การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวบงกช นันทบุญเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2256-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF NATURAL RUBBER/EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES

Miss Bongkoch Nonthaboonlert

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 974-14-2256-3

481625

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวบงกช นันทบุญเลิศ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สรินทร ลิ่มปนาท

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สรินทร ลิ่มปนาท)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

บงกช นันทบุญเลิศ : การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์. (PREPARATION OF NATURAL RUBBER/EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สรินทร ลิ่มปนาท, 100 หน้า ISBN 974-14-2256-3

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของนาโนคอมพอสิตระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งถูกเตรียมด้วยการผสมแบบเลเท็กซ์ที่ไม่มีการดัดแปรมอนต์-มอริลโลไนต์ เริ่มจากการผสมอีวีเอลาเท็กซ์และมอนต์มอริลโลไนต์ที่อุณหภูมิห้อง สารผสมที่ได้ถูกนำไปผสมกับสารประกอบน้ำยางธรรมชาติที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งของยางธรรมชาติ/อีวีเอเท่ากับ 100/0 90/10 80/20 70/30 60/40 และ 50/50 ซึ่งปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ในแต่ละส่วนผสมเท่ากับ 4 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้งและอีวีเอ 100 ส่วน ลาเท็กซ์ที่ได้ถูกนำไปหล่อเป็นแผ่นด้วยแม่แบบที่ทำจากกระจก และถูกทิ้งให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 2 วัน แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ชิ้นงานแห้งที่ได้ถูกนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์โครงสร้าง พฤติกรรมทางความร้อน และสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค XRD TGA และ SEM ตามลำดับ ส่วนสมบัติความต้านแรงดึงถูกทดสอบด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซลเทสติงแมชีน

ผลของ XRD แสดงให้เห็นว่าเกิดโครงสร้างทั้งแบบ intercalated และ exfoliated ในนาโน-คอมพอสิตเหล่านี้ นอกจากนี้ จาก TGA เทอร์โมแกรม แสดงให้เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่ใส่เข้าไปมีผลต่อเสถียรภาพ ทางความร้อนของนาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้น้อยมาก จากการวิเคราะห์สมบัติความต้านแรงดึงแสดงให้เห็นว่า นาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์ สูตร 90/10/4 มีค่าความต้านแรงดึงสูงที่สุด และมีการปรับปรุงสมบัติด้านนี้อย่างเห็นได้ชัด จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM แสดงให้เห็นการกระจายอนุภาคที่ดีของมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ แต่เมื่อปริมาณอีวีเอเพิ่มเป็น 50% ความสามารถในการเข้ารวมตัวของยางธรรมชาติและอีวีเอลดลง เนื่องจากระบบมีความหนืดสูงมาก นอกจากนี้ ภาพ TEM จากชิ้นงานของยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์เท่ากับ 90/10/4 ยืนยันว่าเกิดโครงสร้างเป็นแบบผสมระหว่าง intercalated และ exfoliated

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....บงกช นันทบุญเลิศ.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772347423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: RUBBER / EVA/ MONTMORILLONITE/NANOCOMPOSITE

BONGKOCH NONTHABOONLERT: (PREPARATION OF NATURAL RUBBER /EVA/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES). THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOAWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR: SARINTORN LIMPANART,Ph.D. 100 pp. ISBN 974-14-2256-3

The aim of this research is to prepare and characterize natural rubber (NR)/poly(ethylene-*co*-vinyl acetate) (EVA)/montmorillonite (MMT) nanocomposites by latex compounding without any modification of the MMT. EVA and MMT were first well mixed at room temperature in latex state. The mixtures were later blended with NR latex compound at NR/EVA dry weight ratios of 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 and 50/50. The amount of MMT in each blend was 4 phr (parts per hundred of dry rubber and EVA). The obtained homogeneous latex was cast into sheets onto glass mold and allowed to dry in air for 2 days and then in the oven at 70°C for 6 h. The dried sheets were subsequently cured at 110°C for 2 h. The cured nanocomposites have been characterized for their structures and morphologies by X-ray diffraction (XRD) scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) techniques. Tensile properties were also investigated by Universal Testing Machine.

