การเตรียมนาโนคอมพอสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวระพีพรรณ ทองระอา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF PVC/EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES

Miss Rapheephan Thongraar

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

492186

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวระพีพรรณ ทองระอา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ)

ระพีพรรณ ทองระอา : การเตรียมนาโนคอมพอสิตของพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์.
(PREPARATION OF PVC/EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรอุษา สรวารี. 100 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมนาโนคอมพอสิตของพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)/เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (อีวีเอ)/มอนต์มอริลโลไนต์ แล้วนำมาวิเคราะห์โครงสร้าง สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล ซึ่งนาโนคอมพอสิตถูกเตรียมโดยการผสมแบบหลอมเหลวของพีวีซี/อีวีเอที่อัตราส่วน 100/2.5 100/5 100/7.5 และ 100/10 กับมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน (2, 4 และ 6 phr) ด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการอัดแบบ โดยมอนต์มอริลโลไนต์ได้ถูกดัดแปรด้วยออกตะเดซิลเอมีนจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนแคตไอออนก่อนนำไปผสมกับพีวีซีและอีวีเอ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบ intercalate เมื่อพิจารณาพื้นผิวของชิ้นงานที่แตกหัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การกระจายตัวของอีวีเอและมอนต์มอริลโลไนต์ในเมทริกซ์ของพีวีซีลดลงตามปริมาณของอีวีเอและมอนต์มอริลโลไนต์ที่เพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึงของนาโนคอมพอสิตไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อปริมาณอีวีเอและมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม นาโนคอมพอสิตของ 100พีวีซี/2.5 อีวีเอ/2 มอนต์มอริลโลไนต์ มีความต้านแรงดึงสูงที่สุด ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทกในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณ 2 phr ในเมทริกซ์ของ 100 พีวีซี/5 อีวีเอ มีความเป็นไปได้สูงในการปรับปรุงสมบัติความต้านแรงกระแทกของวัสดุนาโนคอมพอสิต โดยทั้งอีวีเอและมอนต์มอริลโลไนต์ได้ช่วยกันเสริมให้วัสดุนาโนคอมพอสิตมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....ระพีพรรณ ทองระอา.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์.....
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อ.....

4872428723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: PVC / EVA / MONTMORILLONITE / NANOCOMPOSITE

RAPHEEPHAN THONGRAAR : PREPARATION OF PVC/EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SOAWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR : ASST.PROF. ONUSA SARAVARI. 100 pp.

In this research, poly(vinyl chloride) (PVC)/ethylene vinyl acetate copolymer (EVA)/montmorillonite (MMT) nanocomposites have been prepared and characterized for their structure, morphology and mechanical properties. The blend nanocomposites were prepared through the melt mixing of PVC/EVA at weight ratios of 100/2.5, 100/5, 100/7.5 and 100/10 with various amount of MMT (2, 4 and 6) on a two roll mill followed by compression molding. Before mixing with PVC and EVA, MMT was modified with octadecylamine via the cationic exchange reaction. X-ray diffraction patterns suggested that the nanocomposites formed were intercalated. Scanning electron micrographs of the fractured surface showed the reduction of EVA and MMT distribution when higher amount of them was added into the PVC matrix. The tensile strength of the nanocomposites did not showed significant change with the increasing amount of EVA and MMT. However, the 100 PVC/2.5 EVA/2 MMT nanocomposite exhibited the highest tensile strength. In the present study, the MMT of 2 phr dispersed in the 100 PVC/5 EVA matrix showed the high potential on improving the impact strength of the nanocomposite. This was probably due to the synergism effect of the EVA and MMT that enhanced the toughness of the nanocomposite.

Department Materials Science Student's signature Rapheephan Thongraar
Field of study Applied Polymer Science and textile Technology Advisor's signature.....
Academic year 2006 Co-advisor's signature Onusa S.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน คือ รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ รศ.อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.กาวี ศรีกูลกิจ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัท ไทยนามพลาสติกส์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เม็ดเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (อีวีเอ) ไดไอโซโนนิลฟทาเลต (DINP) แบเรียมซิงค์ และกรดสเตียริก
2. บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ผงพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)
3. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์โซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์ (Na^+-MMT)
4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทรรศน์..... 3

2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์..... 3

2.1.1 กระบวนการผลิตพีวีซี..... 4

2.1.2 สารประกอบพีวีซี..... 6

2.2 เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์..... 12

2.3 แร่ดิน (clay minerals)..... 15

2.4 มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)..... 18

2.5 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (Organophilic clay)..... 19

