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	86
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	98
ภาคผนวก ค.....	100
ภาคผนวก ง.....	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	111

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม.....	3
ตารางที่ 2.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม.....	5
ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันที่มีในน้ำมันปาล์ม.....	5
ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่น และปริมาณการใช้งานของโฟมทั้ง 3 ประเภท.....	20
ตารางที่ 2.5 ลักษณะของพอลิออลที่ใช้ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนประเภทต่างๆ.....	26
ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทั้ง 2 ประเภท และฟังก์ชันนัลลิตี.....	28
ตารางที่ 2.7 สมบัติ และการใช้งานของพอลิเอสเทอร์พอลิออลในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดต่างๆ .....	29
ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาเทอร์เชียรีเอมีน.....	34
ตารางที่ 2.9 เซนเอกซ์เทนเดอร์สำหรับโฟมพอลิยูรีเทน.....	36
ตารางที่ 3.1 สูตรที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นหนาแน่นสูง.....	50
ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นหนาแน่นสูงเพื่อศึกษา ผลของเซนเอกซ์เทนเดอร์.....	51
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพ และค่าไฮดรอกซิลของสารประกอบพอลิออล จากน้ำมันปาล์ม.....	57
ตารางที่ 4.2 ความหนืดของปาล์พอลิออล-P ปาล์พอลิออล-M พอลิออลทางการค้า และ modified MDI.....	60
ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพ ของโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากปาล์มพอลิออล.....	61
ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพ ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	62
ตารางที่ 4.5 $T_g$ ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นที่เตรียมจากสูตร P0, P40, P40-EG10, P40-PG10 และ P40-BD10.....	84

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์.....	5
รูปที่ 2.2 สัณฐานโครงสร้างของโฟม (ก) เซลล์เปิด (ข) เซลล์ปิด.....	8
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสัณฐานวิทยาของโฟมบางชนิด (ก) ชนิดยืดหยุ่น (ข) ชนิดแข็ง.....	9
รูปที่ 2.4 การเพิ่มขนาดของฟอง.....	12
รูปที่ 2.5 การเพิ่มขนาดของฟองทั้งระบบ.....	13
รูปที่ 2.6 แผนภาพขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเกิดโฟม.....	15
รูปที่ 2.7 การขยายตัวของ dodecahedral cell ในทิศทางตั้งฉาก และขนานกับทิศทาง การเกิดโฟม.....	17
รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาการเกิดอัลโลฟาเนต และไบยูเรต.....	19
รูปที่ 2.9 กระบวนการผลิต TDI 80/20.....	23
รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของ 4,4'-MDI และ 2,4'-MDI.....	24
รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตพอลิเมอร์ MDI และ MDI บริสุทธิ์.....	25
รูปที่ 2.12 ปฏิกริยาเปิดวงไพโรฟิซีนออกไซด์ที่ใช้ผลิตพอลิอีเทอร์พอลิออล.....	27
รูปที่ 2.13 ปฏิกริยาการเตรียมพอลิเอสเตอร์พอลิออล.....	29
รูปที่ 2.14 โรงงานแบบทดลองในการผลิตปาล์มพอลิออล.....	31
รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการผลิตปาล์มพอลิออล.....	32
รูปที่ 2.16 น้ำมันปาล์มอีพอกซิไดส์.....	32
รูปที่ 2.17 โครงสร้างที่น่าจะเป็นของปาล์มพอลิออล.....	33
รูปที่ 2.18 โครงสร้างเคมีของ EG PG และ BD.....	36
รูปที่ 2.19 โครงสร้างในสายโซ่หลักของ พอลิยูรีเทนที่เป็น segment.....	37
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ปาล์มพอลิออล.....	46
รูปที่ 3.2 พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	47
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์.....	48
รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	52
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความแข็ง shore A.....	53
รูปที่ 3.6 เครื่อง universal testing machine.....	53
รูปที่ 3.7 ขนาด Die C ตามมาตรฐาน ASTM D 412-87.....	54

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความต้านทานการขาดดู .....	55
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบทดสอบความสามารถในการคืนตัว วิธี B.....	55
รูปที่ 3.10 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนิงคาลอริมิเตอร์.....	56
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัม ของ (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) ปาล์มพอลิออกอล-G (ค) ปาล์มพอลิออกอล-P และ (ง) ปาล์มพอลิออกอล-M.....	59
รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ของโฟมพอลิยูรีเทนจาก (ก) ปาล์มพอลิออกอล-P (ข) ปาล์มพอลิออกอล-G และ (ค) ปาล์มพอลิออกอล-M.....	61
รูปที่ 4.3 เวลาที่ใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นประเภท ไมโครเซลลูลาร์อิลาสโตเมอร์.....	63
รูปที่ 4.4 สันฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทน สูตร (ก) P0 (ข) P20 และ (ค) P40.....	65
รูปที่ 4.5 ความแข็งของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	66
รูปที่ 4.6 ความต้านแรงดึงของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	67
รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	68
รูปที่ 4.8 ยั่งสัมมอดูลัสของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	69
รูปที่ 4.9 ผลการสูญเสียเนื่องจากการขาดดูของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	70
รูปที่ 4.10 % compression set ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	71
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อเวลาที่ใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทนสูตร P40.....	73
รูปที่ 4.12 ลักษณะเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ใส่ EG PG และ BD ปริมาณต่างๆกัน.....	74
รูปที่ 4.12 (ต่อ) ลักษณะเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ใส่ EG PG และ BD ปริมาณ ต่างๆกัน.....	75
รูปที่ 4.13 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อความแข็งของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	77
รูปที่ 4.14 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อความต้านแรงดึงของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	78
รูปที่ 4.15 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อ%การยืด ณ จุดขาดของโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดยืดหยุ่น.....	79
รูปที่ 4.16 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อยั่งสัมมอดูลัสของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น.....	80
รูปที่ 4.17 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อการสูญเสียเนื่องจากการขาดดูของโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดยืดหยุ่น.....	81
รูปที่ 4.18 ผลของเซนเอกซ์เทนเดอ์ต่อ % compression set ของโฟมพอลิยูรีเทนชนิด ยืดหยุ่น.....	82

รูปที่ 4.19 DSC เทอร์โมแกรมของโพลีเมทิลเมทาครีเลตชนิด ยึดหยุ่นที่ เตรียมจากสูตร P0, P40, P40-EG10, P40-PG10 และ P40-BD10.....	83
---	----