XRD patterns showed both intercalated and exfoliated structures in these nano-composites. From tensile test, the nanocomposite of 90NR/10EVA/4MMT exhibited highest tensile strength with substantially improved in this property. The micrographs observed by SEM revealed that the MMT particles were well dispersed in the polymer matrix. However, the increased in EVA content up to 50 wt% reduced the compatibility between NR and EVA due to the very high viscosity of the system. In addition, the transmission electron microscopy (TEM) images of 90NR/10EVA/4MMT nanocomposite confirmed that the hybrid structures of intercalated and exfoliated were formed.

Department of Material Science Student's signature Bongkoch Nonthaboonlert
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature
Academic year 2005 Co-advisor's signature Sarintorn Limpanart

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของท่านผู้ทรงคุณวุติหลายท่านคือ รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ ดร. สรินทร ลิ่มปนาท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ. ไพพรรณ สันติสุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. อรอุษา สรวารี และ รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ต่างๆอันมีค่าให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

1. คุณชัยวัฒน์ นรการต์กร ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลในการทำงานวิจัย
2. บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอร์ปอร์เรชั่น (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ให้ความอนุเคราะห์น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง
3. บริษัท อีเทอร์นอล เรซิน จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ (อีวีเอ) อิมัลชัน
4. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์โซเดียมมอนต์-มอริลโลไนต์ (Na^+-MMT) และการทดสอบ
5. บริษัท ฟาบริเนท จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ SEM
6. บริษัท Chemmin corporation จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์สารบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน และ ซิงค์ออกไซด์
7. บริษัท ท็อปไฟลท์ จำกัดสำหรับความอนุเคราะห์สารซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต และซัลเฟอร์
8. บริษัท Clariant สำหรับความอนุเคราะห์สาร Lyocol RDN liq
9. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบ TEM
10. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆนิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ยางธรรมชาติ..... 3

2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ..... 3

2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ..... 5

2.1.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ..... 7

2.1.4 น้ำยางข้น (Concentrated latex)..... 8

2.1.5 ข้อดีและข้อเสียของน้ำยางข้น..... 9

2.1.6 การทำให้ยางคงรูป..... 10

2.1.7 การขึ้นรูปน้ำยาง..... 10

2.1.8 การเตรียมสารกระจายในน้ำ (ดิสเพอร์สชัน)..... 11

2.2 เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์..... 11

2.3 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)..... 13

2.3.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)..... 15

2.3.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay)..... 16

2.4 นาโนคอมพอสิต (Nanocomposites)..... 16

2.4.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 17

บทที่ หน้า

2.4.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 19
2.4.3 ผลิตภัณฑ์สำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต..... 19
2.4.4 แนวโน้มการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต..... 20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 25
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี..... 25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 27
3.3 วิธีการทดลอง..... 28
3.3.1 การเตรียมสารกระจายในน้ำ (ดิสเพอร์ชัน) สำหรับวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ..... 28
3.3.2 การเตรียมสารดิสเพอร์สชันมอนต์มอริลโลไนต์..... 29
3.3.3 การเตรียมยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 29
3.3.4 การเตรียมอีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 31
3.3.5 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ..... 32
3.3.6 การเตรียมยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 35
3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ..... 37
3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD..... 37
3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA..... 38
3.4.3 การทดสอบสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุนาโนคอมพอสิต..... 38
3.4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)..... 39
3.4.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)..... 40

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
	4.1 ยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (NR/MMT nanocomposites)	41
	4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ NR/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD	41
	4.1.2 สมบัติด้านแรงดึงของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต	42
	4.1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ NR/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA	44
	4.2 อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (EVA/MMT nanocomposites)	47
	4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD	47
	4.2.2 สมบัติด้านแรงดึงของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	49
	4.2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA	51
	4.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ (NR/EVA polyblends)	54
	4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA ด้วยเทคนิค XRD	54
	4.3.2 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA	55
	4.3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVAด้วยเทคนิค TGA	57
	4.3.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVAด้วยเทคนิค SEM	59
	4.4 ยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (NR/EVAMMT nanocomposites)	61
	4.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD	61
	4.4.2 สมบัติด้านแรงดึงของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	63

บทที่ หน้า

4.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA..... 66
4.4.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค SEM..... 68
4.4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TEM..... 70

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 72
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 72
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 73

