พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี/อีบีเอสแว็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง

นายธนพัต ชัยปลาทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1870-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/ EBS WAX /CASSAVA STARCH

Mr. Tanapat Chaiplatong

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 974-14-1870-1

481741

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี/อีบีเอสแว็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง
โดย	นายธนพัต ชัยปลาทอง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

ธนพัต ชัยปลาทอง : พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี/อีบีเอสแว็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง. (BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/EBS WAX/ CASSAVA STARCH) อ. ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์, 107 หน้า. ISBN 974-14-1870-1.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี อีบีเอสแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนผสมของแอลดีพีอี/อีบีเอสแว็กซ์เป็น 100/0 90/10 80/20 70/30 60/40 และ 50/50 และปริมาณแป้งมันสำปะหลังในแต่ละส่วนผสมเป็น 0 33 50 และ 100 ส่วนต่อแอลดีพีอี 100 ส่วน (phr) จากนั้น ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอัดรีดไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดแบบ จากการศึกษาผลของอีบีเอสแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติเชิงกล พฤติกรรมทางความร้อน สัณฐานวิทยา การดูดซึมน้ำ และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมพบว่าการเติมอีบีเอสแว็กซ์และแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้ความแข็งตึงของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ความต้านแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาดและความต้านแรงกระแทกลดลง เมื่อปริมาณอีบีเอสแว็กซ์และแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น จากการทดสอบความต้านแรงดัดโค้งพบว่า ความต้านแรงดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอีบีเอสแว็กซ์เพิ่มขึ้น แต่กลับลดลงเมื่อใส่อีบีเอสแว็กซ์เพิ่มเป็น 50% นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นทดสอบที่เตรียมจากแป้ง 30 phr มีความต้านแรงดัดโค้งสูงกว่าที่ใส่แป้ง 50 และ 100 phr จาก DSC และ TGA เทอร์โมแกรม แสดงให้เห็นว่า การเติมอีบีเอสแว็กซ์และแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อพฤติกรรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมน้อยมาก แต่ส่งผลให้การดูดซึมน้ำและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น

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

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772315323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: BIODEGRADABLE PLASTIC / POLYMER BLEND / LDPE / EBS WAX / CASSAVA STARCH

TANAPAT CHAIPLATONG : BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/ EBS WAX /CASSAVA STARCH : THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D. 107 pp. ISBN 974-14-1870-1.

The aim of this research was to prepare biodegradable polymer blends from LDPE, EBS wax and cassava starch. Various ratios of LDPE/EBS in the blends were 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 and 50/50. Each blend was mixed with cassava starch at the amount of 0, 33, 50 and 100 parts per hundred of LDPE (phr). All the components were homogenized by twin screw extruder. Pelletized LDPE/EBS/starch extrudates were then formed into test specimens by injection molding machine. The effects of EBS wax and cassava starch on the mechanical properties, thermal behaviors, morphology, water absorption and biodegradability of the blends were investigated. The results revealed that adding EBS wax and cassava starch substantially improved the stiffness of the polymer blends. However, the tensile strength, elongation at break and impact strength of the specimens decreased with increasing EBS wax and starch portions. It was observed that flexural strength increased with increasing EBS wax content, but decreased as the amount of EBS wax was up to 50%. It was also found that the specimens prepared from 30 phr of starch exhibited higher flexural strength than those prepared from 50 and 100 phr. While adding EBS wax and cassava starch insignificantly affected thermal behaviors, it significant improved water absorption and biodegradation of polymer blends.

Department Materials Science .....Student's signature.....Tanapat.....
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....
Academic year 2005.....Co-advisor's signature.....Vimolvan Pimpan.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้รับความช่วยเหลือแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1. รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและการแก้ปัญหาต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

2. รศ.ไพพรรณ สันติสุข รศ.อรอุษา สรวารี และ ผศ.ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการเขียนวิทยานิพนธ์

3. คุณชัยวัฒน์ นรกานต์กร ที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย

4. บริษัท ไทยโพลิเอทธีลีน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

5. บริษัท เคมมิน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อีบีเอสแว็กซ์

6. บริษัท เมทเล่อ-โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบสมบัติทางความร้อน

7. บริษัท ฟราบิเนท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบด้านสัณฐานวิทยา

8. เจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฏ

บทที่

1 บทนำ.....1

2 วารสารปริทรรศน์.....3
2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blends).....3
2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene).....3
2.2.1 กระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....5
2.2.2 โครงสร้างและสมบัติเฉพาะตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....6
2.3 แป้ง (starch).....8
2.3.1 อะไมโลส (Amylose).....9
2.3.2 อะไมโลเพกติน (Amylopectin).....9
2.4 เอทิลีนบิสสเตียราไมด์,อีบีเอสแว็กซ์ (Ethylene *bis*- stearamide, EBS WAX).....11
2.5 การสลายตัวของพลาสติก.....12
2.5.1 ลักษณะการสลายตัวของพลาสติก.....12
2.5.2 การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก.....12
2.5.3 แนวทางการผลิตพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้.....14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....16

3 วิธีการทดลอง.....18
3.1 สารเคมี อุปกรณ์ และ เครื่องมือ.....18

บทที่ หน้า

3.1.1 สารเคมี....18
3.1.2 อุปกรณ์ และ เครื่องมือ....19
3.2 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง....20
3.3 ขั้นตอนการทดลอง....21
3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม....21
3.3.2 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม....23
3.3.3 การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง....23
3.3.4 การทดสอบความต้านแรงดัดโค้ง....25
3.3.5 การทดสอบความต้านแรงกระแทก....28
3.3.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน....27
3.3.6.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค DSC....27
3.3.6.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิค TGA....27
3.3.7 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา....28
3.3.8 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption)....29
3.3.9 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ....29

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....30
4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม....30
4.2 ผลทดสอบสมบัติเชิงกล....31
4.2.1 สมบัติด้านแรงดึง....31
4.2.2 สมบัติด้านความต้านแรงดัดโค้ง....34
4.2.3 สมบัติด้านความต้านแรงกระแทก....35
4.3 ผลทบสอบสมบัติด้านความร้อน....36
4.3.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม....36
4.3.2 ปริมาณผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิเมอร์ผสม....41
4.3.3 เสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม....41
4.4 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม....49
4.5 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)....54
4.6 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ....56
4.6.1 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นทดสอบก่อนและหลังฝังดิน....56

บทที่ หน้า

4.6.2 ความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบหลังฝังดิน....58
4.6.3 สัณฐานวิทยาของพื้นผิวของชิ้นทดสอบก่อนและหลังฝังดิน....59

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....63
5.1 สรุปผลการทดลอง....63
5.2 ข้อเสนอแนะ....64

รายการอ้างอิง....65

ภาคผนวก....67
ภาคผนวก ก....68
ภาคผนวก ข....89
ภาคผนวก ค....98
ภาคผนวก ง....101
ภาคผนวก จ....104

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....107

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของพอลิเอทิลีนตามความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM.....4

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....10

ตารางที่ 3.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด 1450 J.....18

ตารางที่ 3.2 สมบัติทั่วไปของเอทิลีนบิสเสตียราไมด์ (ARMOWAX EBS SF).....19

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ อีบีเอสแว็กซ์
และแป้งมันสำปะหลัง.....22

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE/แป้งมันสำปะหลัง
ที่อัตราส่วนต่างๆ.....37

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม
LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....39

ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม
LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10 ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ กัน.....40

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสารแต่ละชนิด.....43

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....45

ตารางที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/ starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....47

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....49

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโมเลกุลของพอลิเอทิลีน....4

รูปที่ 2.2 แผนภาพการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ความดันสูง....6

รูปที่ 2.3 รายละเอียดโครงสร้างของสเฟียรูไลต์....7

รูปที่ 2.4 โครงสร้างอะไมโลส....9

รูปที่ 2.5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน....10

รูปที่ 2.6 สูตรโมเลกุลของเอทิลีนบิสสเตียราไมด์....11

รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเอทิลีนบิสสเตียราไมด์....11

รูปที่ 2.8 กลไกการย่อยสลายแป้งในพลาสติกโดยจุลินทรีย์....15

รูปที่ 2.9 การหายไปของเม็ดแป้งในพลาสติก....15

รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง....20

รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่รุ่น Thermo prism....21

รูปที่ 3.3 เครื่องฉีดของ Battenfield Austria รุ่น BA 250/50CDC....23

รูปที่ 3.4 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638- 03 (type I) 24

รูปที่ 3.5 เครื่อง Universal Testing Machine ของ LLOYD รุ่น LR100K....24

รูปที่ 3.6 ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 790M-82....25

รูปที่ 3.7 เครื่อง Universal Testing Machine ของ LLOYD รุ่น 500....25

รูปที่ 3.8 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256-05....26

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทกของ Gotech รุ่น GT-7045MD....26

