การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวสิรินันท์ วิริยะสุนทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITE FROM NATURAL RUBBER/ CASSAVA STARCH / MONTMORILLONITE

Miss Sirinun Wiriyasoonthorn

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

492144

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวสิรินันท์ วิริยะสุนทร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ

(ดร.สรินทร ลิ่มปนาท)

สิรินันท์ วิริยะสุนทร : การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์.(PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITE FROM NATURALRUBBER/CASSAVA STARCH/ MONTMORILLONITE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์,อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล, 114หน้า

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ โดยวิธีแบบอิมัลชัน ซึ่งถูกเตรียมโดยการผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 100/30 100/40 และ 100/50 โดยน้ำหนักแห้ง กับมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน (1 2 3 และ 4 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน) โดยในงานวิจัยนี้ใช้มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร อิมัลชันของสารผสมที่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันถูกนำไปหล่อเป็นแผ่นบนแม่แบบอะคริลิก แผ่นชิ้นงานถูกทำให้แห้งภายใต้หลอดรังสีอินฟราเรดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มชิ้นงานที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์โครงสร้าง ความต้านแรงดึง การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ และสัณฐานวิทยา ผลของ XRD แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างเป็นแบบ exfoliate ความต้านแรงดึงของชิ้นงานลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณแป้งในวัสดุนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมมอนต์มอริลโลไนต์มีผลทำให้ความต้านแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การดูดซึมน้ำของนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งและมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น และภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า เปอร์เซ็นต์การหายไปของน้ำหนักและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น ซึ่งผลของการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถยืนยันได้จากภาพถ่าย SEM

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....สิรินันท์ วิริยะสุนทร.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์.....

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....นันทนา.....

4872511023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: RUBBER / CASSAVA STARCH/ MONTMORILLONITE / NANOCOMPOSITE

SIRINUN WIRIYASOONTHORN: (PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITE FROM NATURAL RUBBER/CASSAVA STARCH / MONTMORILLONITE). THESIS ADVISOR :ASSOC. PROF. SOAWAROJ CHUAYJULJIT , THESIS COADVISOR : ASST. PROF NANTANA JIRATUMNUKUL ,Ph.D.,114 pp.

The aim of this research is to prepare biodegradable nanocomposites of natural rubber (NR)/cassava starch/montmorillonite (MMT) by emulsion process. The blend nanocomposites were prepared by mixing of natural rubber and cassava starch at dry weight ratios of 100/30, 100/40 and 100/50 and incorporated with various amount of MMT (1, 2, 3 and 4 parts per hundred of dry rubber).Modified MMT has been used in this study. The obtained homogeneous latex was casted into sheets using acrylic mold and allowed to dry under infrared lamp for 6 h. The dry sheets were then cured at 110°C for 3 h. The cured nanocomposites have been characterized for their structure, tensile properties, water absorption, biodegradability and morphology. The X-ray diffraction patterns showed that the nanocomposites formed were exfoliated. The tensile strength of the nanocomposites was remarkably decreased with the increasing amount of cassava starch. However, these value were improved with the addition of MMT. Water absorption of the nanocomposites increased as the amount of cassava starch and MMT increased. After soil burial for 6 weeks, percent weight loss and biodegradability of the nanocomposites enhanced as the amount of starch increased. The results of biodegradability can be confirmed by the SEM micrographs.

Department of Material Science
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology
Academic year 2006

Student's signature Sirinun Wiriyasoonthorn
Advisor's signature
Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านคือ รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และ ผศ.ดร.นันทนา จิรธรรมนุกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำแนะนำ แนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.อรอุษา สรวารี และดร.สรินทร ลิ่มปนาท คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ต่างๆอันมีค่าให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

1. ดร.สรินทร ลิ่มปนาท ที่ช่วยแนะนำ ให้คำปรึกษาและข้อมูลในการทำงานวิจัย
2. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์มอนต์-มอริลโลไนต์ สถานที่สำหรับเตรียมชิ้นงานและการทดสอบ
3. บริษัท ท็อปไฟลท์ จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์สารซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมตและซัลเฟอร์และ ซิงค์ออกไซด์
4. บริษัท ดีทแฮมท์ จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์สารวิงสเตย์ แอล (สารแอนติ-ออกซิเดนท์)
5. สถาบันวิจัยยาง สำหรับความอนุเคราะห์สาร Vultamol และการทดสอบ
6. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติ-พี่น้อง ผู้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆนิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ หน้า

