ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/PE WAX/CASSAVA STARCH

Mr. Watcharapat Surai

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 974-14-3268-2

481864

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี/พีอีแว็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง
โดย	นาย วัชรพัฐ สุหร่าย
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. สิริรัตน์ จารุจินดา)

นาย วัชรพัฐ สุหร่าย : พอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแอลดีพีอี/พีอีแว็กซ์/แป้งมันสำปะหลัง. (BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/PE WAX/CASSAVA STARCH) อ.ที่ปรึกษา : รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์, 93 หน้า. ISBN 974-14-3268-2.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพจากแอลดีพีอี พีอีแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้อัตราส่วนของแอลดีพีอี/พีอีแว็กซ์เป็น 100/0 80/20 และ 50/50 และปริมาณแป้งมันสำปะหลังแต่ละส่วนผสมเป็น 0 20 50 80 และ100 ส่วนต่อพอลิเมอร์ผสม 100 ส่วน (phr) จากนั้นทำส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ แล้วนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอัดรีดไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดแบบ จากการศึกษาผลของพีอีแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติเชิงกล พฤติกรรมทางความร้อน สัณฐานวิทยา การดูดซึมความชื้น และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมพบว่า การเติมพีอีแว็กซ์มีผลทำให้ค่าความด้านแรงดึงและความต้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัว ณ จุดขาด และความด้านแรงกระแทกลดลง เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น พบว่าทำให้มีค่าความแข็งตึงของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ค่าความต้านแรงดึง ความต้านแรงดัดโค้ง การยืดตัว ณ จุดขาด และความต้านแรงกระแทกลดลงมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าแอลดีพีอี/พีอีแว็กซ์ในอัตราส่วน 50/50 มีค่าความต้านแรงดึงและความต้านแรงดัดโค้งสูงกว่าอัตราส่วนอื่น จาก DSC เทอร์โทแกรม แสดงให้เห็นว่า การเติมพีอีแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อพฤติกรรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมน้อยมาก แต่ส่งผลให้การดูดซึมความชื้น และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772461223 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: BIODEGRADABLE PLASTIC/POLYMER BLEND/LDPE/PE WAX/CASSAVA STARCH

WATCHARAPAT SURAI : BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM LDPE/PE WAX/CASSAVA STARCH : THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. VIMOLVAN PIMPAN, Ph.D, 93 pp. ISBN 974-14-3268-2.

The aim of this research was to prepare biodegradable polymer blends from LDPE, PE wax and cassava starch. Various ratios of LDPE/PE wax in the blends were 100/0, 80/20 and 50/50. Each blend was mixed with cassava starch at the amount of 0, 20, 50, 80 and 100 parts per hundred of the blend. All the components were homogenized by twin screw extruder. Pelletized LDPE/PE wax/starch extrudates were then formed into test specimens by injection molding machine. The effects of PE wax and cassava starch on the mechanical properties, thermal behaviors, morphology, moisture absorption, and biodegradability of blends were investigated. The results revealed that adding PE wax substantially improved the tensile strength and bending strength while elongation at break and impact strength decreased. Increasing cassava starch substantially improved the stiffness but decreased tensile strength, bending strength, elongation at break, and impact strength. It was found that polymer blend prepared from LDPE/PE wax at the ratio of 50/50 exhibited tensile strength and bending strength than those prepared at other ratio. While adding PE wax and cassava starch insignificantly affected themal behaviors, it significantly improved water absorption and biodegradation of polymer blends.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณทุกท่านและทุกหน่วยงานดังรายนามต่อไปนี้

1. รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ. ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ทั้งคำแนะนำและแนวทางการแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2. รศ. ไพพรรณ สันติสุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. อรอุษา สรวารี และ ผศ. ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

3. คุณชัยวัฒน์ นรกานต์กร ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการติดต่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือต่างๆ

4. บริษัทไทวา ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลัง

5. บริษัท ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพีอีแว็กซ์

6. บริษัท เมทเลอร์ โทเลโด (ประเทศไทย) จำกัด และ บริษัท ฟาบริเนท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของชิ้นทดสอบ

7. วิทยาลัยปิโตเลียมและปิโตรเคมี และศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์สมบัติของชิ้นทดสอบ

8. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการขึ้นรูป

9. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นแหล่งศึกษา และให้ความรู้ ตลอดจนเป็นสถานที่ทำการทดลองวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ และขอขอบคุณเพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ซ

