

การพัฒนาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดสำหรับงานบรรจุภัณฑ์
ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติเชิงกลและการย่อยสลาย

THE DEVELOPMENT OF POLYLACTIC ACID FILM FOR PACKAGING :
THE EFFECT OF PLASTICIZER ON MECHANICAL
AND DEGRADATION PROPERTIES

นางสาวจรรุวรรณ ภากุล

รหัส 52364902

นางสาวประภาพรณ น้อยสุภาพ

รหัส 52365060

คณะวิทยาศาสตร์

วันที่รับ.....5/ส.ค. 2556 /.....

เลขทะเบียน.....1632 409.4.....

เลขเรียกหนังสือ.....ค.....

มหาวิทยาลัยนเรศวร ๙ 3๓7 ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดสำหรับงานด้านบรรจุภัณฑ์: ผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อสมบัติเชิงกลและการย่อยสลาย
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวจารุวรรณ ภาคกุล รหัส 52364902 นางสาวประภาพรธรรม น้อยสุภาพ รหัส 52365060
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นพวรรณ ไหมทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษเคลือบด้วยพลาสติกซึ่งในปัจจุบันมีปริมาณการใช้แล้วทิ้งสูงมาก ส่วนที่เป็นกระดาษของบรรจุภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แต่ส่วนที่เป็นพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้หรือใช้เวลาในการย่อยสลายนาน งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลและสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด โดยงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาผลของพลาสติกไซเซออร์ทั้ง 2 ชนิด ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดและศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ทำกรลามิเนตระหว่างฟิล์มกับกระดาษ


ฟิล์มย่อยสลายทางชีวภาพพอลิแลคติกแอซิดผสมระหว่างสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ 2 ชนิด อัตราส่วน 2, 4 และ 6 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที ผลจากการทดสอบสมบัติทางกล พบว่า ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดในแนวขวางการขึ้นรูปที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 37 ค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 39 และฟิล์มที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม พบว่า ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 และที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 43 ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 18 ที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 33 เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ และสมบัติการย่อยสลาย พบว่า ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลมีค่าไม่ได้แตกต่างกันมาก ซึ่งมีการย่อยสลายมากกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ ดร.นพวรรณ โหม้ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อาจารย์และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่และเครื่องมือ สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม
นางสาวจรรวรรณ ภากุล
นางสาวประภาพรณ น้อยสุภาพ

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	2
1.4 สถานที่ดำเนินโครงการ.....	4
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 ทบทวนวรรณกรรม/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	18
3.1 การเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด.....	18
3.2 ขั้นตอนการลามิเนตฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด.....	19
3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน.....	20
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	22
4.1 พอลิแลคติกแอซิด.....	22
4.2 ชิ้นงานทดสอบ.....	23
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	25
4.4 ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลาย.....	47
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 บทสรุป.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	4
2.1 เปรียบเทียบสมบัติระหว่างพอลิแลคติกแอซิด พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนไกลคอล.....	11
4.1 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที.....	49
4.2 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที.....	50
4.3 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	53
4.4 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ฝังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที.....	55
4.5 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ฝังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที.....	56
4.6 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ฝังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	58

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พอลิแลคติกแอซิด.....	11
2.2 กระบวนการลามิเนตโดยใช้กาว ร่วมกับการเป่าแห้ง.....	14
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.....	17
3.1 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	20
3.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ย่อยสลาย.....	21
4.1 พอลิแลคติกแอซิด.....	22
4.2 การโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt.....	22
4.3 फिल्मพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกล a) ตามแนวการขึ้นรูป b) แนวขวางการขึ้นรูป.....	23
4.4 फिल्मพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ทดสอบสมบัติการย่อยสลาย a) फिल्मลามิเนตกระดาษ 60 แกรม b) फिल्मลามิเนตกระดาษ 80 แกรม.....	24
4.5 ชิ้นงานทดสอบสมบัติการย่อยสลาย a) ชิ้นงานทดสอบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด b) ชิ้นงานทดสอบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม.....	24
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	25
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	28
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้น พลาสติกไซเซออร์ของฟิล์ม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	32
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้น ของพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อ.....	35
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้น ของพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	37
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	40
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	42
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ ของฟิล์มลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที.....	44
4.15 ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซออร์ที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไป a) 0 สัปดาห์ b) 4 สัปดาห์ และ c) 8 สัปดาห์.....	47
4.16 ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซออร์อัตราส่วนต่างๆ ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป a) 0 สัปดาห์ b) 4 สัปดาห์ และ c) 8 สัปดาห์.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพีลีนไกลคอล 2 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์.....	48
4.18 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพีลีนไกลคอล 2 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์.....	50
4.19 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ระยะเวลา 0 สัปดาห์กับ 8 สัปดาห์.....	51
4.20 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพีลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาทีเมื่อระยะเวลา 8 สัปดาห์.....	53
4.21 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพีลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.....	54
4.22 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์.....	56

สารบัญญัตินิยามและอักษรย่อ

PLA	=	Polylactic Acid
PG	=	Propylene Glycol
EG	=	Ethylene Glycol
T_g	=	Glass Transition Temperature
rpm	=	รอบต่อนาที
%wt	=	Percent of Weight



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันนี้พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) เป็นทางเลือกใหม่ที่กำลังได้รับการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวัสดุจากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ เป็นการลดปัญหาด้านการขาดแคลนวัตถุดิบและผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม โดยพลาสติกชีวภาพที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชีวภาพที่อยู่ในกลุ่มอะลิฟาติกพอลีเอสเตอร์ (Aliphatic Polyester) ซึ่งผลิตได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีของมอนอเมอร์จากแหล่งวัตถุดิบทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย เป็นต้น และสามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การอัดรีด (Extrusion) แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection Molding) การเป่าฟิล์ม (Blow Film) การเป่าขึ้นรูป (Blow Molding) และกระบวนการอัด (Compression) [3, 6, 12]

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid: PLA) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพลาสติกชีวภาพที่อยู่ในกลุ่มอะลิฟาติกพอลีเอสเตอร์ ทำให้เป็นที่นิยมนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและลดการใช้งานวัสดุจากปิโตรเลียม [4] เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดมีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพไม่เป็นมลภาวะ แต่สมบัติบางประการของพอลิแลคติกแอซิดยังไม่เหมาะสมนำไปขึ้นรูปได้ เช่น มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature: T_g) สูง ดัชนีการไหลที่ต่ำ มีความเปราะ ความยืดหยุ่นต่ำ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเพื่อทำการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพโดยเลือกใช้พลาสติก-ไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol: EG) และโพรพิลีนไกลคอล (Propylene Glycol: PG) แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่สามารถนำไปใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ [1, 2, 4]

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ขั้นตอนแรกเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดโดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วน 100 %wt, 98:2 %wt, 96:4 %wt และ 94:6 %wt [2] หลังจากนั้นนำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดไปทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความทนต่อแรง (Tensile Strength) ยืดมอดูลัส (Young's Modulus) และร้อยละการยืดตัวก่อนขาด (Elongation at Break) [3, 5] ทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพและขั้นตอนต่อมานำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดไปทำการลามิเนต (Laminate) กับกระดาษเพื่อทดสอบสมบัติทางกล เช่น ความทนต่อแรงดึง ยืดมอดูลัส และร้อยละการยืดตัวก่อนขาด ทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์มที่สามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมในประเทศต่อไป [4-13]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของพลาสติกไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ใช้ในการลามิเนตระหว่างฟิล์มกับกระดาษที่ใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งกำหนดขอบเขตงานวิจัยโดยมุ่งเน้น 2 ประเด็นคือ

1.3.1 การเตรียมและการขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด กำหนดขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1.3.1.1 วัสดุหลัก คือ พอลิแลคติกแอซิด (เกรด 4043D)