รูปที่ 3.10 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ของ Mettler Toledo รุ่น DSC822e....27

รูปที่ 3.11 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนาไลเซอร์ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851....28

รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ JEOL รุ่น JSM-5900LV....28

รูปที่ 4.1 ชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด....30

รูปที่ 4.2 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ....31

รูปที่ 4.3 %การยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ....32

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.4 ค่ายังส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....33
รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.6 ค่าระยะดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.7 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....36
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ.....36
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ.....37
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....38
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....38
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10
ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ.....39
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10
ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ.....40
รูปที่ 4.14 ปริมาณผลึกของของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch
ที่อัตราส่วนต่างๆ.....41
รูปที่ 4.15 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE.....42
รูปที่ 4.16 TGA เทอร์โมแกรมของ EBS wax.....42
รูปที่ 4.17 TGA เทอร์โมแกรมของ starch.....43
รูปที่ 4.18 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....44
รูปที่ 4.19 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....46
รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....48
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10.....49
รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 80/20.....50
รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 70/30.....50
รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 50/50.....50
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10
และผสมแป้ง 33 phr.....51
รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10
และผสมแป้ง 50 phr.....51

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.4 ค่ายังส์มอดุสัสของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....33
รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.6 ค่าระยะดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.7 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....36
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ.....36
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิการก่อผลึกของ LDPE ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ.....37
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....38
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....38
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10
ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ.....39
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิการก่อผลึกของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS อัตราส่วน 90/10
ที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ.....40
รูปที่ 4.14 ปริมาณผลึกของของ LDPE ในพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch
ที่อัตราส่วนต่างๆ.....41
รูปที่ 4.15 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE.....42
รูปที่ 4.16 TGA เทอร์โมแกรมของ EBS.....42
รูปที่ 4.17 TGA เทอร์โมแกรมของ starch.....43
รูปที่ 4.18 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS ที่อัตราส่วนต่างๆ.....44
รูปที่ 4.19 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....46
รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของ LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ.....48
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10.....49
รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 80/20.....50
รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 70/30.....50
รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 50/50.....50
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10
และผสมแป้ง 33 phr.....51
รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10
และผสมแป้ง 50 phr.....51

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วน LDPE/EBS เป็น 90/10
และผสมแป้ง 100 phr.....52
รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่ใส่แป้ง 33 phr :
(ก) อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 100/0
(ข) อัตราส่วนของ LDPE/EBS เป็น 90/10.....52
รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก
(ก) LDPE/EBS เป็น 100/0 ใส่แป้ง 33 phr,
(ข) LDPE/EBS เป็น 90/10 ใส่แป้ง 33 phr,
(ค) LDPE/EBS เป็น 100/0 ใส่แป้ง 50 phr
(ง) LDPE/EBS เป็น 90/10 ใส่แป้ง 50 phr.....53
รูปที่ 4.30 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ LDPE ผสมแป้งในปริมาณ 0, 33, และ 50 phr.....54
รูปที่ 4.31 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/EBS
อัตราส่วน 90/10 ที่ผสมแป้ง 0, 33, และ 50 phr.....55
รูปที่ 4.32 ชิ้นทดสอบ LDPE : (ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....56
รูปที่ 4.33 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10 :
(ก) ก่อนฝังดินและ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....56
รูปที่ 4.34 ชิ้นทดสอบ LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลัง 33 phr :
(ก) ก่อนฝังดินและ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....56
รูปที่ 4.35 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10
และผสมแป้งมันสำปะหลัง 33 phr :
(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....57
รูปที่ 4.36 ชิ้นทดสอบ LDPE ผสมแป้งมันสำปะหลัง 50 phr :
(ก) ก่อนฝังดินและ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....57
รูปที่ 4.37 ชิ้นทดสอบที่เตรียมจาก LDPE/EBS เท่ากับ 90/10
ผสมแป้งมันสำปะหลัง 50 phr :
(ก) ก่อนฝังดิน และ (ข) หลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....57
รูปที่ 4.38 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE /starch ที่อัตราส่วนต่างๆ
ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์.....58

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.39 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/EBS/starch ที่อัตราส่วนต่างๆ ก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 3 และ 6 สัปดาห์.....59
รูปที่ 4.40 ลักษณะพื้นผิวชิ้นทดสอบของพอลิเมอร์ผสมทั้งก่อนและหลังฝังดินที่ ตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 350 เท่า.....61