2.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของดิน (Cation Exchange Process)..... 20

2.6.1 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดิน..... 21

2.6.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ..... 22

2.7 นาโนคอมพอสิต (Nanocomposites)..... 23

2.7.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 24

2.7.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 26

2.7.3 ผลิตภัณฑ์สำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 26

บทที่ หน้า

2.7.4 แนวโน้มการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต..... 26
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 28
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 31
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี..... 31
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร..... 31
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นพีวีซี..... 32
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 32
3.5 ขอบเขตการทดลอง..... 32
3.6 วิธีการทดลอง..... 33
3.6.1 การเตรียมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร..... 33
3.6.2 การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร..... 33
3.6.2.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (IR)..... 33
3.6.2.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)..... 34
3.6.3 การเตรียมพีวีซี/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 35
3.6.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี/อีวีเอ..... 39
3.6.5 การเตรียมพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 41
3.6.6 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต..... 43
3.6.6.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD..... 43
3.6.6.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM..... 43
3.6.6.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต..... 44
3.6.6.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต..... 46

บทที่ หน้า

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 50

4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร..... 50

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR..... 50

4.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD..... 51

4.2 พีวีซี/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต
(PVC/OMMT nanocomposites)..... 52

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต
ด้วยเทคนิค XRD..... 52

4.2.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ PVC/OMMT
นาโนคอมพอสิต 54

4.2.3 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 55

4.2.4 ความต้านแรงกระแทกของ PVC/OMMT
นาโนคอมพอสิต..... 57

4.3 พอลิเมอร์ผสมของพีวีซี/อีวีเอ (PVC/EVA polyblends)..... 59

4.3.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
PVC/EVA..... 59

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม
PVC/EVA ด้วยเทคนิค TGA..... 60

4.3.3 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA..... 62

4.3.4 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
PVC/EVA..... 64

4.4 พีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต
(PVC/EVA/OMMT nanocomposites)..... 66

4.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ PVC/EVA/OMMT
นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD..... 66

บทที่ หน้า

4.4.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 71
4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA..... 74
4.4.4 สมบัติด้านแรงดึงของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 76
4.4.5 ความต้านแรงกระแทกของ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 80
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 83
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 83
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 84

รายการอ้างอิง..... 85
ภาคผนวก..... 88
ภาคผนวก ก..... 89
ภาคผนวก ข..... 96
ภาคผนวก ค..... 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 108

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะเด่นของพีวีซีชนิดแข็งและชนิดยืดหยุ่น	12
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมพีวีซี/มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิต	36
ตารางที่ 3.2	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี/อีวีเอ	39
ตารางที่ 3.3	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิต	41
ตารางที่ 4.1	ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ OMMT และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต	53
ตารางที่ 4.2	สมบัติด้านแรงดึงของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต	56
ตารางที่ 4.3	ความต้านแรงกระแทกของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต	58
ตารางที่ 4.4	อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA	61
ตารางที่ 4.5	สมบัติด้านแรงดึงของ PVC และ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA	63
ตารางที่ 4.6	ความต้านแรงกระแทกของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA	64
ตารางที่ 4.7	ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ OMMT และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต	70
ตารางที่ 4.8	อุณหภูมิการสลายตัวของ PVC, EVA, 100 PVC/5EVA และ 100 PVC/5 EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต	75
ตารางที่ 4.9	สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต	78
ตารางที่ 4.10	ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต	81