1.3.1.2 วัสดุเติมหรือพลาสติกไซเซอร์มี 2 ชนิด คือ

ก. เอทิลีนไกลคอล (มวลโมเลกุล 62.07)

ข. โพรพิลีนไกลคอล (มวลโมเลกุล 76.09)

1.3.1.3 นำพอลิเมอร์มาขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่าฟิล์มในอัตราส่วน 100:0 %wt, 98:2 %wt, 96:4 %wt และ 94:6 %wt ด้วยหัวคายน์ขึ้นรูปฟิล์มชนิดเป่าฟิล์ม ที่มีความหนา 0.07 ± 0.02 มิลลิเมตร

1.3.1.4 นำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดไปทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ความทนต่อแรงดึง ยัγκมอดูลัส ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ

1.3.2 การทดสอบและการลามิเนตฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

1.3.2.1 วัสดุหลัก คือ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดและกระดาษ 60 แกรม และ 80 แกรม มีความหนา 0.08 และ 0.1 มิลลิเมตร

1.3.2.2 วัสดุที่ใช้เป็นตัวประสาน คือ กาว ROBOND™L-90

1.3.2.3 นำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมาลามิเนตกับกระดาษ ด้วยกาว ROBOND™L-90D ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน

1.3.2.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น ความทนต่อแรงดึง ยัγκมอดูลัส และร้อยละการยืดตัวก่อนขาด ทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ

1.3.3 ตัวแปรต้น

1.3.3.1 พลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลอัตราส่วน 98:2 %wt, 96:4 %wt และ 94:6 %wt ในการขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

1.3.3.2 ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่มีความหนา 0.02, 0.03 และ 0.05 มิลลิเมตร

1.3.4 ตัวแปรควบคุม

1.3.2.1 วัสดุหลัก คือ พอลิแลคติกแอซิด (เกรด 4043D) และกระดาษที่มีความหนา 0.08 และ 0.1 มิลลิเมตร

1.3.2.2 วัสดุที่ใช้เป็นตัวประสาน คือ กาว ROBOND™L-90

1.3.5 ตัวแปรที่ศึกษา

1.3.5.1 พลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

1.3.5.2 สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มในการลามิเนตกับกระดาษโดยใช้กาวเป็นตัวเชื่อม

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทบทวนวรรณกรรม/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ แต่เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดยังมีข้อจำกัดของสมบัติบางประการ จึงได้มีการพัฒนาแก้ไขและปรับปรุง อาทิเช่น งานวิจัยของ A.Somwangthanaroj และคณะ [2] ทำการเปลี่ยนชนิดของพลาสติไซเซอร์ ได้แก่ PPG, PEPG, TBC และ Adipic Acid อัตราส่วนที่เติม 3, 5 และ 7 %wt พบว่าพอลิเอทิลีนไกลคอล (PPG) 5 %wt ทำให้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีความยืดหยุ่นและค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ฟิล์มที่เหมาะสมกับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาคล้ายคลึงกับงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าพลาสติไซเซอร์มีผลทำให้พอลิแลคติกแอซิดมีสมบัติที่ดีขึ้น ได้แก่

F.Hassouna และคณะ [5] พัฒนาพอลิแลคติกแอซิดโดยการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลโมเลกุลต่ำเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความยืดหยุ่นและสมบัติทางด้านความร้อน พบว่าพอลิเอทิลีนไกลคอล 20 %wt จะส่งผลให้อุณหภูมิสภาพคล้ายแก้ว (T_g) มีค่า 23-60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนไกลคอล 10 %wt

J.M.Rabanel และคณะ [8] ศึกษาสมบัติของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดโดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลแล้วทำการทดสอบสมบัติที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันของสารที่ทำปฏิกิริยากัน ผลจากการศึกษามีลักษณะสมบัติทางกายภาพที่สามารถนำไปใช้งานด้านเภสัชกรรมได้

L.Averous และคณะ [9] ศึกษาพลาสติไซเซอร์และสมบัติของพลาสติคย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำการผสมพลาสติไซเซอร์กับพอลิแลคติกแอซิดด้วยการหลอมละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อศึกษาสมบัติทางกลและอุณหภูมิลักษณะคล้ายแก้วของพลาสติไซเซอร์ ผลจากการศึกษาทำให้พอลิแลคติกแอซิด มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น

การปรับปรุงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดให้ดีขึ้นนอกจากเติมพลาสติไซเซอร์แล้วยังมีการเสริมแรงด้วยเส้นใย N.Graupner และคณะ [16] ทำการคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับปานปอแก้ว และเส้นใยเซลลูโลส พบว่าปานปอแก้วและฟิล์มคอมโพสิตพอลิแลคติกแอซิดกับปานปอแก้วมีค่าทนต่อแรงดึงและค่าสภาพความยืดหยุ่นสูงที่สุด นอกจากนี้ J.Harun และคณะ [17] ทำการศึกษาพัฒนาเซลลูโลสประเภทเส้นใยนาโนเสริมแรงให้กับพอลิแลคติกแอซิดโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่สัดส่วนผสมเส้นใยลงในพอลิแลคติกแอซิด 1 %wt, 3 %wt และ 5 %wt ค่าความทนแรงดึงและแรงกระแทกเพิ่มขึ้น สัดส่วนในการผสมเส้นใยที่ทำให้สมบัติที่ดีที่สุด คือ การเติมเส้นใย CNF ลงไป 5 %wt ในพอลิแลคติกแอซิด

นอกจากการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดด้วยการเติมพลาสติไซเซอร์และการคอมโพสิตระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใย มีการเติมสารตัวเติมอย่างอื่น เช่น งานวิจัยของ J.Mangmeemak และคณะ [1] ได้ทำการเติมยางธรรมชาติ พบว่าเติมยางธรรมชาติปริมาณ 3 และ 5 %wt ทำให้การยึดเกาะของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดดีขึ้นและเพิ่มความเหนียวให้ฟิล์มนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่คล้ายกันโดยการผสมสารตัวเติมชนิดต่างๆ

S.Whiteside และคณะ [3] เติมวิตามินอี บิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอีน และพอลิเอทิลีนไกลคอลผสมเข้ากับพอลิแลคติกแอซิด ผลจากการทดสอบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมวิตามินอี บิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอีน และพอลิเอทิลีนไกลคอลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระถึงร้อยละ 90 ส่วนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมบิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอีนและพอลิเอทิลีนไกลคอลสามารถทดสอบอุณหภูมิคล้ายแก้วได้สูงสุด

E.Mascheroni และคณะ [4] ทำการศึกษาการใช้สารโปรพอลิสที่มีการรวมตัวอยู่ในฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีการเติมสารพอลิเอทิลีนไกลคอลและเบนโทไนท์แคลเซียมเพื่อปรับปรุงองค์ประกอบของฟิล์ม ผลจากการศึกษาทำให้สามารถปรับปรุงสารโปรพอลิสที่อยู่ในฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพให้มีความเหมาะสมในงานบรรจุภัณฑ์อาหารได้และไม่มีพิษ

F.Sebastien และคณะ [7] พัฒนาฟิล์มจากไคโตซาน (Chitosan) และพอลิแลคติกแอซิดพร้อมศึกษาสมบัติของเชื้อราของสารที่ใช้เคลือบ คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ทำการปรับเปลี่ยนสารไคโตซานและพอลิแลคติกแอซิดในปริมาณต่างผลที่ได้ คือ มีความหนาที่แตกต่างกันใช้ไคโตซานร้อยละ 8.3 พอลิเอทิลีนไกลคอลและพอลิแลคติกแอซิด 5 %wt จะมีความหนาของฟิล์มดีที่สุด ในการศึกษาโครงสร้างและรายละเอียดของไคโตซานต่อพอลิแลคติกแอซิดที่ย่อยสลายได้สิ่งที่เป็นปัญหา

คือ ความชื้นเกิดขึ้นต้องทำการเติมสารคอมโพสิตเพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความชื้นน้อยลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันทำให้มีขีดจำกัดในการใช้งานสมบัติเด่น คือ สามารถต้านทานน้ำได้

นอกจากการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดจากงานวิจัยข้างต้นแล้ว กระบวนการขึ้นรูปสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ฟิล์ม งานวิจัยของ A.Rozanski และคณะ [6] ทดสอบอัตราส่วนสมบัติที่เป็นฟิล์มนาโนใช้เทคนิคในการเป่าขึ้นรูปและทำให้สามารถมองเห็นการไหลผ่านของออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถที่จะใช้กล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อความแม่นยำในการตรวจสอบมากขึ้น ฟิล์มนาโนจะขึ้นอยู่กับฟิล์มที่ใช้เป็นวัสดุ ส่วนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดสามารถนำไปบรรจุอาหารได้และในอุตสาหกรรมปุ๋ยหมักยังมีงานวิจัยที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่

A.Conte และคณะ [12] กำหนดสัดส่วนของการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ PLA, LDPE และ PCL กับสารตั้งต้นที่ได้จากธรรมชาติ คือ Lysozyme, Thymol และสารสกัดจากมะนาว (Lemon Extract) ในสัดส่วนต่อไปนี้ 3, 5 และ 10 %wt ผลการทดลองสรุปได้ว่าฟิล์มผสมระหว่าง PCL กับ Lysozyme มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปเป็นฟิล์มงานด้านบรรจุภัณฑ์

F.Carrasco และคณะ [14] ทำกระบวนการขึ้นรูปของพอลิแลคติกแอซิดเพื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีเสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติทางกล ฉีดเม็ดพอลิแลคติกแอซิด (PLA 200D) เข้าไปในเครื่องฉีดขึ้นรูปอุณหภูมิของหัวฉีด 180, 200 และ 210 องศาเซลเซียส ความดัน 100 บาร์ กำหนดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 25 องศาเซลเซียส นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะความดันที่กำหนดลดลงในเครื่องอบแห้ง PIOVAN (DSN506HE) อบอ่อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกให้กับตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้ว

การย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดหลังจากการขึ้นรูปฟิล์มแล้วได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการย่อยสลายของฟิล์มที่มีการเติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ อาทิเช่น J.F.Martucci และคณะ [10] ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของฟิล์มโดยการเติมสารเติมแต่งลงไปทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนในการผสมปรับปรุงขั้นตอนวิธีการลามิเนตฟิล์ม อาทิเช่น การเติมดินเหนียวเพื่อทดสอบการดูดซับน้ำและการย่อยสลายของฟิล์มลามิเนตสามชั้นโดยใช้เจลลาดินเป็นตัวลามิเนต มีการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยข้างต้น โดยการใช้เทคนิคการทดสอบต่างๆ ได้แก่

J.M.Fang และคณะ [11] การลามิเนตโดยใช้เครื่องโคเอ็กทรูซ (Co-Extruded) โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาตรของแป้งที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบความใสของฟิล์มการย่อยสลายและ E.Petinakis และคณะ [13] เติม Hydrophilic ลงไปในพอลีแลคติกแอซิดซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพ การย่อยสลายถูกควบคุมภายใต้สภาวะที่กำหนดโดย AS ISO 14855 อุณหภูมิในการย่อยสลายถูกศึกษาโดย Thermogravimetry (TGA) ผลการทดลองออกมา พบว่าการย่อยสลายของการผสมกันระหว่างพอลีแลคติกแอซิดกับ Hydrophilic มีค่าต่ำกว่าเซลลูโลสบริสุทธิ์แต่สูงกว่าพอลีแลคติกแอซิดบริสุทธิ์ อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 60 เป็นร้อยละ 80 เมื่อสัดส่วนของ Hydrophilic เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 40 ใช้เวลาในการย่อยสลาย 80 วัน

L.Zaidi และคณะ [15] ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติต่อพอลีแลคติกแอซิดแอซิดและพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิต PLA/Cloisite 30B ทดสอบด้วยมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1435 ฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาด 30x20 เซนติเมตร จากผลการทดลองสภาวะอากาศทางธรรมชาติส่งผลต่อลักษณะทางด้านสีของฟิล์ม PLA/Cloisite 30B การเกิดโมเลกุลใหญ่ทำให้มีช่องว่างและขนาดที่แตกต่างกันผิวของฟิล์มมีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

งานวิจัยข้างต้นศึกษาเกี่ยวกับการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์สองหรือสามชนิดเข้าด้วยกัน การใช้สารตัวเติมพลาสติกไซเซออร์และการเสริมเส้นใยเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อจำกัดของพอลีแลคติกแอซิดทางด้านสมบัติทางกลและทางกายภาพเพื่อนำมาใช้งานด้านต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การขึ้นรูปฟิล์มสำหรับงานทางด้านบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมระหว่างพอลีแลคติกแอซิดและสารตัวเติมในสัดส่วนต่างๆ โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่กำลังศึกษาเกี่ยวกับผลของพลาสติกไซเซออร์ ในกรณีนี้จะทำการศึกษาผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อการขึ้นรูปฟิล์มพอลีแลคติกแอซิด แล้วนำไปลามิเนตโดยใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสาน ศึกษาผลของกาวต่อการลามิเนตกับกระดาษเพื่อสามารถนำไปใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์ในอนาคต

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พอลิเมอร์ (Polymer) [18]

พอลิเมอร์ คือ โมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ประกอบไปด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กัน (Repeating Unit) ที่เรียกว่า เมอร์หรือมอนอเมอร์ (Monomer) จำนวนมาก ดังนั้นชื่อของพอลิเมอร์ต่างๆ จึงมักจะมีคำนำหน้าว่า พอลิ และตามด้วยชื่อของมอนอเมอร์ที่ประกอบอยู่ในโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน หมายถึง พอลิเมอร์ที่มีมอนอเมอร์ของกลุ่มเอทิลีน เป็นต้น โดยทั่วไปคำว่า พอลิเมอร์และพลาสติกมักจะมีการใช้งานแทนกันโดยหมายถึงสิ่งเดียวกันแต่ความจริงแล้วทั้งสองคำนี้มีความหมายแตกต่างกันอยู่พอสมควร คำว่าพอลิเมอร์นั้น หมายถึง วัสดุบริสุทธิ์เริ่มต้นที่ได้จากกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีในการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ในส่วนคำว่าพลาสติกนั้นจะหมายถึง พอลิเมอร์ที่มีการผสมสารเติมแต่งต่างๆ ลงไปผสมเข้าด้วยกันเพื่อให้พอลิเมอร์บริสุทธิ์นั้นมีสมบัติที่เหมาะสมต่อกระบวนการการผลิตหรือใช้งานเพิ่มมากขึ้น เช่น สารหน่วงการติดไฟ (Flame Retardant) ผงสี (Pigment) สารป้องกันแสงยูวี (Anti UV Agent) เป็นต้น

2.2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [1]

เทอร์โมพลาสติก คือ พลาสติกที่ประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลขนาดยาวที่ถูกยึดกันอยู่ด้วยพันธะแวนเดอร์วาลส์ซึ่งไม่แข็งแรงมากนัก เมื่อสายโซ่โมเลกุลเหล่านี้ได้รับความร้อน พันธะที่ยึดแต่ละสายโซ่เข้าด้วยกันจะมีความอ่อนแอลงและสายโซ่ก็จะเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ทำให้พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะที่อ่อนนุ่มลงและหลอมเหลวในที่สุดเมื่ออุณหภูมิสูงเพียงพอ เมื่อเย็นตัวลง พลาสติกหลอมเหลวดังกล่าวสามารถแข็งตัวได้อีกครั้ง ความสามารถในการหลอมเหลวและแข็งตัวได้ใหม่หลายครั้งเป็นข้อดีของเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากสามารถทำให้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันข้อเสีย คือ พลาสติกประเภทนี้มักจะไม่ทนทานต่ออุณหภูมิสูง นอกจากนี้ในแต่ละรอบของการหลอมเหลวนั้น พลาสติกที่แข็งตัวกลับมาใหม่มักจะมีสมบัติที่ด้อยกว่าอีกด้วย เทอร์โมพลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภท คือ พลาสติกกึ่งผลึก (Semi Crystalline) และ พลาสติกอสัณฐาน (Amorphous) โดยพลาสติกอสัณฐานจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบ มีลักษณะทั่วไป คือ แข็ง ใสและเปราะ ในขณะที่พลาสติกกึ่งผลึกนั้นจะมีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบ แต่ไม่ทั้งหมดจึงทำให้ภายในโครงสร้างมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน พลาสติกในกลุ่มนี้จะมีสมบัติที่ยืดหยุ่นและเหนียวพอสมควร

