การเตรียมนาโนคอมพอสิตของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวอลิศรา เมืองเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF PALM-OIL BASED RIGID POLYURETHANE FOAM/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES

Miss.Alissara Maungchareon

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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492274

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจากน้ำมันปาล์ม/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวอลิศรา เมืองเจริญ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

อลิศรา เมืองเจริญ : การเตรียมนาโนคอมพอสิตของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจากน้ำมันปาล์ม/มอนต์มอริลโลไนต์. (PRERARATION OF PALM-OIL BASED RIGID POLYURETHANE FOAM /MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรอุษา สรวารี, 142 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ โฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากน้ำมันปาล์ม/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตได้ถูกเตรียมด้วยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบ *in situ* โดยพอลิออลที่เตรียมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเพนตะอิริทริทอลได้ถูกนำไปทำปฏิกิริยากับพอลิเมอริกไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนตทางการค้าร่วมกับน้ำ (สารฟู) *N,N*-ไดเมทิลไซโคลเฮกซิลามีน (ตัวเร่งปฏิกิริยา) พอลิเมทิลซิลอกเซน (สารลดแรงตึงผิว) และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ปริมาณต่างๆ กัน เพื่อเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิต โดยโฟมนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้ถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้าง สัณฐานวิทยา ความหนาแน่น ความต้านแรงกด สภาพนำความร้อน และเสถียรภาพทางความร้อน ซึ่งผลของ XRD แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบ exfoliate และภาพที่ได้จากเครื่องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่า โฟมมีโครงสร้างแบบเซลล์ปิด ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นโฟมชนิดแข็ง นอกจากนี้ ยังพบว่า โฟมมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นตามปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นและความต้านแรงกดของโฟมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ที่เพิ่มขึ้น และมีค่าอยู่ในช่วง 38.5-46.6 กิโลกรัม/เมตร^3 และ 116.7–171.6 กิโลปาสคาล ตามลำดับ ส่วนสภาพนำความร้อนของโฟมมีค่าลดลงเมื่อปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น และมีค่าใกล้เคียงกับนาโนคอมพอสิตพอลิยูรีเทนโฟมที่เตรียมจากพอลิออลทางการค้า และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของโฟมนาโนคอมพอสิตที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มมีค่าอยู่ในช่วง 332-348 องศาเซลเซียส

ภาควิชาวัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....อลิศรา เมืองเจริญ.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ...ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872541923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHOLOGY
KEY WORD: MODIFIED PALM OIL / POLYURETHANE / MONTNORILLONITE

ALISSARA MAUNGCHAREON : PREPARATION OF PALM-OIL BASED RIGID POLYURETHANE FOAM/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT,
THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. ONUSA SARAVARI, 142 pp.

In this research, palm oil-based polyurethane (PU) foam/montmorillonite (MMT) nanocomposites were prepared via *in situ* polymerization method. The palm oil-based polyol synthesized by transesterification reaction of palm oil and pentaerythritol was reacted with commercial polymeric diphenylmethane diisocyanate in the presence of water (blowing agent), *N,N*-dimethylecyclohexylamine (catalyst), polydimethylsiloxane (surfactant) and montmorillonite to produce PU foam nanocomposites. The obtained nanocomposite foams containing different MMT contents were characterized for their structure, morphology, density, compressive strength, thermal conductivity and thermal stability. XRD patterns revealed that the nanocomposites formed were exfoliated. Scanning electron micrographs showed that the cells of the obtained PU foams were closed cells. This result indicated that these were rigid foam. In addition, the foams were found to have higher number of cells as the amount of montmorillonite increased. Meanwhile, the density and the compressive strength of the foam increased with the increasing amount of MMT and were in the range of 38.5-46.6 kg/m^3 and 116.7-171.6 kPa, respectively. Moreover, the thermal conductivity of the foams decreased as the MMT content increased and were comparable with the PU nanocomposite foam prepared from commercial polyol. Also, the TGA showed that the decomposition temperature of palm oil-based nanocomposite foams were in the range of 332-348°C.

