

ฟิล์มนาโนคอมโพสิตพอลิแล็กติกแอซิด/พอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยการเป่าอัดรีดสำหรับการประยุกต์
ในบรรจุภัณฑ์อาหาร



นายชวลิต ชาญฉลาด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 4 7 1 9 4 6 1 2 3

POLY(LACTIC ACID)/POLYETHYLENE NANOCOMPOSITE FILMS PREPARED BY
BLOWN FILM EXTRUSION FOR FOOD PACKAGING APPLICATION

Mr. Chawalit Charnchalad

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

550820

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ฟิล์มนาโนคอมพอสิตพอลิแล็กติกแอซิด/พอลิเอทีลีน
ที่เตรียมโดยการเป่าอัดรีดสำหรับการประยุกต์
ในบรรจุภัณฑ์อาหาร

โดย

นายชวลิต ชาญฉลาด

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์อรอุษา สุรวารี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กวี ศรีกุลกิจ)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อัจจงค์)


กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.สุภโชค ดันพิชัย)

ชวลิต ชาญฉลาด : ฟิล์มนาโนคอมโพสิตพอลิแล็กติกแอซิด/พอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยการเป่าอัดรีดสำหรับการประยุกต์ในบรรจุภัณฑ์อาหาร. (POLY(LACTIC ACID)/POLYETHYLENE NANOCOMPOSITE FILMS PREPARED BY BLOWN FILM EXTRUSION FOR FOOD PACKAGING APPLICATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. ประณัฐ โพธิยะราช, 151 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิแล็กติกแอซิดด้วยการเตรียมเป็นฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นซึ่งมีไกลซิดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ รวมทั้งปรับปรุงสมบัติของฟิล์มที่ได้ด้วยการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร โดยเริ่มจากนำพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น และไกลซิดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ มาผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดสกรูคู่ด้วยอัตราส่วน 90/10/10 phr ตามลำดับ แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเครื่องเป่าอัดรีด ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฟิล์มชั้นเดียวมีสมบัติเชิงกล ทั้งความทนแรงดึง มอดุลัสดึง ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด และความทนแรงฉีกขาดสูงกว่าฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิด และเมื่อนำพอลิเมอร์ผสมมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันพบว่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าฟิล์มชั้นเดียว โดยฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิแล็กติกแอซิดมีความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความทนแรงฉีกขาดสูงกว่าฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ในขณะที่ฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นมีความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงกว่าเมื่อเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่อัตราส่วน 0.5 1 และ 3 phr ลงในพอลิเมอร์ผสม พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมมีความทนแรงดึง มอดุลัสดึง และความทนแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้น แต่กลับลดลงเมื่อปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็น 3 phr นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมที่มีมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรเป็นองค์ประกอบ มีค่าสูงกว่าฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่เติมมอนต์มอริลโลไนต์ มีค่าต่ำกว่าฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิด โดยมีค่าต่ำที่สุดเมื่อมีปริมาณของมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร 1 phr ส่วนอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนของฟิล์มโคเอ็กซ์ทลูชันที่เติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแล็กติกแอซิด

ภาควิชา วัสดุศาสตร์.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และ.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 

.....เทคโนโลยีสิ่งทอ.....

ปีการศึกษา 2555.....

#5471946123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : POLY(LACTIC ACID) (PLA) / POLY(ETHYLENE-CO-OCTENE) (POE) /

MONTMORILLONITE (MLS) / NANOCOMPOSITE FILMS / FOOD PACKAGING

CHAWALIT CHARNCHALAD : POLY(LACTIC ACID)/POLYETHYLENE

NANOCOMPOSITE FILMS PREPARED BY BLOWN FILM EXTRUSION FOR

FOOD PACKAGING APPLICATION. ADVISOR : ASSOC. PROF. PRANUT

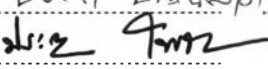
POTIYARAJ, Ph.D., 151 pp.