1 บทนำ..... 1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ยางธรรมชาติ..... 3

2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ..... 3

2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ..... 4

2.1.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ..... 6

2.1.4 น้ำยางข้น (Concentrated latex)..... 7

2.1.5 ข้อดีและข้อเสียของน้ำยางข้น..... 8

2.1.6 การเตรียมสารกระจายในน้ำ (ดิสเพอร์สชัน)..... 9

2.2 แป้งมันสำปะหลัง..... 9

2.2.1 องค์ประกอบเคมีของแป้ง..... 10

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง..... 10

2.2.3 สมบัติของแป้ง..... 12

2.3 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)..... 12

2.3.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)..... 14

บทที่		หน้า
	2.3.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (organophilic clay).....	14
	2.4 นาโนคอมพอสิต (Nanocomposites).....	15
	2.4.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต.....	16
	2.4.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต.....	18
	2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	18
	2.5.1 การสลายตัวทางชีวภาพของพอลิเมอร์.....	21
	2.5.2 แนวทางการผลิตพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้....	22
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
	3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....	26
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	27
	3.3 วิธีการทดลอง.....	27
	3.3.1 การเตรียมสารกระจายในน้ำ (ดิสเพอร์ชัน) สำหรับวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ.....	27
	3.3.2 การเตรียมสารดิสเพอร์สชันมอนต์มอริลโลไนต์.....	28
	3.3.3 การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์.....	29
	3.3.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง.....	30
	3.3.5 การเตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์.....	32
	3.3.6 การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง / มอนต์มอริลโลไนต์.....	34
	3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	36
	3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD.....	36
	3.4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต.....	37

บทที่		หน้า
	3.4.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	35
	3.4.4 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....	38
	3.4.5 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	39
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
	4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทคนิค XRD.....	40
	4.1.1 โครงสร้างผลึกของยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD.....	40
	4.1.2 โครงสร้างผลึกของ แป้ง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคXRD.....	41
	4.3.2 โครงสร้างผลึกของยางธรรมชาติ/แป้ง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิคXRD.....	43
	4.2 สมบัติด้านแรงดึงของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต.....	45
	4.3 การดูดซึมน้ำ.....	49
	4.4 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	55
	4.4.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน.....	55
	4.4.2 สมบัติด้านแรงดึงที่เปลี่ยนไป.....	60
	4.4.2.1 ความต้านแรงดึง.....	60
	4.4.2.2 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%).....	66
	4.4.2.3 มอดุลัสที่ระยะยืด 300 %.....	71
	4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM.....	77
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	88

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง..... 89

ภาคผนวก..... 91

ภาคผนวก ก..... 92

ภาคผนวก ข..... 104

ภาคผนวก ค..... 108

ภาคผนวก ง..... 112

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 114

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	12
ตารางที่ 3.1	สมบัติของน้ำยางธรรมชาติข้นชนิดแอมโมเนียสูง	26
ตารางที่ 3.2	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/มอนต์มอริล-โลไนต์	29
ตารางที่ 3.3	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมสารดิสเพอร์สชั่นแป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริล-โลไนต์	31
ตารางที่ 3.4	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง	32
ตารางที่ 3.5	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์	34
ตารางที่ 4.1	สมบัติด้านความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	47
ตารางที่ 4.2	การดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติ/ แป้ง-มันสำปะหลังและยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์	53
ตารางที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสมของยาง-ธรรมชาติ/ แป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตภายหลังฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์	59
ตารางที่ 4.4	ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติ/ แป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล ไนต์นาโนคอมพอสิตภายหลังฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์	65
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสมของยาง-ธรรมชาติ/ แป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตภายหลังฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์	70

หน้า

ตาราง

ตารางที่ 4.6 มอดูลัสที่ระยะยืด 300 % ของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสมของยาง-ธรรมชาติ/ แป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตภายหลังฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 75