2.2.1.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) [18]

พลาสติกในกลุ่มนี้จะมีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างกลับไปกลับมาใหม่โดยการให้ความร้อนเหมือนกับพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากก่อนกระบวนการผลิต โครงสร้างของพลาสติกจะยังเป็นสายโซ่โมเลกุลที่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสามมิติด้วยพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรง จึงมีผลทำให้เทอร์โมเซตติงไม่สามารถใช้ความร้อนเพื่อหลอมเหลวได้แต่จะไหม้และเสื่อมสภาพไป มีสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิมข้อดีของพลาสติกกลุ่มนี้ คือ มีความแกร่ง แข็งแรงสูงและทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดี

2.2.2 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ [31]

พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ชนิดหนึ่งที่มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์และแบคทีเรียในธรรมชาติเมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช รวมถึงมันสำปะหลังและข้าวโพดที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้น วงจรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีรูปแบบ คือ มีสมบัติในการใช้งาน เช่นเดียวกับพลาสติกโดยทั่วไปแต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็เกิดการย่อยสลายได้

2.2.3 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid: PLA) [2, 9]

พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable Resource) ซึ่งได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น แล้วนำมาเข้ากระบวนการในการเปลี่ยนโครงสร้างของสายโซ่ให้เป็นแลคไทด์ ซึ่งแลคไทด์เกาะกันเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้นเรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด ซึ่งมีความแตกต่างของโครงสร้างภายในสายโซ่ พอลิดีแลคติกแอซิด (Poly D,L-Lactic Acid) เป็นพอลิเมอร์ที่เกาะกันอย่างหลวมๆ เหมาะกับการใช้งานด้านทางเภสัชกรรม ทางด้านยา ส่วนพอลิแอลแลคติกแอซิด (Poly L-Lactic Acid) มีความแข็งแรงมากกว่า จึงนำมาใช้เป็นวัสดุเย็บแผลและใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมกระดูกชิ้นเล็กๆ นอกจากนี้พอลิแลคติกแอซิดมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพไม่เป็น

มลภาวะ แต่ด้วยสมบัติบางประการยังไม่สามารถทดแทนพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้พอลิแลคติก-แอซิดสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกปิโตรเลียม



รูปที่ 2.1 พอลิแลคติกแอซิด

เนื่องจากสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอซิดยังมีข้อด้อยทางด้านค่าสภาพการยืดหยุ่นและค่าการยึดตัว ณ จุดขาด เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน อาทิเช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน ดังตารางที่ 2 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติทางกลทางด้านความทนต่อแรงดึง ยัคมอดูลัส และร้อยละการยืดตัวก่อนขาดของพอลิแลคติกแอซิดให้ดีขึ้นและสามารถนำไปใช้งานได้ในอนาคต

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติระหว่างพอลิแลคติกแอซิด พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน

สมบัติ	พอลิแลคติกแอซิด (PLA)	พอลิเอทิลีน (PE)	พอลิโพรพิลีน (PP)
Tensile Strength (MPa)	44-66	13.4-30.5	35.5
Young's Modulus (MPa)	53-70	287-1550	1312
Elongation at Break (%)	100-180	515-600	400
Melt Temperature (T_m)	130-215	110-129	165

2.2.4 กาว [24]

กาว ROBOND™ L-90D กาวสำหรับฟิล์มยืดหยุ่น/กาวสำหรับฟิล์มเคลือบ ROBOND L-90D เป็นกาวที่พร้อมใช้งาน กาวอะคริลิก ชนิดน้ำที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการของการเคลือบฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร กาวชนิดน้ำจะมีการใช้งานที่ง่าย

2.2.4.1 สมบัติทั่วไป

ก. ความเป็นกรด-เบส 6.5-7.5

ข. ความหนืด cPs<50

ค. ร้อยละของแข็งร้อยละ 41.5 ± ร้อยละ1

ง. ความหนาแน่น ปอนด์ต่อแกลลอน (lb/US gal)

จ. อายุการเก็บรักษา 420 วัน (โดยไม่เปิดตู้คอนเทนเนอร์เก็บโดยการแช่แข็ง)

2.2.4.2 สมบัติและการใช้งานของกาว

ก. ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 100

ข. มีกลิ่นน้อย

ค. ความแข็งแรงของพันธะสูง

ง. ใช้งานสำหรับการยึดติดของฟิล์ม

จ. มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ฟิล์ม

2.2.5 พลาสติกไซเซออร์ [20]

พลาสติกไซเซออร์เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความนิ่ม ความสามารถในการยืดและความยืดหยุ่นแก่ชิ้นงาน พลาสติกไซเซออร์ที่เติมจะช่วยทำให้แรงดึงดูระหว่างโซ่พอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากตัวมันจะเกิดพันธะกับโซ่พอลิเมอร์โดยพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาล์ว นอกจากนั้นช่วยให้โซ่พอลิเมอร์อยู่ห่างกันขึ้น ทำให้การพันกันระหว่างโซ่พอลิเมอร์ลดลง ทำให้โซ่พอลิเมอร์เป็นอิสระเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเพิ่มขึ้นความสามารถในการผสมระหว่างพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซออร์จะเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีตลอดอายุการใช้งานเป็นเรื่องที่สำคัญที่ควรคำนึงถึง นอกจากนี้การเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์หรือพลาสติกไซเซออร์เนื่องจากความร้อน แสง และสภาวะแวดล้อมทางเคมี อาจทำให้ระบบเปลี่ยนไปมีผลทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์นั้นเปลี่ยนไปในทางลบด้วย

พลาสติกไซเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.5.1 พลาสติกไซเซอร์แท้จริงหรือพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticizer)

พลาสติกไซเซอร์แท้จริงสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิขึ้นรูปได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ ได้ และไม่เด้งออกมาจากพอลิเมอร์

2.2.5.2 พลาสติกไซเซอร์เสริมหรือพลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizer)

พลาสติกไซเซอร์เสริมมีความสามารถในการเข้ากันกับเนื้อพอลิเมอร์ได้จำกัด จึงไม่สามารถใช้ตามลำพังได้ ต้องใช้ควบคู่กับพลาสติกไซเซอร์แท้จริงและช่วยเสริมประสิทธิภาพของพลาสติกไซเซอร์แท้จริง นอกจากนี้การใช้พลาสติกไซเซอร์เสริมยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ด้วย

2.2.6 โพรพิลีนไกลคอล (Propylene Glycol: PG) [2, 19, 20]

