การเตรียมนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีน/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์

นางสาวสุรีรัตน์ ใช้เอกปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF POLYPROPYLENE/CASSAVA STARCH/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES

Miss Sureerat Chaiekpanya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Science and Textile Technology

Department of Material Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

502165

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีน/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์
โดย	นางสาวสุรีรัตน์ ใช้เอกปัญญา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. กนกทิพย์ บุญเกิด
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. ศุภวิน วัชรมูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. กนกทิพย์ บุญเกิด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร. ศุภวิน วัชรมูล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. พรทิพย์ แซ่เบ๊)

สุรีรัตน์ ใช้เอกปัญญา : การเตรียมนาโนคอมพอสิตพอลิโพรพิลีน/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์. (PREPARATION OF POLYPROPYLENE/CASSAVA STARCH/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด, ดร.ศุภวิน วัชรมูล, 90 หน้า.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเตรียมวัสดุนาโนคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิโพรพิลีน/แป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์ โดยเริ่มจากการดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยซอร์บิทอลในเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำแป้งมันสำปะหลังไปผสมกับมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ กัน (1, 3 และ 5 ส่วน) ร่วมกับซอร์บิทอลและฟอร์มาไมด์ด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง เพื่อเตรียมนาโนคอมพอสิตของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร พบว่า นาโนคอมพอสิตที่ใส่มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 5 ส่วน มีความต้านแรงดึงสูงที่สุด และจากเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโทแกรมและทรานส์มิสชันอิเล็กตรอนไมโครกราฟ แสดงให้เห็นว่านาโนคอมพอสิตที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบ exfoliate ต่อจากนั้นจึงนำพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 90/10 มาผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตที่ปริมาณต่างๆ กัน (10, 20 และ 30 ส่วน ต่อพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ 100 ส่วน) ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ตามด้วยการอัดแบบ โดยนาโนคอมพอสิตของพอลิโพรพิลีน/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เตรียมได้ถูกนำไปตรวจสอบสมบัติด้านความต้านแรงดึง สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซึมน้ำ และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากผลการทดลอง พบว่า สมบัติด้านความต้านแรงดึงของนาโนคอมพอสิตลดลงตามปริมาณเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรกับพอลิโพรพิลีนมีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อน จุดหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกของนาโนคอมพอสิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำและการย่อยสลายทางชีวภาพของนาโนคอมพอสิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ใส่เข้าไป

ภาควิชาวัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา ...2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4972546123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: BIODEGRADABLE PLASTICS / NANOCOMPOSITES / POLYPROPYLENE / CASSAVA STARCH

SUREERAT CHAIEKPANYA: PREPARATION OF POLYPROPYLENE/CASSAVA STARCH/MONTMORILLONITE NANOCOMPOSITES.THESIS PRINCIPAL ADVISOR: ASSOC. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR : KANOKTIP BOONKERD, Ph.D., SUPAWIN WATCHARAMUL, Ph.D. 90 pp.

This research aims to prepare biodegradable nanocomposites of polypropylene (PP)/cassava starch/montmorillonite (MMT). MMT was first modified by sorbitol using a high speed mixer at 3,000 rpm for 2 min. Cassava starch was then mixed with various amounts of modified-MMT (1, 3 and 5 phr), sorbitol and formamide on a two-roll mill to obtain thermoplastic starch (TPS)/modified-MMT nanocomposites. It was found that the nanocomposite of 5 phr modified-MMT exhibited highest tensile strength. X-ray diffractogram and transmission electron micrograph of the TPS/modified-MMT revealed that the nanocomposite formed was exfoliated. Then, PP/EBS wax at weight ratio of 90/10 was mixed with various amounts of the TPS/modified-MMT nanocomposite (10, 20 and 30 parts per hundred of PP/EBS wax) using twin screw extruder followed by compression molding. The obtained PP/TPS/modified-MMT nanocomposites were characterized for their tensile properties, morphology, thermal behaviors, water absorption and biodegradability.

The results showed that the tensile properties of the nanocomposites decreased with the higher amount of TPS/modified-MMT nanocomposite. Moreover, blending of TPS and modified-MMT with PP displayed slightly effect on thermal stability, melting point and crystalline temperature of the nanocomposites. However, water absorption and biodegradability of the nanocomposites were enhanced with the increasing amount of TPS.