สารบัญภาพ

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	4
รูปที่ 2.2	น้ำยางธรรมชาติ	8
รูปที่ 2.3	โครงสร้างอะไมโลส	11
รูปที่ 2.4	โครงสร้างอะไมโลเพกติน	11
รูปที่ 2.5	โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์	14
รูปที่ 2.6	(ก) แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก (ข) ออร์แกโนเคลย์ที่ประจุเดิมถูกแทนที่ประจุบวกของสารอินทรีย์	15
รูปที่ 2.7	การกระจายตัวของเคลย์ในพอลิเมอร์	16
รูปที่ 2.8	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี solution intercalation	17
รูปที่ 2.9	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี in situ polymerization	17
รูปที่ 2.10	การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธี melt intercalation	17
รูปที่ 2.11	กลไกการย่อยสลายแป้งในพลาสติกโดยจุลินทรีย์	20
รูปที่ 2.12	การหายไปของเม็ดแป้งในพลาสติก	21
รูปที่ 3.1	เครื่องบดชนิดราง (ball mill)	28
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมสารดิสเพอร์สชันสำหรับวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ	28
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	30
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการเตรียมแป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์	31
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง	33
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการเตรียมคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์	35
รูปที่ 3.7	เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น Philip PW3710 PC-APD	36
รูปที่ 3.8	เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 5 K	37
รูปที่ 3.9	เครื่อง SEM รุ่น JEOL JSM-6480 LV	38

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 X-ray pattern ของ (a) MMT (b) NR,
(c) 100 NR/1 MMTnanocomposite,
(d) 100 NR/2 MMTnanocomposite,
(e) 100 NR/3 MMTnanocomposite,
(f) 100 NR/4 MMTnanocomposite 41

รูปที่ 4.2 X-ray pattern ของ (a) MMT,(b) starch, (c) NR,
(d) 100 NR/30 starch,
(e) 100 NR/30 starch/1 MMT nanocomposite,
(f) 100 NR/30 starch/2 MMT nanocomposite,
(g) 100 NR/30 starch/3 MMT nanocomposite,
(h) 100 NR/30 starch/4 MMT nanocomposite..... 42

รูปที่ 4.3 X-ray pattern ของ (a) MMT,(b) starch, (c) NR,
(d) 100 NR/40 starch,
(e) 100 NR/40 starch/1 MMT nanocomposite,
(f) 100 NR/40 starch/2 MMT nanocomposite,
(g) 100 NR/40 starch/3 MMT nanocomposite,
(h) 100 NR/40 starch/4 MMT nanocomposite..... 43

รูปที่ 4.4 X-ray pattern ของ (a) MMT,(b) starch, (c) NR,
(d) 100 NR/50 starch,
(e) 100 NR/50 starch/1 MMT nanocomposite,
(f) 100 NR/50 starch/2 MMT nanocomposite,
(g) 100 NR/50 starch/3 MMT nanocomposite,
(h) 100 NR/50 starch/4 MMT nanocomposite..... 44

รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต..... 45

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์-มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต	46
รูปที่ 4.7	มอดุลัสที่ระยะยืด 300 % ยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต	46
รูปที่ 4.8	การดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโน-คอมพอสิต	49
รูปที่ 4.9	การดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง	50
รูปที่ 4.10	การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/30) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (100/30/MMT)	50
รูปที่ 4.11	การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/40) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (100/40/MMT)	51
รูปที่ 4.12	การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/50) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต (100/50/MMT)	52
รูปที่ 4.13	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติ/มอนต์มอริล-โลไนต์นาโนคอมพอสิต	55
รูปที่ 4.14	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง	56
รูปที่ 4.15	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/30) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต (100/30/MMT)	56
รูปที่ 4.16	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน สำปะหลัง (100/40) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล ไนต์นาโนคอมพอสิต(100/40/MMT)	57

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.17	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/50) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต (100/50/MMT).....	58
รูปที่ 4.18	ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์...	61
รูปที่ 4.19	ความต้านแรงดึงของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.	61
รูปที่ 4.20	ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/30) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโน-คอมพอสิต (100/30/MMT)ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.....	62
รูปที่ 4.21	ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/40) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโน-คอมพอสิต (100/40/MMT)ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.....	63
รูปที่ 4.22	ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง (100/50) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโน-คอมพอสิต (100/50/MMT)ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.....	64
รูปที่ 4.23	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติ/มอนต์-มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิตที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.....	66
รูปที่ 4.24	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์.....	67