Department of Materials Science.....Student's signature. Alissara Maungchareon
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....
Academic year 2006.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านเครื่องมือ วัตถุดิบและสถานที่สำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือ และการแนะแนวในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. รศ.อรอุษา สรวารี อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

4. รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

5. ผศ.ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

6. ภาควิชาวิสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

4. บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด บริษัท สยามเคมิคอลอินดรัสตรี้ส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบและสารเคมีในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา น้องชาย และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญภาพ..... ฎ

สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วารสารปริทรรศน์..... 3

2.1 น้ำมันปาล์ม..... 3

2.2 ความหมายหรือคำนิยามของโฟม..... 6

2.3 การจำแนกประเภทของโฟม..... 7

2.3.1 ประเภทของโฟมจำแนกตามลักษณะของเซลล์..... 7

2.3.2 ประเภทของโฟมจำแนกตามลักษณะทางกายภาพ..... 8

2.3.3 ประเภทของโฟมจำแนกตามประเภทของพลาสติก..... 10

2.4 กระบวนการการเกิดโฟม..... 10

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของโฟมพลาสติก..... 16

2.6 โฟมพอลิยูรีเทน..... 18

2.6.1 ปฏิกิริยาการเกิดโฟมพอลิยูรีเทน..... 18

2.6.2 ประเภทของโฟมพอลิยูรีเทน..... 20

2.6.3 สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน..... 21

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 42

หน้า

3. การทดลอง..... 45
3.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม..... 45
3.1.1 สารเคมี..... 45
3.1.2 อุปกรณ์..... 45
3.1.3 เครื่องทดสอบ..... 46
3.1.4 วิธีทดลอง..... 47
3.2 การดัดแปรมอนต์มอริโลไนต์..... 49
3.2.1 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยออกตะโดเดซิลเอมีน..... 49
3.2.1.1 สารเคมี..... 49
3.2.1.2 อุปกรณ์..... 49
3.2.1.3 เครื่องทดสอบ..... 49
3.2.1.4 วิธีการทดลอง..... 49
3.2.2 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยไตรเอทาโนลามีน..... 50
3.2.2.1 สารเคมี..... 50
3.2.2.2 อุปกรณ์..... 50
3.2.2.3 เครื่องทดสอบ..... 50
3.2.2.4 วิธีการทดลอง..... 50
3.3 การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง..... 51
3.3.1 สารเคมี..... 51
3.3.2 อุปกรณ์..... 52
3.3.3 เครื่องทดสอบ..... 52
3.3.4 วิธีทดลอง..... 55
3.4 การตรวจสอบสมบัติของสารประกอบพอลิออลที่ได้จากน้ำมันปาล์ม..... 57
3.4.1 ความหนืด..... 57
3.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR..... 58
3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค NMR..... 58
3.4.4 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC..... 58

หน้า

3.5 การตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติของโฟมพอลิยูรีเทน..... 58
3.5.1 การตรวจสอบสีและลักษณะโดยทั่วไปของโฟม..... 58
3.5.2 การวิเคราะห์สร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR..... 58
3.5.3 การตรวจสอบความเป็นวัสดุนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD..... 59
3.5.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโฟมด้วยเทคนิค SEM..... 59
3.5.5 ความหนาแน่น..... 59
3.5.6 ความต้านแรงกด..... 59
3.5.7 ความแข็ง..... 61
3.5.8 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC..... 61
3.5.9 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA..... 61
3.5.10 การตรวจสอบสมบัติการนำความร้อน..... 62

4. ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง..... 63
4.1 การเตรียมสารประกอบพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม..... 63
4.1.1 ลักษณะของสารประกอบพอลิออล..... 63
4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR..... 64
4.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค NMR..... 66
4.1.4 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC..... 68
4.2 การดัดแปรมอนต์มอริโลไนต์..... 71
4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR..... 71
4.2.2 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยเทคนิค XRD. 72
4.3 การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนนาโนคอมพอสิต..... 73
4.3.1 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมเริ่มฟูตัว..... 73
4.3.2 เวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมขยายตัวเต็มที่..... 74
4.3.3 ความสามารถในการฟูตัว..... 75
4.4 การตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติของโฟมพอลิยูรีเทน..... 77
4.4.1 สีและลักษณะของโฟม..... 77

หน้า

4.4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโฟมด้วยเทคนิค FTIR..... 78
4.4.3 การตรวจสอบความเป็นวัสดุนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD..... 80
4.4.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค SEM..... 82
4.4.5 ความหนาแน่น..... 86
4.4.6 ความต้านแรงกด..... 87
4.4.7 ความแข็ง..... 88
4.4.8 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC..... 88
4.4.9 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA..... 90
4.4.10 การตรวจสอบสมบัติการนำความร้อน..... 96

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 97

รายการอ้างอิง..... 100

ภาคผนวก..... 103
ภาคผนวก ก..... 104
ภาคผนวก ข..... 109
ภาคผนวก ค..... 113
ภาคผนวก ง..... 116
ภาคผนวก จ..... 121
ภาคผนวก ฉ..... 126
ภาคผนวก ช..... 131
ภาคผนวก ซ..... 135
ภาคผนวก ฌ..... 137

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 142

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์ม..... 3

ตารางที่ 2.2 ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม..... 5

ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดไขมันที่มีในน้ำมันปาล์ม..... 5

ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่น และปริมาณการใช้งานของโฟมทั้ง 3 ประเภท..... 21

ตารางที่ 2.5 ลักษณะของพอลิออลที่ใช้ในการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนประเภทต่างๆ..... 26

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวริเริ่มปฏิกิริยาทั้ง 2 ประเภทและฟังก์ชันนัลลิตี..... 28

ตารางที่ 2.7 สมบัติและการใช้งานของพอลิเอสเทอร์พอลิออลในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทน.. 29

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาเทอร์เชียรีเอมีน..... 31

ตารางที่ 2.9 พิกัดอัตตราเบอร์กของสินแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ..... 41

ตารางที่ 3.1 สูตรที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยใช้พอลิออลที่ดัดแปร
จากน้ำมันปาล์ม..... 56

ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยใช้พอลิออลทางการค้า 57

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน และการ
กระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล..... 70

ตารางที่ 4.2 ระยะห่างระหว่างชั้นของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ..... 73

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการสลายตัวของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม..... 92

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการสลายตัวของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า..... 95

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างไอโซเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ 5

รูปที่ 2.2 สัณฐานโครงสร้างของโฟม 8

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสัณฐานวิทยาของโฟมบางชนิด 9

รูปที่ 2.4 การเพิ่มขนาดของฟอง 13

รูปที่ 2.5 การเพิ่มขนาดของฟองทั้งระบบ 13

รูปที่ 2.6 แผนภาพขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการเกิดโฟม 15

รูปที่ 2.7 การขยายตัวของ dodecahedral cell ในทิศทางตั้งฉากและขนานกับทิศทางการเกิดโฟม 17

รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาการเกิดอัลโลฟาเนต 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 กระบวนการผลิตพอลิเมอริก MDI และ MDIบริสุทธิ์ 25

รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาเปิดวงโพรพิลีนออกไซด์ที่ใช้ผลิตพอลิอีเทอร์พอลิออล 27

รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเอสเทอร์พอลิออล 29

รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของ Dichlorofluoroethane 33

รูปที่ 2.15 หน่วยโครงสร้างของ silica tetrahedron และ aluminium magnesium octahedron 35

รูปที่ 2.16 การต่อตัวของ tetrahedron และ octahedron เป็นแผ่น 36

รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสินแร่ 2 ชั้น ของ surpentine และ kaolinite 37

