การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวจุรีพร นันทรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITES FROM LOW DENSITY POLYETHYLENE/CASSAVA STARCH/MONTMORILLONITE

Miss Jureeporn Nantaragsa

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

492169

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวจุรีพร นันทรักษ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ
(ดร.สรินทร ลิ่มปนาท)

จุรีพร นันทรักษ์ : การเตรียมนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์. (PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITES FROM LOW DENSITY POLYETHYLENE/ CASSAVA STARCH/MONTMORILLONITE) อ.ที่ปรึกษา : รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. กาวี ศรีกูลกิจ. 102 หน้า.

จุดประสงค์ของงานงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกระบวนการผสมแบบหลอมเหลว โดยใช้อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลังเป็น 100/0 90/10 80/20 70/30 และ 60/40 มอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกดัดแปรด้วยได(ไฮโดรจิเนเทดแทลโล)ไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ถูกนำมาบดผสมกับสารผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/แป้งมันสำปะหลัง [ในปริมาณ 2 4 6 และ 8 phr] ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดแบบเพื่อศึกษาโครงสร้าง สมบัติเชิงกล พฤติกรรมทางความร้อน การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ และสัณฐานวิทยาของวัสดุนาโนคอมพอสิต ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ แสดงให้เห็นการเลื่อนพีกของระยะห่างระหว่างระนาบ (001) ไปยังค่า 2θ ที่ลดลงเพียงเล็กน้อย และพบว่าสมบัติเชิงกลของชิ้นงานลดลงอย่างมากเมื่อปริมาณแป้งในวัสดุนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้สมบัติเชิงกลเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ด้วย DSC และ TGA แสดงให้เห็นว่ามอนต์มอริลโลไนต์มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุนาโนคอมพอสิตไม่มากนัก โดยที่การดูดซึมน้ำและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งมันสำปะหลังและมอนต์มอริลโลไนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถยืนยันได้จากภาพ SEM ของพื้นผิวชิ้นงานของวัสดุนาโนคอมพอสิตภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 56 วัน

ภาควิชาวัสดุศาสตร์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872248023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: BIODEGRADABLE PLASTIC/ NANOCOMPOSITES/ LOW DENSITY POLYETHYLENE/ CASSAVA STARCH/ MONTMORILLONITE

JUREEPORN NANTARAGSA : PREPARATION OF BIODEGRADABLE NANOCOMPOSITES FROM LOW DENSITY POLYETHYLENE/CASSAVA STARCH/ MONTMORILLONITE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. KAVEE SRIKULKIJ,Ph.D. 102 pp.

The objective of this research is to prepare biodegradable low density polyethylene (LDPE)/cassava starch/montmorillonite (MMT) nanocomposites by melt mixing process. Ratio of LDPE/starch is set as 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, and 60/40. MMT modified with di(hydrogenated tallow) dimethyl ammonium chloride was mixed with LDPE/cassava starch blends at the amount of 2, 4, 6 and 8 phr using a two roll mill. The mixtures were then processed into sheet specimens by compression molding. The effects of cassava starch and MMT on structure, mechanical properties, thermal behaviors, water absorption, biodegradability and morphology of the nanocomposites were investigated. The XRD patterns of the nanocomposites showed slightly shift to smaller 2θ of the peak characteristic to d_{001} spacing. It was found that the mechanical properties of the nanocomposites remarkably decreased with the increasing amount of cassava starch, however, these properties were slightly improved with the addition of montmorillonite. The DSC and TGA showed that the montmorillonite had a slight influence on the melting temperature of LDPE and thermal stability of the nanocomposites, respectively. Water absorption and biodegradability of the nanocomposites were enhanced as the amount of cassava starch and montmorillonite were increased. These were confirmed by the SEM micrographs of the nanocomposite surfaces after soil burial for 56 days.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ เป็นเพราะได้รับการสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ วัตถุดิบ สถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1.รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.ดร.กาวี ศรีกูลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ

2.รศ.อรอุษา สรวารี, รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช และดร.สรินทร ลิมปนาท กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการเขียนวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

3.สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้สนับสนุนสถานที่ทำงานวิจัย และให้ความอนุเคราะห์มอนต์มอริลโลไนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