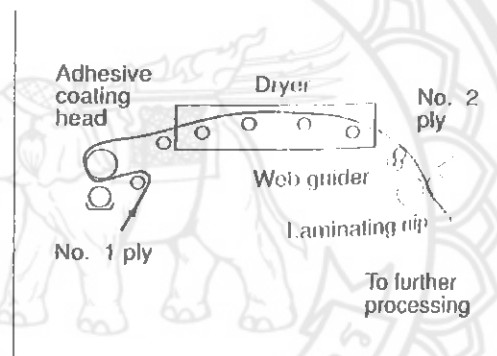
โพรพิลีนไกลคอล มีชื่ออื่น 1,2-Propanediol, 1,2-Dihydroxypropane, Methyl Ethylene Glycol, Methyl Ethyl Glycol, MEG, Propane-1,2-diol, PG, Alpha-Propylene Glycol สูตรโมเลกุล $C_3H_8O_2$ น้ำหนักโมเลกุล 76.09 ลักษณะทางกายภาพของเหลว ค่อนข้างหนืด ชื่นใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นโพรพิลีนไกลคอลเป็นสารกลุ่มไกลคอล (Glycol) ตัวหนึ่งจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมใช้เป็นตัวทำละลายหรือ เจือจาง น้ำหอม ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์หรือใช้เป็นตัวทำละลาย หัวกลั่นน้ำเข้มข้น ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารใช้เป็นตัวทำละลายวิตามิน ชนิดที่ละลายในน้ำใช้เป็นสารกันเสียในเครื่องสำอางค์ที่อยู่ในรูปของครีมหรืออิมัลชันใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำยาบ้วนปาก ยาสีฟัน ครีมทาผิว และแชมพู

2.2.7 เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol: EG) [2, 19, 20]

สูตรโมเลกุล $C_2H_6O_2$ น้ำหนักโมเลกุล 62.07 ลักษณะทางกายภาพเอทิลีนไกลคอล เป็นของเหลวใสและหนืด จนกระทั่งเป็นของแข็งคล้ายแว็กซ์ขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่หรือน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายน้ำ แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์ เสถียรต่อความร้อนและสารเคมีหลายชนิด ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์สารปรับความนุ่ม สารปรับความชุ่มชื้น สารหล่อลื่น วัสดุเคลือบกระดาษเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางค์ ยา เป็นตัวทำละลาย และเป็นแอดดิทีฟในอาหาร

2.2.8 การลามิเนต (Laminate) [25]

ลามิเนต มีความหมายว่า “การทำให้เป็นแผ่นบางๆประกอบด้วยชั้นบางๆ” เช่นเดียวกับฟิล์มพลาสติกลามิเนต หมายถึง แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการลามิเนตโดยการนำฟิล์มพลาสติกหลายๆ ชั้นมาเคลือบติดเข้าด้วยกันเป็นฟิล์มแผ่นเดียวหรือการเคลือบฟิล์มพลาสติกเข้ากับวัสดุอื่นๆ เช่น กระดาษหรือฟอยล์โลหะ โดยทำการยึดติดระหว่างชั้นฟิล์มด้วยการใช้ความร้อนหรือใช้กาว โดยฟิล์มลามิเนตจะมีจำนวนชั้นของฟิล์มมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิต กระบวนการผลิตฟิล์มลามิเนต ทำได้สองวิธีหลักๆ ได้แก่ การลามิเนตให้ฟิล์มยึดติดประสานกันด้วยความร้อน (Thermal Lamination) และการลามิเนตโดยใช้กาว (Adhesive) เป็นตัวประสานให้ฟิล์มยึดติดกัน (Wet Lamination)



รูปที่ 2.2 กระบวนการลามิเนตโดยใช้กาว ร่วมกับการเป่าแห้ง [25]

กระบวนการลามิเนตฟิล์มในรูปที่ 2.2 เป็นขั้นตอนกระบวนการลามิเนตฟิล์มโดยใช้กาวประเภทที่ไม่ใช่ของแข็งร้อยละ 100 จึงจำเป็นต้องมีเครื่องเป่าลมร้อนเพื่อเป่าไล่ไอน้ำและตัวทำละลายอื่นๆ ให้เหลือแค่เนื้อของกาวหรือสารเคลือบประสานฟิล์มที่มีสมบัติของแข็งร้อยละ 100 เท่านั้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ฟิล์มมีสมบัติที่พร้อมจะทำการลามิเนตในกระบวนการต่อไป

2.2.9.1 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบสมบัติพื้นฐานของวัสดุ การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงขึ้นทดสอบ ซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ใต้สภาวะการยืดและเป็นการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้นนั้น คือ การเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (Gauge Length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว

2.2.9.2 แรงเค้นและความเครียด

แรงเค้น (Stress) ในการทดสอบแรงดึง น้ำหนักดึงจะแทนด้วยสัญลักษณ์ F ในหน่วยของปอนด์กิโลกรัมหรือนิวตัน ความแข็งแรงดึงคิดเป็นน้ำหนักที่ชิ้นทดสอบสามารถทนได้ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด น้ำหนักเทียบกับพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางหน่วยเรียกว่า แรงเค้น (Stress, σ) โดยแรงเค้นจะมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) หรือพาสคาล (Pa) ในหน่วยเมตริกน้ำหนักจะบันทึกเป็นกิโลกรัมแล้วแปลงเป็นนิวตัน ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะคิดเป็นตารางเมตรซึ่งจะได้หน่วยของแรงเค้นเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือพาสคาล (Pa) โดย 1 MPa เท่ากับ $145 \text{ lb}/\text{in}^2$ และ $1000 \text{ lb}/\text{in}^2$ เท่ากับ 6.985 MPa เมื่อพิจารณาแท่งทรงกระบอกที่มีความยาวเป็น L_0 และมีพื้นที่หน้าตัดเป็น A_0 ได้รับความดึงในทางเดียว F จะได้แรงเค้น σ ที่กระทำกับแท่งโลหะ ดังสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ = แรงเค้น

F = แรงการดึงในทางเดียวเฉลี่ย

A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น

ถ้าชิ้นทดสอบแรงดึงมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมสูตรคำนวณแรงเค้นจะได้เป็น

$$\sigma = \frac{F}{WD} \quad (2.2)$$

เมื่อ σ = แรงเค้น

F = แรงกระทำ

W = ความกว้างของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

D = ความยาวของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

2.2.9.3 ความเครียด (Strain)

เมื่อแท่งโลหะได้รับแรงดึงในทางเดียวจะทำให้แท่งโลหะเกิดการยืดออกในทิศทางของแรงนั้น การเคลื่อนนี้เรียกว่า ความเครียด โดยนิยามความเครียดเป็นการยืดอันเนื่องจากแรงดึงทางเดียวที่กระทำกับชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นทดสอบในทิศทางของแรงนั้นเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ ดังนั้นก่อนทำการทดสอบต้องวัดพื้นที่หน้าตัดและระยะทดสอบเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ โดยระยะทดสอบเริ่มต้นจะให้เป็นเครื่องหมายสองจุดบนชิ้นทดสอบ อุปกรณ์วัดการยืดหรือความเครียดจะใช้ในการวัดระยะยืดของชิ้นทดสอบในระหว่างการทดสอบ หรืออาจวัดจากผลต่างของระยะห่างของสองจุดข้างต้น ผลต่างระหว่างระยะทดสอบเริ่มต้นกับสุดท้ายเรียกว่าระยะยืด (Elongation) หน่วยของระยะยืดใช้เป็นนิ้วหรือมิลลิเมตร และถ้านำระยะยืดหารด้วยระยะทดสอบเริ่มต้นเรียกว่า ความเครียด สามารถหาได้ดังสมการ

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.3)$$

เมื่อ l_0 คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ

l คือ ความยาวชิ้นทดสอบหลังการดึง

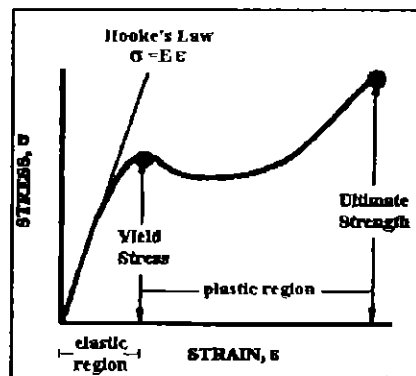
Δl คือ ผลต่างความยาวของชิ้นทดสอบ

2.2.9.4 ยั่งค้มอดูลัส (Young's Modulus)