รูปที่ 2.18 โครงสร้างของสินแร่ pyrophyllite 38

รูปที่ 2.19 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ 39

รูปที่ 2.20 การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ 39

รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความหนืดแบบบรู๊กฟิลด์ 46

รูปที่ 3.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 46

รูปที่ 3.3 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ 47

รูปที่ 3.4 เจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟฟี 47

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปรน้ำมันปาล์ม..... 48
รูปที่ 3.6 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมทรี..... 53
รูปที่ 3.7 เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์..... 53
รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... 53
รูปที่ 3.9 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์..... 54
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดความแข็ง..... 54
รูปที่ 3.11 universal testing machine..... 54
รูปที่ 3.12 เครื่องตัดโฟม..... 55
รูปที่ 3.13 ความต้านแรงกด..... 60
รูปที่ 3.14 การทดสอบความแข็งด้วย Durometer..... 61
รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน..... 62
รูปที่ 4.1 ลักษณะของพอลิออลจากน้ำมันปาล์ม..... 63
รูปที่ 4.2 ลักษณะของพอลิออลทางการค้า..... 64
รูปที่ 4.3 FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์ม พอลิออลจากน้ำมันปาล์ม และพอลิออล
ทางการค้า..... 65
รูปที่ 4.4 ศึกษาส่วนประกอบของพอลิออลที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิค NMR..... 66
รูปที่ 4.5 GPC โครมาโทแกรมของพอลิออลทางการค้า..... 69
รูปที่ 4.6 GPC โครมาโทแกรมของพอลิออลที่ได้จากการดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม..... 69
รูปที่ 4.7 FTIR สเปกตรัมของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ..... 72
รูปที่ 4.8 XRD โครมาโทแกรมของมอนต์มอริลโลไนต์ชนิดต่างๆ..... 72
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนเริ่มฟูตัว..... 74
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการทำให้โฟมพอลิยูรีเทนขยายตัวเต็มที่..... 75
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสูงของโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้..... 76
รูปที่ 4.12 ลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม..... 77
รูปที่ 4.13 ลักษณะของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า..... 78

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.14 FTIR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม..... 79
รูปที่ 4.15 FTIR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า..... 79
รูปที่ 4.16 XRD โครมาโทแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์ม..... 80
รูปที่ 4.17 XRD โครมาโทแกรมของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้า..... 81
รูปที่ 4.18 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มทิศทางตั้งฉากกับแนวการฟูตัว..... 82
รูปที่ 4.19 TEM แสดงมอนต์มอริลโลไนต์ที่กระจายอยู่ที่ผนังเซลล์ของโฟม..... 83
รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนที่ดัดแปรจากน้ำมันปาล์มทิศทางขนานกับแนวการฟูตัว..... 83
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้าทิศทางตั้งฉากกับแนวการฟูตัว..... 84
รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทนทางการค้าทิศทางขนานกับแนวการฟูตัว..... 85
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน..... 86
รูปที่ 4.24 ความต้านแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทน..... 87
รูปที่ 4.25 ความแข็งของโฟมพอลิยูรีเทน..... 88
รูปที่ 4.26 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมด้วยเทคนิค DSC..... 89
รูปที่ 4.27 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิออลจากน้ำมันปาล์มด้วยเทคนิคTGA..... 90
รูปที่ 4.28 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของ PMDIด้วยเทคนิค TGA..... 91
รูปที่ 4.29 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมที่ดัดแปรด้วยเทคนิค TGA. 91
รูปที่ 4.30 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิออลทางการค้าด้วยเทคนิค TGA..... 93
รูปที่ 4.31 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของ PMDI ด้วยเทคนิค TGA..... 94
รูปที่ 4.32 เทอร์โมแกรมการศึกษาสมบัติทางความร้อนของโฟมทางการค้าด้วยเทคนิค TGA..... 94
รูปที่ 4.33 ค่าการนำความร้อนของโฟมพอลิยูรีเทน..... 96