4.บริษัท ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในงานวิจัย

5.ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องตัดตัวอย่าง

6.เจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทดลองนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. วารสารปริทรรศน์.....3

2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethlylene, PE).....3

2.1.1 กระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....5

2.1.2 โครงสร้างและสมบัติเฉพาะตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....6

2.2 แป้ง (starch).....8

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง.....10

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง (structure of starch).....10

2.3 แร่ดินเหนียว (mineral clay).....13

2.3.1 มอนต์มอริลโลไนต์(Montmorillonite).....15

2.3.2 ออร์แกโนฟิลิกเคลย์ (Organophilic clay).....16

2.4 นาโนคอมพอสิต (Nanocomposites).....16

2.4.1 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต.....18

2.4.2 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต.....19

2.4.3 ผลิตภัณฑ์สำคัญของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต.....19

2.4.4 แนวโน้มการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต.....20

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....21

บทที่ หน้า

3. วิธีการทดลอง.....24
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....24
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....24
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....26
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....27
3.4.1 การผสมขั้นต้น.....28
3.4.2 การผสม.....28
3.4.3 การขึ้นรูป.....28
3.5 การทดสอบ.....31
3.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต
ด้วยเทคนิค XRD.....31
3.5.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....32
- เทคนิค DSC.....32
- เทคนิค TGA.....32
3.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....33
- การทดสอบความต้านแรงดึง.....33
- การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....34
3.5.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ.....36
3.5.5 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....36
3.5.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา.....37

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....38
4.1 ลักษณะชิ้นงาน.....38
4.1.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง.....38
4.1.2 นาโนคอมพอสิตของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์.....39
4.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD.....40
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....44
4.3.1 สมบัติด้านแรงดึง.....44
4.3.2 ความต้านแรงกระแทก.....46

บทที่ หน้า

4.4 การตรวจสอบสมบัติทางด้านความร้อน....48
4.4.1 การตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวด้วยเทคนิค DSC....48
4.4.2 เสถียรภาพทางความร้อน และอุณหภูมิการสลายตัว....52
4.5 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำ....54
4.6 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ....57
4.6.1 ความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนไป....57
4.6.2 สัณฐานวิทยาของพื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังฝังดิน....62
4.7 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของชิ้นงาน....65

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....67
5.1 สรุปผลการทดลอง....67
5.2 ข้อเสนอแนะ....68

รายการอ้างอิง....69

ภาคผนวก....71
ภาคผนวก ก. สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง (Starch)/ มอนต์มอริลโลไนต์(MMT)....72
ภาคผนวก ข. แสดงกราฟสมบัติทางด้านความร้อน (TGA เทอร์โมแกรม) ของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต....84
ภาคผนวก ค. แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต เป็นเวลา 1, 7, 14, 21, 28 วันตามลำดับ....91

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....102

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ....4

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด....13

ตารางที่ 3.1 สมบัติเชิงกลของ LDPE เกรด LD 1902F....25

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล และมอนต์มอริลโลไนต์....30

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างชั้นดินในวัสดุนาโนคอมพอสิต....43

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสมและในนาโนคอมพอสิต....51

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมและนาโนคอมพอสิต....53

สารบัญภาพ

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวของแก๊สเอทิลีน....3

รูปที่ 2.2 แผนภาพการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ความดันสูง...6

รูปที่ 2.3 รายละเอียดของโครงสร้างสเฟียรูไลต์....7

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลส....10

รูปที่ 2.5 การจัดตัวในรูปแบบโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส....11

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน....12

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์....15

รูปที่ 2.8 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของดินเหนียว....16

รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิดคอมพอสิต....17

รูปที่ 2.10 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยวิธี Solution intercalation....18

รูปที่ 2.11 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยวิธี *In situ* polymerization....18

รูปที่ 2.12 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตด้วยวิธี Melt intercalation....19

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง....27

รูปที่ 3.2 เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two rolls mill)....28

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดแบบ (compression molding)....29

รูปที่ 3.4 X-ray Diffraction (XRD) รุ่น Philip PW3710 PC-APD....31

รูปที่ 3.5 Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น METTLER TOLEDO DSC 822^e....32