คือ อัตราส่วนของความเค้น (σ) ต่อความเครียด (ϵ) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) โดยวัสดุที่มีมอดูลัสของยังมากแสดงว่าวัสดุมีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือวัสดุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยในขณะที่มีความเค้นมาก ที่ความเครียดต่ำๆ พอลิเมอร์มีพฤติกรรมเป็นแบบยืดหยุ่นได้แต่ความเครียดสูงๆเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร โดยที่ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดไม่เป็นเชิงเส้น อุณหภูมิมีผลต่อความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ที่ความเค้นเดียวกันวัสดุเปลี่ยนรูปมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทอร์โมพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงความเครียดอย่างรวดเร็วมีค่ามอดูลัสมากกว่ากรณีที่มีความเครียดมีความเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ที่ความเครียดสูงสุดเดียวกัน สำหรับกรณีของวัสดุยืดหยุ่นแบบสมบูรณ์ความเค้นแปรผันตรงเป็นเชิงเส้นกับความเครียด

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad ; \quad E = \text{Young's Modulus} \quad (2.4)$$

ความสัมพันธ์แบบทั่วไประหว่างความเค้นกับความเครียดแสดงดังรูปที่ 2.3 จากรูป ตอนแรกความเค้นกับความเครียดมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงหรือว่าวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น สามารถหาค่า E ได้จากความชันของกราฟในช่วงนี้จากนั้น เมื่อเพิ่มความเค้นให้กับวัสดุขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดคราก (Yield Point) ความเค้น ณ จุดนั้น คือ ความเค้น ณ จุดคราก (Yield Stress) หรือ เรียกว่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุนั้นจะทนได้ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนรูปถาวรและในช่วงของการเปลี่ยนรูปถาวรนี้ เมื่อให้แรงเพิ่มขึ้น วัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปไปเรื่อยๆ จนเมื่อถึงจุดที่วัสดุจะเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน เรียกค่าความเค้นที่วัสดุทนได้สูงสุดก่อนการแตกหักว่า ค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength)



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด [18]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ โพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลในอัตราส่วนต่างๆ ของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอร์

3.1 การเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acids: PLA) เกรด 4043D จากบริษัท Nature Work LLCC

3.1.1.2 โพรพิลีนไกลคอล (Propylene Glycol: PG) มวลโมเลกุล 76.09 จากบริษัท Sigma Aldrich

3.1.1.3 เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol: EG) มวลโมเลกุล 62.07 จากบริษัท Sigma Aldrich

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องเป่าฟิล์ม (Blow Film)

3.1.2.2 ตู้อบไล่ความชื้น

3.1.2.3 เครื่องชั่งสาร

3.1.2.4 บีกเกอร์

3.1.2.5 กรวยกรอง

3.1.3 การขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.1.3.1 นำพอลิแลคติกแอซิด 22 กิโลกรัมไปทำการอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.1.3.2 ชั่งพอลิแลคติกแอซิดตามปริมาณที่กำหนด ได้แก่ 3000, 2940, 2880 และ 2820 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทั้งหมด 2 ครั้ง

3.1.3.3 ชั่งโพรพีลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลปริมาณที่กำหนดดังนี้ 60, 120 และ 180 กรัม ด้วยเครื่องชั่งสารเตรียมใส่ไว้ในบีกเกอร์

3.1.3.4 ผสมพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสติกไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด คือ โพรพีลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลในอัตราส่วน 98:2 %wt 96:4 %wt และ 94:6 %wt

3.1.3.5 ขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเครื่องเป่าฟิล์มที่ละอัตราส่วน และเมื่อได้ฟิล์มในความยาวที่ต้องการแล้วให้ทำการปรับเปลี่ยนความเร็วของลูกกลิ้ง ได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที และความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที เพื่อทำการปรับเปลี่ยนความหนาของแผ่นฟิล์มแต่ละอัตราส่วน

3.1.3.6 ทำการตัดแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้วใส่ถุงซิปลงเก็บกักกับอัตราส่วนโดยละเอียดเพื่อสะดวกต่อการนำมาทดสอบสมบัติหลังจากการขึ้นรูปต่อไป

3.2 ขั้นตอนการลามิเนตฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.2.1 วัสดุและสารเคมี

3.2.1.1 ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่มีความหนา 0.02 มิลลิเมตร 0.03 มิลลิเมตร 0.05 มิลลิเมตร

3.2.1.2 กาว ROBOND™ L-90D

3.2.1.3 กระดาษ 60 และ 80 แกรมที่ใช้ในการลามิเนตมีความหนา 0.08 และ 0.1 มิลลิเมตร

3.2.2 การลามิเนตฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

3.2.2.1 ตัดชิ้นงานให้มีขนาด กว้าง 25.4 มิลลิเมตรยาว 250 มิลลิเมตร

3.2.2.2 นำชิ้นงานไปทำการลามิเนตด้วยลูกกลิ้งให้ความร้อนเพื่อให้กาวเชื่อมติดกระดาษ

3.2.2.3 กาวที่ใช้ในการลามิเนตกระดาษครั้งละ 3 มิลลิลิตร ลามิเนตกระดาษได้ทั้งหมด

3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

3.3.1 สมบัติการทนแรงดึงทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D 882

3.3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการทนแรงดึง

ก. เครื่องมือทดสอบการทนแรงดึง Universal Testing Machine

ข. ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบ [22]

3.3.1.2 วิธีการทดสอบสมบัติการทนแรงดึง

ก. ตัดชิ้นงานให้มีขนาดตามตัวอย่างให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 mm x 140 mm โดยตัดแผ่นฟิล์มพลาสติกชุดการทดลองละ 5 ชิ้น สำหรับการทดสอบในแนวยาว (Machine Direction: MD) และในแนวขวาง (Transverse Direction: TD)

ข. โดยต่อหัวที่ใช้ในการดึงขนาด 1 กิโลนิวตัน

ค. ตั้งค่าความเร็วในการดึงชิ้นงานโดยความเร็วที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดตัว สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ ความเร็วในการดึง (Crosshead Speed) 500 มิลลิเมตร ต่อนาที

ง. ใส่ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบกับตัวเครื่องกำหนดค่าความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นงานที่ใช้ลงในโปรแกรมตั้งค่าเริ่มต้นของระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge Length) เท่ากับศูนย์ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบชิ้นงาน

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน

3.4.1 สมบัติการย่อยสลาย ตามมาตรฐาน ASTM D 5338 ใช้ชิ้นงานทดสอบตาม ASTM D 5338

3.4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการย่อยสลาย

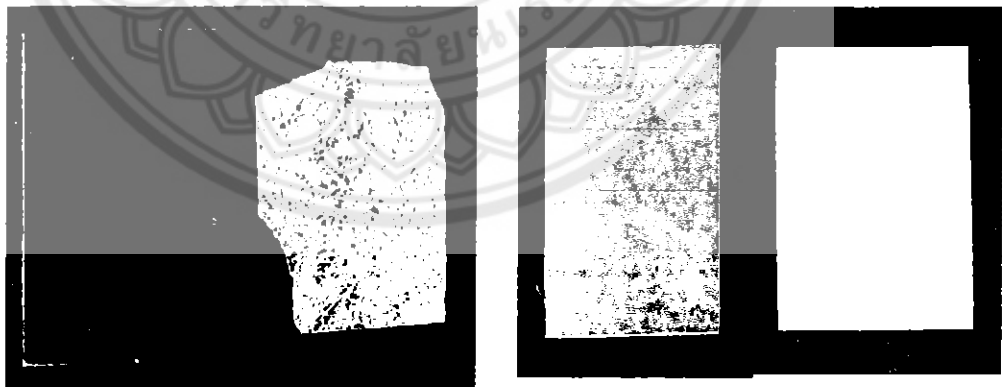
- ก. फिल्मพอลิแลคติกแอซิด
- ข. ดินที่ใช้ในการปลูกต้นไม้ (ควรมีค่า pH 6-8)
- ค. ภาชนะที่ใช้ใส่การทดสอบ

3.4.1.2 วิธีการทดสอบสมบัติการย่อยสลาย

ก. फिल्मพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดจะถูกตัดให้ได้ขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 10 ซม.