รายการอ้างอิง..... 74

ภาคผนวก..... 76
ภาคผนวก ก..... 77
ภาคผนวก ข..... 83
ภาคผนวก ค..... 87
ภาคผนวก ง..... 97

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 100

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	การจัดกลุ่มยางตามค่าความต้านทานการขัดถู	6
ตารางที่ 3.1	สมบัติของน้ำยางธรรมชาติข้นชนิดแอมโมเนียสูง	25
ตารางที่ 3.2	สมบัติของเอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์อิมัลชัน	25
ตารางที่ 3.3	องค์ประกอบทางเคมีของโซเดียมมอนต์มอริลโลไนต์	26
ตารางที่ 3.4	สมบัติของซิงก์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต	27
ตารางที่ 3.5	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	29
ตารางที่ 3.6	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมอีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	31
ตารางที่ 3.7	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ	33
ตารางที่ 3.8	อัตราส่วนของสารที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	35
ตารางที่ 4.1	ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, NR และ NR/MMT นาโนคอมพอสิต	42
ตารางที่ 4.2	สมบัติด้านแรงดึงของยางธรรมชาติและ NR/MMT นาโนคอมพอสิต	43
ตารางที่ 4.3	อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของยางธรรมชาติ และ NR/MMT นาโนคอมพอสิต	44
ตารางที่ 4.4	ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, EVA และ EVA/MMTนาโนคอมพอสิต	48
ตารางที่ 4.5	สมบัติด้านแรงดึงของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	49
ตารางที่ 4.6	อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	51
ตารางที่ 4.7	สมบัติด้านแรงดึงของ EVA, NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ	55
ตารางที่ 4.8	อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA, NR และพอสิเมอร์ผสม NR/EVA	57
ตารางที่ 4.9	ตำแหน่ง 2θ และ d_{001} ของ MMT, EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	62
ตารางที่ 4.10	สมบัติด้านแรงดึงของ EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	63

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักที่หายไปของ EVA, NRและ NR/EVA/MMTนาโนคอมพอสิต..... 66

สารบัญรูป

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	4
รูปที่ 2.2	สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ (ก) ภาวะปกติ และ (ข) ภาวะที่ถูกยืดดึง	4
รูปที่ 2.3	น้ำยางธรรมชาติ	9
รูปที่ 2.4	สูตรโครงสร้างของอีวีเอ	12
รูปที่ 2.5	โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์	15
รูปที่ 2.6	(ก) แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก (ข) ออร์แกโนเคลย์ที่ประจุเดิมถูกแทนที่ประจุบวกของสารอินทรีย์	16
รูปที่ 2.7	การกระจายตัวของเคลย์ในพอลิเมอร์	17
รูปที่ 2.8	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี solution intercalation	18
รูปที่ 2.9	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี *in situ* polymerization	18
รูปที่ 2.10	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี melt intercalation	18
รูปที่ 2.11	การเผาไหม้ของนาโนคอมพอสิต ไนลอน-เคลย์ (ที่ปริมาณนาโนเคลย์ต่างๆ)	19
รูปที่ 2.12	นาโนคอมพอสิตจากอีวีเอ และเคลย์ที่มีโครงสร้างแบบ intercalated, exfoliated และแบบ wedged	23
รูปที่ 3.1	เครื่องบดชนิดราง (ball mill)	28
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมสารดิสเพอร์สชัน	28
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	30
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการเตรียมอีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	32
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/อีวีเอ	34
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติ/อีวีเอ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	36
รูปที่ 3.7	เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น Philip PW3710 PC-APD	37
รูปที่ 3.8	เครื่อง TGA รุ่น METTLER TOLEDO TGA/SDTA 851^e	38
รูปที่ 3.9	เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 10 K PLUS	39
รูปที่ 3.10	เครื่อง SEM รุ่น JEOL JSM-5900	40
รูปที่ 3.11	เครื่อง TEM รุ่น JEOL JEM-2010	40

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 X-ray pattern ของ (a) MMT, (b) NR,
(c) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/2 MMT,
(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/4 MMT,
(e) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/6 MMT,
(f) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/8 MMT..... 41

รูปที่ 4.2 ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต..... 43

รูปที่ 4.3 %การยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติและของ NR/MMTนาโนคอมพอสิต 43