รูปที่ 3.6 เครื่อง Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่นTGA/SDTA 851^e....33

รูปที่ 3.7 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 (type IV)....34

รูปที่ 3.8 เครื่อง Universal testing machine รุ่น LLOYD LR100K....34

รูปที่ 3.9 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256-04 (Type Izod)....35

รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทก ของ Gotech รุ่น GT-7045-MDH....35

รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น (JEOL, JSM-6480LV)....37

รูปที่ 4.1 ลักษณะชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ..38

รูปที่ 4.2 ลักษณะชิ้นงานของนาโนคอมพอสิตระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ....39

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.3 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (a) MMT เปรียบเทียบกับของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ : (b) 90/10/2, (c) 90/10/4, (d) 90/10/6 และ (e) 90/10/8.....40

รูปที่ 4.4 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (a) MMT เปรียบเทียบกับของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ : (b) 80/20/2, (c) 80/20/4, (d) 80/20/6 และ (e) 80/20/8.....41

รูปที่ 4.5 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (a) MMT เปรียบเทียบกับของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ : (b) 70/30/2, (c) 70/30/4, (d) 70/30/6 และ (e) 70/30/8.....41

รูปที่ 4.6 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (a) MMT เปรียบเทียบกับของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ : (b) 60/40/2, (c) 60/40/4, (d) 60/40/6 และ (e) 60/40/8.....42

รูปที่ 4.7 ความต้านแรงดึงของนาโนคอมพอสิตระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์ ที่อัตราส่วนต่างๆ.....44

รูปที่ 4.8 ยังส์มอดุลัสของนาโนคอมพอสิตระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ ที่อัตราส่วนต่างๆ.....45

รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของนาโนคอมพอสิตระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ.....46

รูปที่ 4.10 ความต้านแรงกระแทกของนาโนคอมพอสิตระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/ มอนต์มอริลโลไนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ.....47

รูปที่ 4.11 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....48

รูปที่ 4.12 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในนาโนคอมพอสิตที่มี LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 90/10 และใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน.....49

รูปที่ 4.13 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในนาโนคอมพอสิตที่มี LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 80/20 และใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน.....49

รูปที่ 4.14 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในนาโนคอมพอสิตที่มี LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 70/30 และใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน.....50

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.15 อุณหภูมิหลอมเหลวของ LDPE ในนาโนคอมพอสิตที่มี LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 70/30 และใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน....50
รูปที่ 4.16 การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน....54
รูปที่ 4.17 การดูดซึมน้ำของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 90/10 ที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน....55
รูปที่ 4.18 การดูดซึมน้ำของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 80/20 ที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน....55
รูปที่ 4.19 การดูดซึมน้ำของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 70/30 ที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน....56
รูปที่ 4.20 การดูดซึมน้ำของนาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วน LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 60/40 ที่ผสมมอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน....56
รูปที่ 4.21 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ ก่อนและหลังฝังดินเป็นระยะเวลา 14, 28, 42, และ 56 วัน....58
รูปที่ 4.22 ความต้านแรงดึงของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ที่มีอัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 90/10 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 14, 28, 42 และ 56 วัน....59
รูปที่ 4.23 ความต้านแรงดึงของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ที่มีอัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 80/20 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 14, 28, 42 และ 56 วัน....60
รูปที่ 4.24 ความต้านแรงดึงของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ที่มีอัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 70/30 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 14, 28, 42 และ 56 วัน....61
รูปที่ 4.25 ความต้านแรงดึงของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ที่มีอัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 80/20 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 14, 28, 42 และ 56 วัน....62
รูปที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ทั้งก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 56 วัน (กำลังขยาย 350 เท่า)...63

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.27 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ที่อัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 60/40 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน ทั้งก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 56 วัน (กำลังขยาย 350 เท่า).....64

รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม LDPE/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (กำลังขยาย 300 เท่า).....65

รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ นาโนคอมพอสิตที่อัตราส่วนของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 60/40 ที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ปริมาณต่างๆ กัน (กำลังขยาย 300 เท่า).....66