This research focused on improving properties of poly(lactic acid) (PLA) by preparing as co-extrusion films with PLA/linear low density polyethylene (LLDPE) blends in the presence of glycidylmethacrylate grafted polyethylene-co-octene (mPOE) as a compatibilizer. In addition, modified montmorillonite (MLS) was also incorporated in order to improve properties of the films. PLA, LLDPE and mPOE were initially melt-mixed in a twin-screw extruder at the blending ratio of 90/10/10 phr, respectively. The blends were processed into films using a blown film extruder. The results indicated that single layer films had better mechanical properties including tensile strength, tensile modulus, elongation at break and tear strength than PLA films. These mechanical properties were improved in the case of multilayer co-extrusion films. The co-extrusion films between PLA/LLDPE blend and PLA had higher tensile strength, tensile modulus and tear strength than those of co-extrusion films between PLA/LLDPE and LLDPE which in turn had a greater elongation at break. When MLS was added to the blends at the amount of 0.5 and 1, tensile strength, modulus and tear strength increased but decreased at the amount of 3 phr. It was also found that mechanical properties of co-extrusion films with MLS were higher than those of co-extrusion films without MLS. In addition, the water vapor transmission rate of films with MLS was lower than that of PLA film with the lowest rate at the amount of MLS of 1 phr. The oxygen gas transmission rate of films with MLS was similar to that of PLA film.

Department : Materials Science.....

Student's Signature 

Field of Study : Applied Polymer Science.

Advisor's Signature 

and Textile Technology...

Academic Year : 2012.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งการให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และการให้แนะนำ ตลอดจนถึงการเอาใจใส่ดูแลและเสียสละเวลาในการตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์อรอุษา สรวารี ที่สละเวลามาเป็นประธานสอบ วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อากองศ์ และอาจารย์ ดร.สุภโชค ตันพิชัย ที่สละเวลามาเป็นกรรมสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัย ได้แก่ ทุนวิทยบัณฑิต คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุน สนับสนุนในด้านวัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองทดลองงานวิจัย

ขอขอบคุณภาคีชาววัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เชื้อเพื่อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในระหว่างการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน และคอยให้ กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 พอลิแล็กติกแอซิด.....	3
2.2 พอลิเอทิลีน.....	6
2.3 ไกลซิดีลเมทาคริเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์.....	10
2.4 มอนต์มอริลไลไนต์ดัดแปร.....	12
2.5 ฟิล์มพลาสติก.....	15
2.6 ฟิล์มหลายชั้น.....	16
2.7 กระบวนการขึ้นรูป.....	19
2.7.1 กระบวนการอัดรีด.....	19
2.7.2 กระบวนการอัดรีดร่วม.....	29
2.7.3 กระบวนการเป่าอัดรีด.....	31
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินการทดลอง.....	45

	หน้า
3.2 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	46
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	47
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	65
4.1 การวิเคราะห์หุ้มฟังก์ชันของไกลซิซิลเมทาโครเลตกราฟต์พอลิเอทิลีน ออกทีนโคพอลิเมอร์.....	65
4.2 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....	66
4.2.1 สมบัติทางความร้อน.....	66
4.2.2 ดรรชนีการหักเหของแสงของคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสม.....	69
4.3 สันฐานวิทยาของฟิล์ม.....	70
4.4 สมบัติของฟิล์ม.....	96
4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง.....	71
4.4.2 สมบัติความทนแรงฉีกขาด.....	87
4.4.3 สมบัติการสกัดกัน.....	94
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	98
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	151

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปโกลซีดีลเมทาไครเลตกราฟต์พอลิเอทิลีน ออกทีนโคพอลิเมอร์.....	49
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น โกลซีดีลเมทาไครเลตกราฟต์พอลิเอ ทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์ และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปร.....	51
ตารางที่ 3.3 ภาวะอุณหภูมิในการคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติก แอซิดและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น โกลซีดีลเมทาไครเลต กราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิ และมอนต์โมริลโลไนต์ดัดแปร.....	52
ตารางที่ 3.4 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มชั้นเดียวด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม.....	54
ตารางที่ 3.5 ส่วนประกอบต่างๆของฟิล์มสองชั้น.....	55
ตารางที่ 3.6 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปของฟิล์มสองชั้นที่ประกบด้วย PLA ด้วยเครื่อง เป่าฟิล์ม.....	56
ตารางที่ 3.7 ภาวะอุณหภูมิในการขึ้นรูปของฟิล์มสองชั้นที่ประกบด้วย LLDPE ด้วยเครื่อง เป่าฟิล์ม.....	57
ตารางที่ 4.1 ค่า T_g , T_m และ T_{cc} ของพอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 1 และ 3 phr.....	68