Department: Materials Science..... Student's signature: Sureerat Chaiekpanya
Field of study: Applied Polymer Science and Textile Technology Principal Advisor's signature: S. Ch
Academic year: 2007..... Co-advisor's signature: Kanoktip Boonkerd
Co-advisor's signature: Supawin Watcharamul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1. รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.กนกทิพย์บุญเกิด และอาจารย์ ดร. ศุภวิน วัชรมูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำและการแก้ปัญหาต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

2. รศ. ดร. กาวี ศรีกูลกิจ และอาจารย์ ดร. พรทิพย์ แซ่เบ๊ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการเขียนวิทยานิพนธ์

3. คุณชัยวัฒน์ นรกานต์กร และ คุณวีรนุช สระแก้ว ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

4. คุณอนันต์กรานต์ อธิศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

5. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์มอนต์-มอริลโลไนต์

6. บริษัท เอชเอ็มซี โปลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเงินทุนการศึกษา

7. เจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่างๆเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทรรศน์ 3

2.1 นาโนคอมพอสิต (nanocomposites) 3

2.2 พอลิโพรพิลีน (polypropylene) 5

2.3 แป้ง (starch) 6

2.4 การผลิตน้ำตาลแอลกอฮอล์จากแป้ง 8

2.5 แร่ดิน (clay minerals) 10

2.6 ดินเบนโทไนต์ 14

2.7 แหล่งดินเบนโทไนต์ในประเทศไทย 15

2.8 มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) 16

2.9 กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุของดิน (cation Exchange Process) 18

2.10 เอทิลีนบีสสเตียราไมด์ (ethylene-bis-stearamide) 21

2.11 เทคโนโลยีพลาสติกจากแป้ง 22

2.12 การสลายตัวด้วยกระบวนการทางชีวภาพของพลาสติก 25

2.13 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ
โดยวัดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน 27

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

3. วิธีการทดลอง 30

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ 30

3.1.1 สารเคมี 30

หน้า

3.1.2 อุปกรณ์ และ เครื่องมือ 31
3.2 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง 32
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 34
3.3.1 การดัดแปรมอนต์มอริลโลไนต์ 34
3.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์และ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) 35
3.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของซอร์บิทอล มอนต์มอริลโลไนต์และ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) 36
3.3.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร นาโนคอมพอสิต 36
3.3.5 การทดสอบสมบัติด้านความต้านแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต 36
3.3.6 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) 36
3.3.7 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วย เทคนิค Transmittion electron microscopy (TEM) 39
3.3.8 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) 40
3.3.9 การเตรียมพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต 41
3.3.10 การทดสอบสมบัติด้านความต้านแรงดึงของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต 42
3.3.11 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) 44
3.3.12 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต ด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) 45

หน้า

3.3.13 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต
ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) 45
3.3.14 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) 46
3.3.15 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ 46

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 53
4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์และมอนต์มอริลโลไนต์
ดัดแปรด้วยเทคนิค XRD 53
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของซอร์บิทอล มอนต์มอริลโลไนต์และ
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร ด้วยเทคนิค FT-IR 53
4.3 สมบัติด้านความต้านแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต 55
4.4 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค XRD 56
4.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TEM 57
4.6 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA 58
4.7 สมบัติด้านความต้านแรงดึงของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต 59
4.8 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค SEM 60
4.9 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอส/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตด้วยเทคนิค TGA 63
4.10 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/
มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิตโดยใช้เทคนิค DSC 64
4.11 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ 66
4.12 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ 67

หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 71
5.1 สรุปผลการทดลอง 71
5.2 ข้อเสนอแนะ 72

รายการอ้างอิง 73

ภาคผนวก 75
ภาคผนวก ก 76
ภาคผนวก ข 79
ภาคผนวก ค 85
ภาคผนวก ง 87

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 90

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน 8

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำตาลแอลกอฮอล์ 10

ตารางที่ 2.3 แหล่งดินเบนโตไนท์ในประเทศไทย 15

ตารางที่ 3.1 สมบัติทั่วไปของพอลิโพรพิลีน (Moplen HP561R) 30

ตารางที่ 3.2 สมบัติทั่วไปของเอทิลีนบีสสเตียราไมด์ (ARMOWAX EBS SF) 31

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช นาโนคอมพอสิต 37

ตารางที่ 3.4 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตราฐาน ASTM D 638-03 (type IV) 43

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัวของ TPS และ TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 56

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของ PP/EBS และ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 62

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิก่อผลึกของPP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 64