ข. ดินที่ใช้ปลูกต้นไม้ มี pH 7.26

ค. เตรียมกระบะและดิน หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ตัดได้ตามขนาดทั้งหมดจำนวน 5 ชิ้นต่อสูตร ฝังลงในกระบะแล้วใส่ดินลงไปในกระบะหรือภาชนะสำหรับใช้ในการทดสอบ โดยตรวจวัดอุณหภูมิทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วทำการบันทึกผลการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของฟิล์ม ดังตัวอย่างชิ้นงาน



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ย่อยสลาย [31]

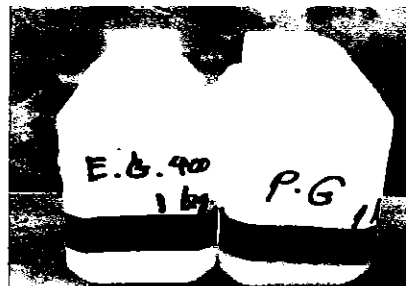
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 พอลิแลคติกแอซิด

จากการทดลองการเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดด้วยการเติมสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ตั้งค่าอุณหภูมิของหัวตายน์ขึ้นรูป 160 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบสกรูของเครื่องเป่าฟิล์ม 100 รอบต่อนาที และความเร็วลูกกลิ้งที่ใช้ในการดึงฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที และความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที มีผลต่อความหนาของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดทำให้ฟิล์มมีความหนาเฉลี่ย 0.05 มิลลิเมตร 0.03 มิลลิเมตร และ 0.02 มิลลิเมตร ตามความเร็วของลูกกลิ้ง หลังจากผสมเข้าด้วยกันระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนที่กำหนดข้างต้นเพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด เมื่อขึ้นรูปแล้วนำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด มาทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติการย่อยสลายตามมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด

รูปที่ 4.1 พอลิแลคติกแอซิด



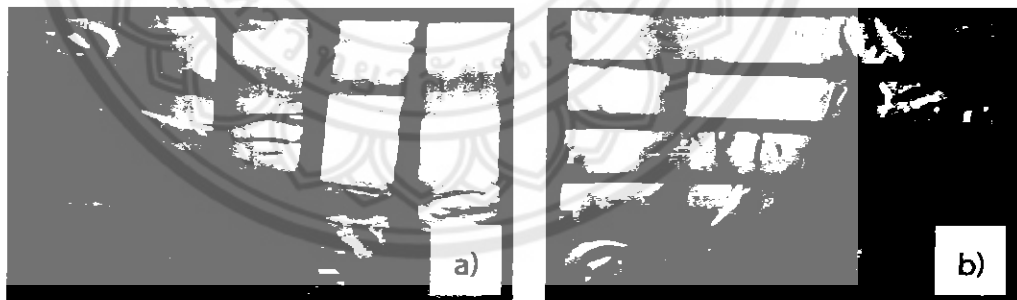
รูปที่ 4.2 โพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt

4.2 ชิ้นงานทดสอบ

เมื่อขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt โดยความเร็วลูกกลิ้งที่ใช้ในการดึงฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ความหนาของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีความหนาเฉลี่ย 0.05 มิลลิเมตร 0.03 มิลลิเมตร และ 0.02 มิลลิเมตร ตามความเร็วของลูกกลิ้ง

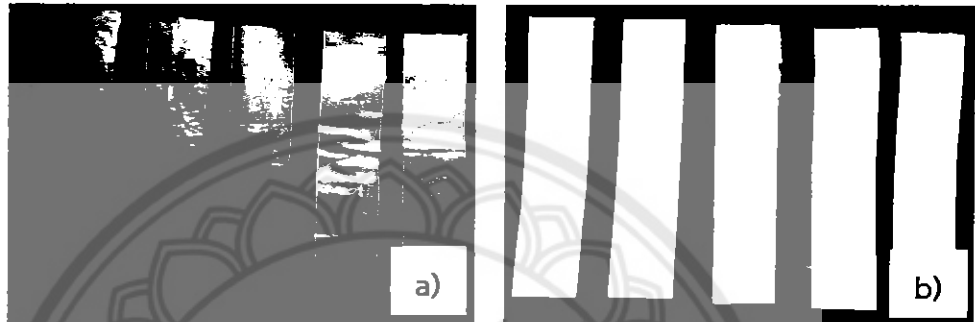
4.2.1 ชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล

หลังจากขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดแล้วนำฟิล์มมาตัดชิ้นงานให้มีขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร เป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และสมบัติโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ทดสอบชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 882 การตัดชิ้นงานทดสอบจะตัดชิ้นงานในแนวตามการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด (MD) และแนวขวางการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด (TD) ชิ้นงานทดสอบแต่ละสูตร ในความเร็วลูกกลิ้งต่างๆ แนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปของฟิล์ม รวมชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 210 ชิ้นงาน



รูปที่ 4.3 ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกล a) ตามแนวการขึ้นรูป
b) แนวขวางการขึ้นรูป

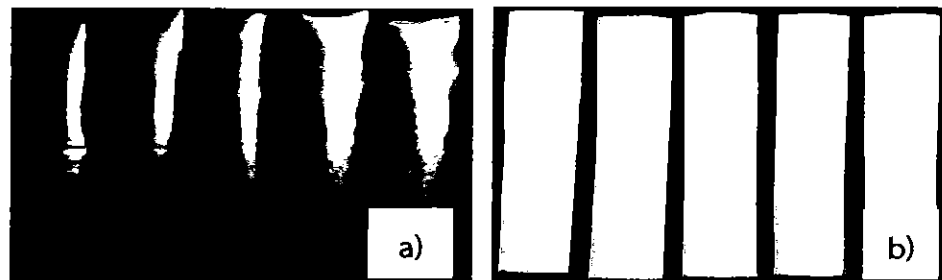
หลังจากได้ชิ้นงานฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเติมสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนต่างๆ นำชิ้นงานฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกับกระดาษ 2 ชนิด คือ กระดาษ 60 แกรม และกระดาษ 80 แกรม ขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 กว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร เป็นชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และสมบัติโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น รวมชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 210 ชิ้นงาน



รูปที่ 4.4 ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกล a) ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม
b) ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม

4.2.2 ชิ้นงานทดสอบสมบัติการย่อยสลาย

เมื่อขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเติมสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ความเร็วลูกกลิ้งที่ใช้ในการดึงฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ตัดชิ้นงานทดสอบสมบัติการย่อยสลาย 2 แบบ คือ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดและฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ขนาดชิ้นงานทดสอบกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D 5338 ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 210 ชิ้นงาน

