สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและแป้งมันสำปะหลังที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอเป็นสารช่วยผสม

นายจิรวิทย์ ชัยเรืองรัชต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICAL PROPERTIES OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) AND CASSAVA STARCH BLEND USING POLYETHYLENEGLYCOLATED BISPHENOL A AS COMPATIBILIZER

Mr. Jirawit Chairuangrat

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500682

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและแป้งมันสำปะหลังที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอเป็นสารช่วยผสม
โดย	นายจิรวิทย์ ชัยเรืองรัชต์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกูลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกูลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อาจองค์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มัณฑนา โอภาประกาสิต)

จิรวิทย์ ชัยเรืองรัชต์ : สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและแป้งมันสำปะหลังที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอเป็นสารช่วยผสม (PHYSICAL PROPERTIES OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) AND CASSAVA STARCH BLEND USING POLYETHYLENEGLYCOLATED BISPHENOL A AS COMPATIBILIZER)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.กาวี ศรีกูลกิจ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรอุษา สรวารี, 93 หน้า.

การผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตกับแป้งมันสำปะหลัง สามารถเตรียมโดยวิธีผสมแบบหลอมเหลวโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการอัดแบบ เพื่อที่จะทำให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิดที่มีสมบัติต่างกัน คือพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำกับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ จึงได้มีการเคลือบสารช่วยผสม (พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ) บนผงเพตและนำไปอบผึกที่อุณหภูมิ 160 °C เพื่อทำให้ผิวของเพตมีสมบัติชอบน้ำ แล้วจึงทำการผสมผงเพตที่มีความชอบน้ำด้วยสารละลายแป้งซึ่งอยู่ในสภาวะเจล หลังจากนั้นนำของผสมที่ได้มาทำให้แห้งเองในบรรยากาศเปิด อัตราส่วนของเพตต่อแป้งมันสำปะหลังที่ใช้มีสัดส่วน 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 ได้ถูกเตรียมในการทดลองนี้ หลังจากนั้นเพตที่เคลือบด้วยแป้งได้ถูกผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะถูกนำมาผสมกับพลาสติไซเซอร์ (ไดออกทิล เทเรฟทาเลต) และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการอัดแบบ สมบัติทางกายภาพต่างๆ ซึ่งได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ จะถูกนำมาประเมิน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความต้านแรงกระแทกและความต้านแรงดึงต่ำลงเมื่อเทียบกับเพตบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่เพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีนไกลโคเลต บิสฟีนอลเอที่เติมเข้าไป ผลคือสามารถปรับปรุงความต้านแรงกระแทกและความต้านแรงดึงให้ดีขึ้นได้ ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสมจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมของแป้งที่ใส่เข้าไป

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872580323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: PET/STARCH BLEND, POLYETHYLENEGLYCOLATED BISPHENOL A COMPATIBILIZER, PHYSICAL PROPERTIES

JIRAWIT CHAIRUANGRAT : PHYSICAL PROPERTIES OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) AND CASSAVA STARCH BLEND USING POLYETHYLENE GLYCOLATED BISPHENOL A AS COMPATIBILIZER . THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, THESIS COADVISOR: ASST.PROF.ONUSA SARAVARI, 93 pp.

Polyethylene terephthalate / starch blend was prepared by melt blending using twin screw extruder and then compressed into dog bone shape. In order to obtain the miscibility of two different polymers, the hydrophilic / hydrophobic compatibilizer, polyethylene glycolated bisphenol A was treated onto PET powder and heat fixed at 160 °C to render PET surface hydrophilic. Then, the obtained hydrophilic PET powder was mixed with gelatinized starch solution. After allowing the mixture to freely dry in open air, the starch coated PET powder was achieved. The varying PET to starch ratios from 90 : 10, 80 : 20 and 70 : 30 were prepared in this study. After that, the starch coated PET powder was melt blended using twin screw extruder. The blend was mixed with a plasticizer (dioctyl terephthalate) and compressed into dog bone shape. Physical properties including mechanical properties, thermal properties, surface Morphology, water absorptivity and biodegradability were evaluated. The results showed that polymer blends exhibited lower impact strength and tensile strength when compared with virgin PET. However, when compared between polymer blends an increase in the percent polyethylene glycolated bisphenol A resulted in improved impact and tensile properties due to its compatibilizing effect. Finally, Water absorptibility and biodegradability of the blends was found higher with an increase in starch content.