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแล็กติกแอซิด.....	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีไอโซเมอร์ต่างๆ ของพอลิแล็กไทด์.....	4
รูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิด.....	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน.....	6
รูปที่ 2.5 ปฏิริยาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น.....	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ เชิงเส้น.....	9
รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไกลซิดิลเมทาไครเลต.....	10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไกลซิดิลเมทาไครเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีน โคพอลิเมอร์.....	11
รูปที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ออกซิกกับหมู่ปลายของพอลิแล็กติกแอซิด.....	11
รูปที่ 2.10 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไกลซิดิลเมทาไครเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีน โคพอลิเมอร์กับพอลิแล็กติกแอซิดและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น....	12
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	13
รูปที่ 2.12 การกระจายตัวของมอนต์มอริลโลไนต์ในพอลิเมอร์.....	14
รูปที่ 2.13 ทางคดเคี้ยว (tortuous pathway) ของนาโนคอมโพสิต.....	15
รูปที่ 2.14 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว.....	21
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว.....	21
รูปที่ 2.16 ส่วนสำคัญ 3 ส่วนของสกรูในเครื่องอัดรีด.....	22
รูปที่ 2.17 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่.....	25
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดรีด.....	26
รูปที่ 2.19 สกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน (co-rotating screws).....	27

รูปที่ 2.20 สกรูคู่แบบหมุนในทิศทางตรงข้ามกันหรือสวนทางกัน (counter rotating screws)..... 27

รูปที่ 2.21 ลักษณะการขบกันของฟันเฟืองของสกรูในทั้งสองทิศทางการหมุน..... 28

รูปที่ 2.22 แผนภาพเครื่องอัดรีดร่วม (co-extruder)..... 29

รูปที่ 2.23 เครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder)..... 32

รูปที่ 2.24 แผนภาพเครื่องเป่าฟิล์ม..... 33

รูปที่ 2.25 หัวดายที่ใช้ในเครื่องเป่าฟิล์ม..... 35

รูปที่ 2.26 ถุงหูหิ้ว..... 37

รูปที่ 2.27 ถุงร้อน ถุงเย็น..... 38

รูปที่ 2.28 ฟิล์มพลาสติกหดร้อน..... 39

รูปที่ 2.29 ฟิล์มพลาสติกปูบ่อ กุ้ง บ่อปลา..... 40

รูปที่ 2.30 ฟิล์มพลาสติกรองพื้นก่อนเทคอนกรีต..... 40

รูปที่ 2.31 ม่านรีดพลาสติก..... 41

รูปที่ 2.32 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง PLA กับ mPOE (n) ปฏิกริยากับหมู่คาร์บอซิล
(ข) ปฏิกริยากับหมู่ไฮดรอกซิล..... 43

รูปที่ 3.1 ตู้อบ (Hopper dryers) ของ SHINI® plastics technologies รุ่น SHD-100T..... 48

รูปที่ 3.2 อัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LTE-26-44..... 50

รูปที่ 3.3 เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (pelletizer cutting machine) ของ Lab tech engineering company รุ่น LZ-120/vs..... 50

รูปที่ 3.4 เครื่องเป่าฟิล์ม (blown film extruder) ของ Lab tech engineering company รุ่น LF-400-COEX 53

รูปที่ 3.5 เครื่อง fourier transform infrared spectrometer ของบริษัทเทอร์โม ไชแอน ทิฟิค จำกัด รุ่น Nicolet 6700..... 58