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.25 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/30) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต (100/30/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 68

รูปที่ 4.26 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/40) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต (100/40/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 68

รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/50) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต (100/50/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 69

รูปที่ 4.28 มอดุลัสที่ระยะยืด 300% ของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติ/มอนต์มอริล-โลไนต์นาโนคอมพอสิตที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 71

รูปที่ 4.29 มอดุลัสที่ระยะยืด 300%ของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 72

รูปที่ 4.30 มอดุลัสที่ระยะยืด 300% ของของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/30) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต(100/30/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 73

รูปที่ 4.31 มอดุลัสที่ระยะยืด 300% ของของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/40) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต(100/40/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6 สัปดาห์..... 73

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.32	มอดุลัสที่ระยะยืด 300% ของของพอลิเมอร์ผสมยางธรรมชาติ/แป้งมัน-สำปะหลัง (100/50) และยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโล-ไนต์นาโนคอมพอสิต(100/50/MMT) ที่เปลี่ยนไปภายหลังการฝังดินเป็นเวลาทั้งหมด 6สัปดาห์.....	74
รูปที่ 4.33	สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติ : (a) ก่อนฝังดิน และ (b) หลังฝังดิน 6 สัปดาห์.....	77
รูปที่ 4.34	สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติ/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต : (a) 100 NR/1 MMT ก่อนฝังดิน, (b) 100 NR/1 MMT หลังฝังดิน, (c) 100 NR/2 MMT ก่อนฝังดิน, (d) 100 NR/2 MMT หลังฝังดิน, (e) 100 NR/3 MMT ก่อนฝังดิน, (f) 100 NR/3 MMT หลังฝังดิน, (g) 100 NR/4 MMT ก่อนฝังดิน และ (h) 100 NR/4 MMT หลังฝังดิน.....	78
รูปที่ 4.35	สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ/แป้งมันสำปะหลัง : (a) 100 NR/30 starch ก่อนฝังดิน, (b) 100 NR/30 starch หลังฝังดิน, (c) 100 NR/40 starch ก่อนฝังดิน, (d) 100 NR/40 starch หลังฝังดิน, (e) 100 NR/50 starch ก่อนฝังดิน, (f) 100 NR/50 starch หลังฝังดิน.....	79
รูปที่ 4.36	สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติ/มันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต : (a) 100 NR/30 starch/1 MMT ก่อนฝังดิน, (b) 100 NR/30 starch/1 MMT หลังฝังดิน, (c) 100 NR/30 starch/2 MMT ก่อนฝังดิน, (d) 100 NR/30 starch/2 MMT หลังฝังดิน, (e) 100 NR/30 starch/3 MMT ก่อนฝังดิน, (f) 100 NR/30 starch/3 MMT หลังฝังดิน, (g) 100 NR/30 starch/4 MMT ก่อนฝังดิน และ (h) 100 NR/30 starch/4 MMT หลังฝังดิน.....	81

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.37 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติ/มันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต : (a) 100 NR/40 starch/1 MMT ก่อนฝังดิน. (b) 100 NR/40 starch/1 MMT หลังฝังดิน.
(c) 100 NR/40 starch/2 MMT ก่อนฝังดิน. (d) 100 NR/40 starch/2 MMT หลังฝังดิน.
(e) 100 NR/40 starch/3 MMT ก่อนฝังดิน. (f) 100 NR/40 starch/3 MMT หลังฝังดิน.
(g) 100 NR/40 starch/4 MMT ก่อนฝังดิน และ (h) 100 NR/40 starch/4 MMT หลังฝังดิน..... 83

รูปที่ 4.38 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติ/มันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต : (a) 100 NR/50 starch/1 MMT ก่อนฝังดิน. (b) 100 NR/50 starch/1 MMT หลังฝังดิน.
(c) 100 NR/50 starch/2 MMT ก่อนฝังดิน. (d) 100 NR/50 starch/2 MMT หลังฝังดิน.
(e) 100 NR/50 starch/3 MMT ก่อนฝังดิน. (f) 100 NR/50 starch/3 MMT หลังฝังดิน.
(g) 100 NR/50 starch/4 MMT ก่อนฝังดิน และ (h) 100 NR/50 starch/4 MMT หลังฝังดิน..... 85