Department:Materials Science.....Student's signature.....
Field of study:Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....
Academic year :2007.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์โดยได้ด้วยความกรุณาของท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน คือ รศ.ดร.กาวี ศรีกูลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ รศ.อรอุษา สรวารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง รศ.ดร. ดวงดาว อาจองค์ และ อาจารย์.ดร. มัณฑนา โอภาประกาสิต คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชา วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี และการทดสอบ ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัทไทยพอลิเอสเทอร์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต
2. บริษัทไทยนามพลาสติก ให้ความอนุเคราะห์ Dioctyl terephthalate
3. บริษัทแม็กซ์ดีวิลอบเมนท์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ Polyethyleneglycolated bisphenol A
4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรทุกท่าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ผู้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและความปรารถนาดีแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 3

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์ 3

2.2 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [Poly(ethylene terephthalate)] 6

2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้งาน..... 7

2.3 แป้ง (Starch)..... 8

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง..... 9

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

2.4 พอลิเมอร์ผสม (Cation Exchange Process)..... 13

2.4.1 กลไกความเข้ากันได้..... 16

2.4.2 วิธีทำให้เข้ากันได้..... 16

2.4.3 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม..... 20

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 22

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 25

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี..... 25

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมผงพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ถูกดัดแปรผิวแล้วเคลือบด้วยแป้ง..... 25

หน้า

3.3 เครื่องมือเตรียมพอลิเมอร์ผสมและเครื่องมือขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ..... 26
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 26
3.5 ขั้นตอนการทดลอง..... 27
3.6 วิธีการทดลอง..... 28
3.7 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ..... 32
3.7.1 การวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR)..... 32
3.7.2 การทดสอบความทนแรงกระแทก (impact strength)..... 32
3.7.3 การทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile strength)..... 34
3.7.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมทรี (DSC)..... 36
3.7.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเม-ทริกแอนนาลิซิส (TGA)..... 36
3.7.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ..... 37
3.7.7 การทดสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง ด้วย Optical Microscope หลังผ่านการแช่กรด..... 38
3.7.8 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม..... 38

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 39
4.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม..... 39
4.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพตและแป้งมันสำปะหลัง..... 40
4.1.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง ก่อนและหลังขึ้นรูปจากเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ด้วยเทคนิค SEM..... 43
4.1.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปด้วย compression molding..... 45
4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล..... 46
4.2.1 สมบัติด้านแรงดึง..... 46
4.2.2 ความต้านแรงกระแทก..... 47

หน้า

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR..... 48

4.4 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน..... 51

4.4.1 การตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวด้วยเทคนิค DSC..... 51

4.4.2 การตรวจสอบเสถียรภาพทางความร้อน และอุณหภูมิการสลายตัวด้วยเทคนิค TGA..... 53

4.5 การตรวจสอบการดูดซึมน้ำ..... 56

4.6 การทดสอบลักษณะชิ้นงานเมื่อผ่านการแช่กรด..... 58

4.7 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ผสม..... 60

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 65

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 65

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 66

รายการอ้างอิง..... 67

ภาคผนวก..... 70

ภาคผนวก ก..... 71

ภาคผนวก ข..... 75

ภาคผนวก ค..... 85

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 94

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตพลาสติก.....	6
ตารางที่ 2.2	ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด.....	13
ตารางที่ 2.3	การเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง.....	14
ตารางที่ 2.4	การเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง.....	15
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนของสารต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	30
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงภาพการเคลือบผิวเพตด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังสูตรต่างๆ...	39
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม.....	41
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงรูปและลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่.....	42
ตารางที่ 4.4	ตำแหน่งของพีกสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของ เพต บริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง.....	49
ตารางที่ 4.5	อุณหภูมิหลอมเหลวของ PET ในพอลิเมอร์ผสม.....	53
ตารางที่ 4.6	อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังในพอลิเมอร์ผสม.....	55
ตารางที่ 4.7	ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม	56

สารบัญภาพ

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างทางเคมีของเพต	7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของอะไมโลส	10
รูปที่ 2.4	การจัดตัวในรูปแบบโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส	11
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของอะไมโลเพกติน	12
รูปที่ 2.6	การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน	15
รูปที่ 2.7	แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดงเป็น LCST	17
รูปที่ 2.8	แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดงเป็น UCST	18
รูปที่ 2.9	กลไกของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด	19
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม	21
รูปที่ 3.1	แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง	27
รูปที่ 3.2	เครื่องบดละเอียด	28
รูปที่ 3.3	การผสมเพตและแป้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่	30
รูปที่ 3.4	เครื่องอัดเข้าแบบ (Compression molding) ยี่ห้อ Lab tech engineering รุ่น LP-S-50	31
รูปที่ 3.5	เครื่องตัดชิ้นงาน	31
รูปที่ 3.6	เครื่อง FT-IR Spectrometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum One	32
รูปที่ 3.7	เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก รุ่น GT-7045-MDH	33
รูปที่ 3.8	ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256 (type Izod)	33
รูปที่ 3.9	เครื่องบากชิ้นงาน	34
รูปที่ 3.10	เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD LR 100K	35
รูปที่ 3.11	ขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638-03 (type IV)	35
รูปที่ 3.12	เครื่อง DSC ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC822^e	36
รูปที่ 3.13	เครื่อง TGA ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA 851^e	37
รูปที่ 3.14	กล้องจุลทรรศน์ออปติคอล (Optical Microscope) OLYMPLUS รุ่น ex-31	38
รูปที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10	43