รูปที่ 3.6 เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (thermogravimetric analyzer) ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851°	59
รูปที่ 3.7 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter) ของ Netzsch-Gerätebau GmbH รุ่น DSC 204 F1.....	60
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบดรรชนีการหลอมไหล (melt flow indexer, MFI) ยี่ห้อ KAYENESS INC. ของ A dynisco company รุ่น 7053.....	61
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LR100K	62
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของ LLOYD รุ่น LF Plus	63
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ยี่ห้อ MOCON รุ่น PERMATRAN-W ® 3/33.....	63
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน ยี่ห้อ Illinois รุ่น 8000.....	64
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของโกลซีดีลเมทาไครเลตกราฟต์พอลิเอทิลีนออกทีนโคพอลิเมอร์.....	65
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิแล็กทิดแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 0.5 1 และ 3 phr.....	66
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของ T_g , T_m และ T_{cc} ของพอลิแล็กทิดแอซิด พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE และพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติม MLS ที่ปริมาณ 1 และ 3 phr.....	67
รูปที่ 4.4 ดัชนีการหลอมไหลของคอมพาวด์ของพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ กัน.....	69

รูปที่ 4.5	สัณฐานวิทยาของฟิล์มที่กำลังขยาย 20 เท่า : (ก) พอลิแล็กติกแอซิด (ข) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE (ค) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 0.5 (ง) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 1 และ (จ) พอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE/MLS 3.....	70
รูปที่ 4.6	ความทนแรงดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร.....	71
รูปที่ 4.7	มอดุลัสดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร.....	72
รูปที่ 4.8	ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวตามเครื่องจักร.....	72
รูปที่ 4.9	ความทนแรงดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร.....	74
รูปที่ 4.10	มอดุลัสดึงของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร.....	74
รูปที่ 4.11	ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเติมมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ กัน ในแนวขวางเครื่องจักร.....	75
รูปที่ 4.12	ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูซันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร.....	76
รูปที่ 4.13	มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทรูซันระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร.....	77

รูปที่ 4.14 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ ต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวตามเครื่องจักร.....	77
รูปที่ 4.15 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร.....	79
รูปที่ 4.16 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มี การเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร.....	79
รูปที่ 4.17 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ ต่างๆ ที่ประกบด้วย PLA ในแนวขวางเครื่องจักร.....	80
รูปที่ 4.18 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร.....	81
รูปที่ 4.19 มอดุลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มี การเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร.....	82
รูปที่ 4.20 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ ต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวตามเครื่องจักร.....	82
รูปที่ 4.21 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซึนระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่ มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวางเครื่องจักร.....	84

รูปที่ 4.22 มอดูลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวางเครื่องจักร.....	84
รูปที่ 4.23 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นระหว่างพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่ประกบด้วย LLDPE ในแนวขวางเครื่องจักร.....	85
รูปที่ 4.24 ความทนแรงดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นที่ทำการประกบด้วยด้วย PLA และ LLDPE.....	86
รูปที่ 4.25 มอดูลัสดึงของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นที่ทำการประกบด้วยด้วย PLA และ LLDPE...	86
รูปที่ 4.26 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นที่ทำการประกบด้วย PLA และ LLDPE.....	87
รูปที่ 4.27 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ.....	88
รูปที่ 4.28 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักรที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ.....	89
รูปที่ 4.29 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้นพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย PLA.....	90
รูปที่ 4.30 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราชั้น LA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย PLA.....	91

รูปที่ 4.31 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวตามเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE.....	92
รูปที่ 4.32 ความทนแรงฉีกขาดของฟิล์ม PLA และฟิล์มโคเอ็กซ์ทราซันพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ในแนวขวางเครื่องจักร ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโล ไนต์ดัดแปรในปริมาณต่างๆ ที่มีการประกบด้วย LLDPE.....	93
รูปที่ 4.33 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ ต่างๆ.....	94
รูปที่ 4.34 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์ม PLA และฟิล์มพอลิเมอร์ผสม PLA/LL/mPOE ที่มีการเสริมแรงด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรในปริมาณ ต่างๆ.....	96