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 2.1 การกระจายตัวของเคลย์ในพอลิเมอร์ 3
ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน 5
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลส 7
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน 7
ภาพที่ 2.5 การเติมไฮโดรเจนของกลูโคสได้เป็นซอร์บิทอล 9
ภาพที่ 2.6 การเติมไฮโดรเจนของฟรักโทสได้ซอร์บิทอลและแมนนิทอล 9
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ 16
ภาพที่ 2.8 การยึดติดกันระหว่างชั้นของดินกับประจุบวกที่อยู่ระหว่างชั้นของดิน 16
ภาพที่ 2.9 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างแคทไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นของดินกับควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออน 17
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของ organoclay 18
ภาพที่ 2.11 การแลกเปลี่ยนประจุระหว่างแคตไอออนที่อยู่ในดินกับแคตไอออนอื่นๆ 19
ภาพที่ 2.12 สูตรโมเลกุลของเอทิลีนบิสสเตียราไมด์ 21
ภาพที่ 2.13 สูตรโครงสร้างของเอทิลีนบิสสเตียราไมด์ 21
ภาพที่ 2.14 แผนภาพการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปเม็ดแป้ง 23
ภาพที่ 2.15 แผนภาพการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้แป้งในรูปแป้งเจลาติไนซ์ 24
ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของ starch graft copolymer 25
ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง 33
ภาพที่ 3.2 เครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (high speed mixer) 34
ภาพที่ 3.3 เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) ของ Bruker รุ่น AXS Model D8 Discover 35
ภาพที่ 3.4 เครื่องฟลูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ของ Thermo รุ่น 470 FT-IR 36
ภาพที่ 3.5 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ของ Lab Tech Engineering 37
ภาพที่ 3.6 เครื่องอัดแบบของ Lab Tech Engineering 38
ภาพที่ 3.7 ขนาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึง 38
ภาพที่ 3.8 เครื่อง Universal Testing Machine ของ LLOYD รุ่น LR100K 39
ภาพที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุ (transmittion electron microscope) ของ JEOL รุ่น JSM 2010 40

หน้า

ภาพที่ 3.10 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลเซอร์ (thermo gravimetric analyzer, TGA) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851 41
ภาพที่ 3.11 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (twin screw extruder) รุ่น Thermo prism 42
ภาพที่ 3.12 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตราฐาน ASTM D 638-03 (type IV) 43
ภาพที่ 3.12 เครื่อง Universal Testing Machine ของ HOUNSFILED รุ่น H10km 44
ภาพที่ 3.13 กล้องจุลทรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องทะลุ (transmittion electron microscope) ของ JEOL รุ่น JSM 2010 44
ภาพที่ 3.14 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ของ Perkin Elmer 45
ภาพที่ 3.15 แผนภาพแสดงแบ่งชุดการทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพ 50
ภาพที่ 3.16 ชุดทดสอบการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น 52
ภาพที่ 4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ
a) มอนต์มอริลโลไนต์ (MMT),
b) มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 53
ภาพที่ 4.2 FT-IR สเปคตรัมของ
a) ดี-ซอร์บิทอล (D-sorbitol),
b) มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite, MMT) และ
c) มอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร (modified-MMT) 54
ภาพที่ 4.3 ความต้านแรงดึงและ % การยืดตัว ณ จุดขาดของ TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 55
ภาพที่ 4.4 XRD pattern ของ (a) MMT, (b) modified-MMT และ (c) TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 56
ภาพที่ 4.5 TEM image ของ TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 57
ภาพที่ 4.6 TGA เทอร์โมแกรมของ TPS และ TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 58
ภาพที่ 4.7 ความต้านแรงดึงและ % การยืดตัวของ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 60
ภาพที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากการผสม PP/EBS ในอัตราส่วน 90/10 การวิเคราะห์โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/3 ส่วน 61
ภาพที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของPP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต ที่ผสม TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิตปริมาณ 10 phr 61
ภาพที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของPP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต ที่ผสม TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิตปริมาณ 20 phr 62

หน้า

ภาพที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของPP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต ที่ผสม TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิตปริมาณ 30 phr 62
ภาพที่ 4.12 TGA เทอร์โมแกรมของ PP/EBS และ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 63
ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิหลอมเหลวของ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 65
ภาพที่ 4.14 อุณหภูมิก่อผลึกของ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 65
ภาพที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ PP/EBS และ PP/EBS/TPS/modified-MMT นาโนคอมพอสิต 66
ภาพที่ 4.16 การวัดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/5ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร นาโนคอมพอสิต 10 ส่วน ที่อุณหภูมิ 40°C โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินบริเวณกองขยะ 68
ภาพที่ 4.17 การวัดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/5ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต ที่อุณหภูมิ 30°C โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินบริเวณกองขยะ 69
ภาพที่ 4.18 การวัดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/5ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต ที่อุณหภูมิ 40°C โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินบริเวณใต้ต้นไม้ 69
ภาพที่ 4.19 การวัดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นของพอลิโพรพิลีน/อีบีเอสแว็กซ์ ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/5ส่วนมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรนาโนคอมพอสิต ที่อุณหภูมิ 30°C โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินบริเวณใต้ต้นไม้ 70