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 80 : 20..... 44

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 70 : 30..... 44

รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะชิ้นงานอัดขึ้นรูปชิ้นงานของเพตบริสุทธิ์..... 45

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะชิ้นงานหลังอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมเพต:แป้ง (90 : 10, 80 : 20, 70 : 30) ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10,20 และ 30 g/100 g PET..... 45

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET/สารช่วยผสม/แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการตรวจสอบค่าความต้านแรงดึง ณ จุดขาด..... 46

รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความต้านแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET/สารช่วยผสม/แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่างๆ..... 47

รูปที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของ (a) virgin PET และ (b) STARCH..... 48

รูปที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของ เพตบริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสมเพต/แป้งมันสำปะหลัง โดยที่ (a) เพตบริสุทธิ์, (b) แป้งมันสำปะหลัง, (c) พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10, (d) 80 : 20, (e) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพตได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET..... 50

รูปที่ 4.10 DSC เทอร์โมแกรมของ virgin PET..... 51

รูปที่ 4.11 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 10 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90 : 10..... 51

รูปที่ 4.12 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 10 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 80 : 20..... 51

รูปที่ 4.13 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 10 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 70 : 30..... 51

รูปที่ 4.14 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 20 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90 : 10..... 52

รูปที่ 4.15 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 20 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 80 : 20..... 52

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.16 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 20 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 70 : 30..... 52

รูปที่ 4.17 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 90 : 10..... 52

รูปที่ 4.18 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 80 : 20..... 52

รูปที่ 4.19 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพต (ดัดแปรผิวด้วยสารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET) และแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 70 : 30..... 52

รูปที่ 4.20 TGA เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพตและแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน (a) 90:10, (b) 80:20 และ(c) 70:30 (ดัดแปรผิวเพตด้วยสารช่วยผสม 10 g/ 100 g PET)..... 54

รูปที่ 4.21 ร้อยละการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET/สารช่วยผสม/แป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนต่างๆกัน..... 56

รูปที่ 4.22 แสดงผิวหน้าชิ้นงาน virgin PET (a) ก่อนการแช่กรด, (b) หลังการแช่กรด.... 58

รูปที่ 4.23 แสดงผิวหน้าชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET (a-c) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (ก่อนการแช่กรด),(d-f) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (หลังการแช่กรด)..... 58

รูปที่ 4.24 แสดงผิวหน้าชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารช่วยผสม 20 g/100 g PET (a-c) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (ก่อนการแช่กรด),(d-f) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (หลังการแช่กรด)..... 59

รูปที่ 4.25 แสดงผิวหน้าชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารช่วยผสม 30 g/100 g PET (a-c) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (ก่อนการแช่กรด),(d-f) อัตราส่วนระหว่างเพตต่อแป้งมันสำปะหลัง 90:10, 80:20, 70:30 ตามลำดับ (หลังการแช่กรด)..... 59

รูปที่ 4.26 ลักษณะชิ้นงานก่อนการฝังดินของเพตบริสุทธิ์..... 60

รูปที่ 4.27 ลักษณะชิ้นงานก่อนการฝังดิน ของพอลิเมอร์ผสมเพต:แป้ง (90 : 10, 80 : 20, 70 : 30) (a) สารช่วยผสม 10 g/ 100 g PET, (b) สารช่วยผสม 20 g/ 100 g และ (c) สารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET..... 61

รูปประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.28	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 30 วัน ของเพตบริสุทธิ์.....	61
รูปที่ 4.29	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 30 วัน ของพอลิเมอร์ผสมเพต: แป้ง(90 : 10, 80 : 20, 70 : 30) (a) สารช่วยผสม 10 g/ 100 g, (b) สารช่วยผสม 20 g/ 100 g และ (c) สารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET.....	62
รูปที่ 4.30	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 60 วัน ของเพตบริสุทธิ์.....	62
รูปที่ 4.31	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 60 วัน ของพอลิเมอร์ผสมเพต: แป้ง(90 : 10, 80 : 20, 70 : 30) (a) สารช่วยผสม 10 g/ 100 g, (b) สารช่วยผสม 20 g/ 100 g และ (c) สารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET.....	63
รูปที่ 4.32	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 90 วัน ของเพตบริสุทธิ์.....	63
รูปที่ 4.33	ลักษณะชิ้นงานหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 90 วัน ของพอลิเมอร์ผสมเพต: แป้ง(90 : 10, 80 : 20, 70 : 30) (a) สารช่วยผสม 10 g/ 100 g, (b) สารช่วยผสม 20 g/ 100 g และ (c) สารช่วยผสม 30 g/ 100 g PET.....	64