สารบัญภาพ

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของพีวีซี	3
รูปที่ 2.2	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พีวีซี	4
รูปที่ 2.3	สูตรโครงสร้างของอีวีเอ	13
รูปที่ 2.4	โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์	19
รูปที่ 2.5	ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างแคตไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นดินกับควอเทอร์แนรีแอมโมเนียมไอออน	20
รูปที่ 2.6	การแลกเปลี่ยนประจุระหว่างแคตไอออนในดินกับแคตไอออนชนิดอื่น	21
รูปที่ 2.7	การกระจายตัวของเคลย์ในพอลิเมอร์	24
รูปที่ 2.8	การเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี Solution intercalation	25
รูปที่ 2.9	การเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี *in situ* polymerization	25
รูปที่ 2.10	การเตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี Melt intercalation	25
รูปที่ 3.1	เครื่อง FT-IR รุ่น Nicolet-Impact 400D	33
รูปที่ 3.2	ส่วนประกอบและลักษณะของแผ่นที่ยึดตัวอย่าง (sample holder)	34
รูปที่ 3.3	เครื่อง XRD รุ่น Bruker AXS Model D8	35
รูปที่ 3.4	เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น LAB TECH	36
รูปที่ 3.5	เครื่องอัดแบบ (compression molding) รุ่น LAB TECH	37
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการเตรียมพีวีซี/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	38
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพีวีซี/อีวีเอ	40
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการเตรียมพีวีซี/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	42
รูปที่ 3.9	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM-6400	44
รูปที่ 3.10	เครื่อง TGA รุ่น METTLER TOLEDO 851e	45
รูปที่ 3.11	เครื่อง DSC รุ่น Shimadzu DSC 60	45
รูปที่ 3.12	เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 100K	47
รูปที่ 3.13	ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638-03 (type IV)	47
รูปที่ 3.14	เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทก รุ่น GOTECH GT-7045-MD	48
รูปที่ 3.15	ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256-04 (Izod type)	49

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) MMT, (b) OMMT..... 50

รูปที่ 4.2 X-ray pattern ของ (a) MMT, (b) OMMT..... 51

รูปที่ 4.3 X-ray pattern ของ (a) OMMT, (b) 100 PVC/2OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/6 OMMT nanocomposite..... 52

รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของ (a) PVC, (b) 100 PVC/2 OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/6 OMMT nanocomposite..... 54

รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดึงของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 55

รูปที่ 4.6 ยังส์มอดุลัสของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 55

รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ PVC และ PVC/OMMT
นาโนคอมพอสิต..... 56

รูปที่ 4.8 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และ PVC/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 57

รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของ (a) PVC, (b) EVA,
(c) พอลิเมอร์ผสม100 PVC/2.5 EVA,
(d) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA,
(e) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/7.5 EVA,
(f) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/10 EVA..... 59

รูปที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) PVC, (b) EVA,
(c) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/2.5 EVA,
(d) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA,
(e) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/7.5 EVA,
(f) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/10 EVA..... 60

รูปที่ 4.11 ความต้านแรงดึงของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA..... 62

รูปที่ 4.12 ยังส์มอดุลัสของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA..... 62

รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ PVC และพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA..... 63

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.14 ความต้านแรงกระแทกของ PVC และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA..... 64

รูปที่ 4.15 X-ray pattern ของ (a) OMMT,
(b) 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT nanocomposite..... 66

รูปที่ 4.16 X-ray pattern ของ (a) OMMT,
(b) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT nanocomposite..... 67

รูปที่ 4.17 X-ray pattern ของ (a) OMMT,
(b) 100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT nanocomposite..... 68

รูปที่ 4.18 X-ray pattern ของ (a) OMMT,
(b) 100 PVC/10 EVA/2 OMMT nanocomposite,
(c) 100 PVC/10 EVA/4 OMMT nanocomposite,
(d) 100 PVC/10 EVA/6 OMMT nanocomposite..... 69

รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอสิต : (a) 100 PVC/2.5 EVA/0 OMMT,
(b) 100 PVC/2.5 EVA/2 OMMT, (c) 100 PVC/2.5 EVA/4 OMMT,
(d) 100 PVC/2.5 EVA/6 OMMT, (e) 100 PVC/5 EVA/0 OMMT,
(f) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT, (g) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT,
(h) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT, (i) 100 PVC/7.5 EVA/0 OMMT,
(j) 100 PVC/7.5 EVA/2 OMMT, (k) 100 PVC/7.5 EVA/4 OMMT,
(l) 100 PVC/7.5 EVA/6 OMMT, (m) 100 PVC/10 EVA/0 OMMT,
(n) 100 PVC/10 EVA/2 OMMT, (o) 100 PVC/10 EVA/4 OMMT,
(p) 100 PVC/10 EVA/6 OMMT..... 71

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) PVC, (b) EVA,
(c) พอลิเมอร์ผสม 100 PVC/5 EVA,
(d) 100 PVC/5 EVA/2 OMMT nanocomposite,
(e) 100 PVC/5 EVA/4 OMMT nanocomposite,
(f) 100 PVC/5 EVA/6 OMMT nanocomposite..... 74

รูปที่ 4.21 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต 76

รูปที่ 4.22 ยังส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 76

รูปที่ 4.23 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMT นาโนคอมพอสิต..... 77

รูปที่ 4.24 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/EVA และ PVC/EVA/OMMTนาโนคอมพอสิต..... 80