รูปที่ 4.4 TGA เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต..... 45

รูปที่ 4.5 DTG เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติและของ NR/MMT นาโนคอมพอสิต.... 45

รูปที่ 4.6 X-ray pattern ของ (a) MMT, (b) EVA,
(c) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/2 MMT,
(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/4 MMT,
(e) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/6 MMT,
(f) นาโนคอมพอสิตของ 100 EVA/8 MMT..... 47

รูปที่ 4.7 ความต้านแรงดึงของ EVA และ EVA/MMTนาโนคอมพอสิต..... 49

รูปที่ 4.8 % การยืดตัว ณ จุดขาดของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต..... 50

รูปที่ 4.9 TGA เทอร์โมแกรมของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต..... 51

รูปที่ 4.10 DTG เทอร์โมแกรมของ EVA และ EVA/MMT นาโนคอมพอสิต..... 52

รูปที่ 4.11 X-ray pattern ของ (a) EVA (b) ยางธรรมชาติ,
(c) พอลิเมอร์ผสมของ 90 NR/10 EVA,
(d) พอลิเมอร์ผสมของ 80 NR/20 EVA,
(e) พอลิเมอร์ผสมของ 70 NR/30 EVA,
(f) พอลิเมอร์ผสมของ 60 NR/40 EVA,
(g) พอลิเมอร์ผสมของ 50 NR/50 EVA..... 54

รูปที่ 4.12 ความต้านแรงดึงของ EVA, NR และของพอลิเมอร์ผสม NR/EVA
ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 55

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.13	% การยืดตัว ณ จุดขาดของ EVA, NR และพอลิเมอร์ผสม NR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	56
รูปที่ 4.14	TGA เทอร์โมแกรมของ NR, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA.....	57
รูปที่ 4.15	DTG เทอร์โมแกรมของ NR, EVA และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA.....	58
รูปที่ 4.16	สัณฐานวิทยาของ (a) EVA (b) NR (c) พอลิเมอร์ผสมของ 90 NR/10 EVA, (d) พอลิเมอร์ผสมของ 80 NR/20 EVA, (e) พอลิเมอร์ผสมของ 70 NR/30 EVA, (f) พอลิเมอร์ผสมของ 60 NR/40 EVA, (g) พอลิเมอร์ผสมของ 50 NR/50 EVA.....	59
รูปที่ 4.17	X-ray pattern ของ (a) MMT (b) EVA (c) NR, (d) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/0 EVA/4 MMT, (e) นาโนคอมพอสิตของ 90 NR/10 EVA/4 MMT, (f) นาโนคอมพอสิตของ 80 NR/20 EVA/4 MMT, (g) นาโนคอมพอสิตของ 70 NR/30 EVA/4 MMT, (h) นาโนคอมพอสิตของ 60 NR/40 EVA/4 MMT, (i) นาโนคอมพอสิตของ 50 NR/50 EVA/4 MMT.....	61
รูปที่ 4.18	ความต้านแรงดึงของ EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต.....	63
รูปที่ 4.19	% การยืดตัว ณ จุดขาดของ EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต	64
รูปที่ 4.20	ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต.....	65
รูปที่ 4.21	% การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/EVA และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต.....	65
รูปที่ 4.22	TGA เทอร์โมแกรมของ EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต.....	67
รูปที่ 4.23	DTG เทอร์โมแกรมของ EVA, NR และ NR/EVA/MMT นาโนคอมพอสิต.....	67

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของ (a) EVA (b) NR
(d) นาโนคอมพอสิตของ 100 NR/0 EVA/4 MMT,
(e) นาโนคอมพอสิตของ 90 NR/10 EVA/4 MMT,
(f) นาโนคอมพอสิตของ 80 NR/20 EVA/4 MMT,
(g) นาโนคอมพอสิตของ 70 NR/30 EVA/4 MMT,
(h) นาโนคอมพอสิตของ 60 NR/40 EVA/4 MMT,
(i) นาโนคอมพอสิตของ 50 NR/50 EVA/4 MMT..... 68
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยา 90 NR/10 EVA/4 MMT นาโนคอมพอสิต
(a) กำลังขยาย 8,000 เท่า (ภาพรวม),
(b) กำลังขยาย 50,000 เท่า (intercalated)
(c) กำลังขยาย 50,000 เท่า (exfoliated)..... 70