สารบัญรูป.....ญ

บทที่1 บทนำ.....1

บทที่2 วารสารปริทัศน์.....3

2.1 พอลิเอทิลีน.....3

2.2 แป้งมันสำปะหลัง.....6

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง.....7

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง.....7

2.3 พีอี แว็กซ์.....10

2.4 พลาสติกที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ.....12

2.5 พอลิเมอร์ผสม.....14

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....16

บทที่3 วิธีการทดลอง.....19

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....19

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....19

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....19

3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....20

3.4.1 การผสมขั้นต้น.....21

3.4.2 การผสม.....21

3.4.3 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม.....22

3.4.4 การทดสอบสมบัติความต้านแรงดึง.....23

3.4.5 การทดสอบสมบัติความต้านแรงดัดโค้ง.....24

3.4.6 การทดสอบความต้านแรงกระแทก.....25

หน้า

3.4.7 การทดสอบการดูดซึมความชื้น.....27
3.4.8 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....27
3.4.9 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นทดสอบด้วยเทคนิค SEM.....28
3.4.10 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....29

บทที่4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....30
4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม.....30
4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....31
4.2.1 สมบัติด้านแรงดึง.....31
4.2.2 สมบัติด้านแรงดัดโค้ง.....33
4.2.3 ความต้านทานแรงกระแทก.....35
4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณผลึกของพอลิเมอร์ผสม.....36
4.4 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....37
4.5 การดูดซึมความชื้น.....40
4.6 ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....41
4.6.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง.....41
4.6.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....42
4.6.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....46

บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....49

รายการอ้างอิง.....50
ภาคผนวก.....52
ภาคผนวก ก.....53
ภาคผนวก ข.....72
ภาคผนวก ค.....78
ภาคผนวก ง.....81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ....4
ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด....10
ตารางที่ 2.3 ความทนต่อการย่อยสลายต่อจุลินทรีย์ของพลาสติกแต่ละชนิด....12
ตารางที่ 2.4 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมชนิดต่างๆ....15
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พีอีแว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลัง..22

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัวของเอทิลีนมอนอเมอร์....3
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิต LDPE....5
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของอะไมโลส....7
รูปที่2.4 การจัดตัวในรูปโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส....8
รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพกติน....9
รูปที่2.6 ขั้นตอนการผลิตพีอีแว็กซ์....11
รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน....16
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง....20
รูปที่ 3.2 ภาชนะและอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ใช้ผสมพีอีแว็กซ์และแป้งมันสำปะหลังขั้นต้น....21
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่....21
รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดพลาสติก....23
รูปที่ 3.5 ขนาดชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638-82a (type I)....23
รูปที่ 3.6 เครื่อง Universal Test Machine ของ LLOYD รุ่นLR100K....24
รูปที่ 3.7 ขนาดชิ้นทดสอบความต้านแรงดัดโค้งตามมาตรฐาน ASTM D 790-81....25
รูปที่ 3.8 เครื่อง Universal Testing Machine ของ LLOYD รุ่น 500....25
รูปที่ 3.9 ขนาดชิ้นทดสอบความต้านแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256-04 (type Izod)....26
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทกของ Gotech รุ่น GT-7045-MDH....26
รูปที่3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของ JEOL รุ่น JSM-5900LV....28
รูปที่ 3.12 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ของ METTLER TOLEDO รุ่น DSC822e....29
รูปที่ 4.1 ลักษณะชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(LDPE) พีอี แว็กซ์ และแป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆกัน....30
รูปที่ 4.2 ความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ....31
รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/ แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ....32
รูปที่ 4.4 ยังส์มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ....33

หน้า

รูปที่ 4.5 ความต้านแรงดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.6 ระยะดัดโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....34
รูปที่ 4.7 ความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....35
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆ.....36
รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax ที่อัตราส่วน (a)100/0, (b) 80/20 และ (c) 50/50.....37-38
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 100/0/100 39
รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 100/0/50.....39
รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 80/20/100.....39
รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 80/20/50 39
รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 50/50/100.....39
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี อัตราส่วน LDPE/PE wax/starch : 50/50/50.....39
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมความชื้นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมัน สำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆกัน.....40
รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆกัน ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 3 สัปดาห์.....41
รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วนต่างๆกัน ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....42
รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/starch : 50/50/100 ภายหลังฝังดิน 3 สัปดาห์ 43
รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/starch : 50/50/100 ภายหลังฝังดิน 6 สัปดาห์.....43
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 80/20/0 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....43
รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 80/20/50 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....44

หน้า

รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 80/20/100 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....44
รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 50/50/0 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....45
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 80/20/0 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....45
รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของชิ้นทดสอบที่มี LDPE/PE wax/แป้งมันสำปะหลัง เป็น 100/0/0 ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....45
รูปที่ 4.27 ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/PE wax ที่อัตราส่วน 50/50 เปรียบเทียบก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....46
รูปที่ 4.28 ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/PE wax ที่อัตราส่วน 80/20 เปรียบเทียบก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....47
รูปที่ 4.29 ความต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม LDPE/PE wax ที่อัตราส่วน 100/0 เปรียบเทียบก่อนและหลังฝังดินเป็นเวลา 6 สัปดาห์.....47