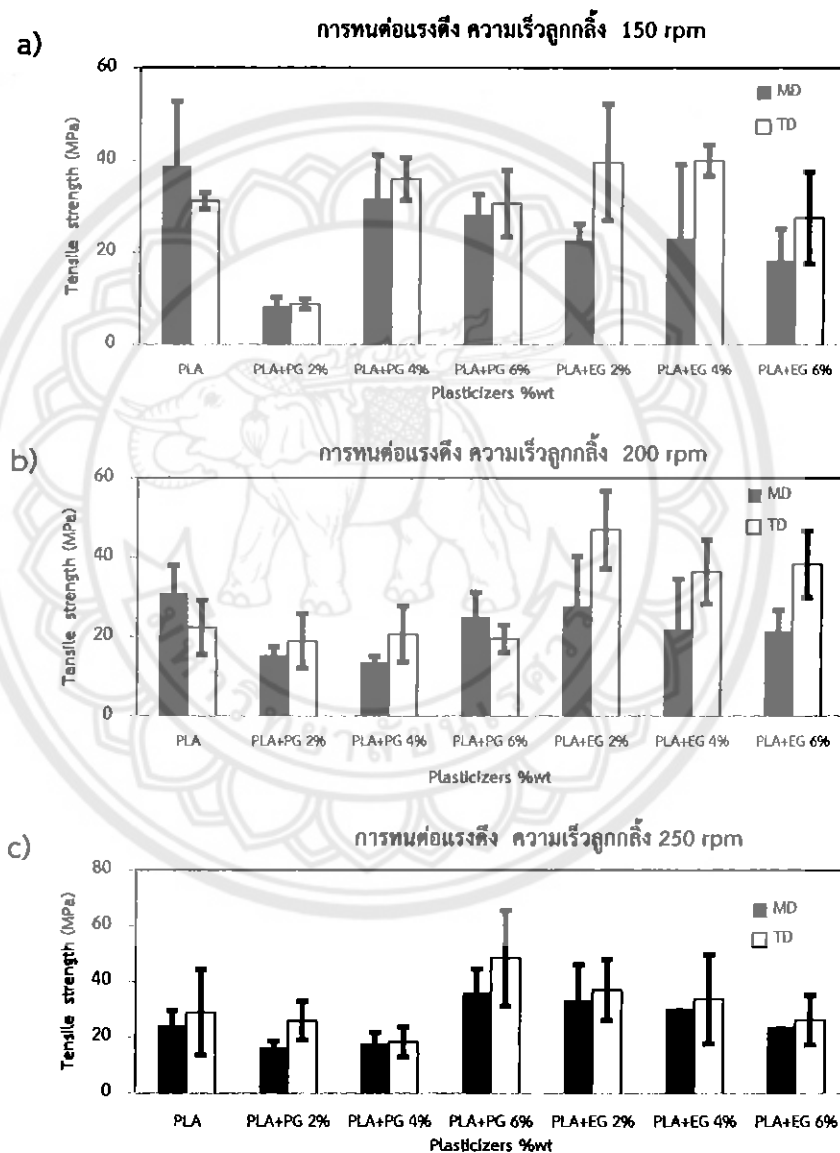


รูปที่ 4.5 ชิ้นงานทดสอบสมบัติการย่อยสลาย a) ชิ้นงานทดสอบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด
b) ชิ้นงานทดสอบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

4.3.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดในแนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปทั้งที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตาราง ก.1 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

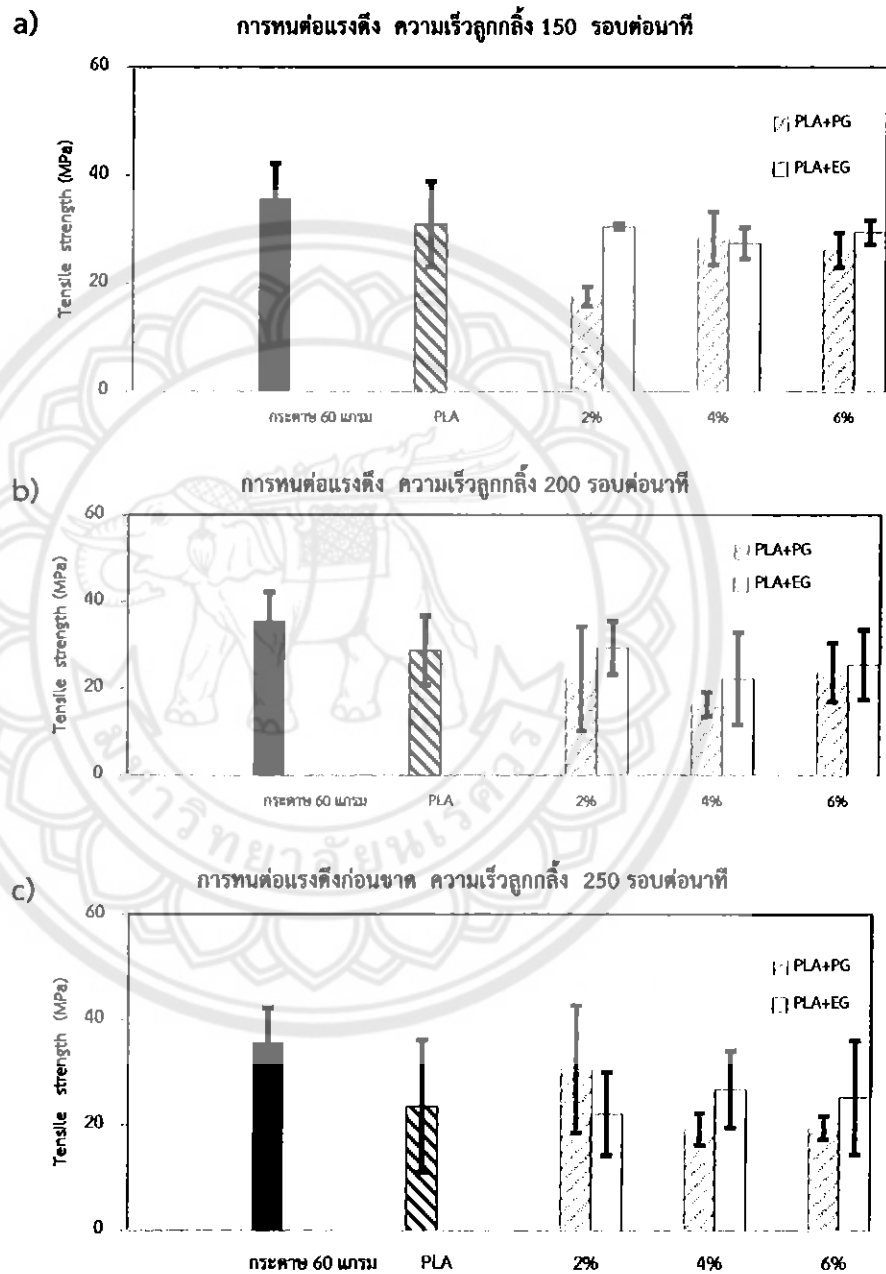
จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมและเติมพลาสติกไซเซอร์ ที่ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ทั้งในแนวตามและแนวขวาง การขึ้นรูปของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลมีค่าการทนต่อแรงดึงในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปทุกความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.30 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นมีค่าการทนต่อแรงดึงในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล ส่งผลให้การรับแรงในแนวตามการขึ้นรูปลดลง พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 49.96 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นมีค่าการทนต่อแรงดึงในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 6 %wt ในแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 48.48 เมกะปาสคาล ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Somwangthanoj และคณะ [2] ที่เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเข้มข้นสูงสุด ทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงขึ้นทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลในแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 39 เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

ในการทดสอบเมื่อให้แรงกับชิ้นงานทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร หลังจากนั้นให้แรงเพิ่มขึ้นจะทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนรูป เมื่อถึงจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน เรียกค่าความเค้นที่วัสดุทนได้สูงสุดก่อนการขาดว่า ค่าการทนต่อแรงดึงก่อนการขาดสูงสุด (Strength) จากผลการทดลองจะเห็นว่าฟิล์มในแนวตามการขึ้นรูปจะมีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มในแนวขวางการขึ้นรูปในทุกความเร็วลูกกลิ้ง ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที มีค่าการทนต่อแรงดึงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดก่อนขาดโดยเฉลี่ยมีค่ามากกว่าที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 และ 250 รอบต่อนาที เนื่องจากที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำจะมีแรงกระทำต่อชิ้นงานน้อยกว่าที่ความเร็วลูกกลิ้งสูง เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบจะมีการเพิ่มแรงให้กับชิ้นงานมากขึ้น จึงทำให้ชิ้นงานมีการทนต่อแรงดึงได้

มากกว่า ดังนั้นที่ความเร็วลูกกอล์ฟน้อยที่สุดจะมีค่าการทนแรงดังก่อนขาดโดยเฉลี่ยของชิ้นงานในแนว
ขวางการขึ้นรูปสูงกว่าในแนวตามการขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มพอลีแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมและ
เติมพลาสติกไซเซออร์ เมื่อพิจารณาในแนวขวางการขึ้นรูปฟิล์มพอลีแลคติกแอซิดที่เติม
โพรพิลีนไกลคอลมีค่าการทนต่อแรงดังก่อนขาดโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและฟิล์มที่เติมเอทิลีนไกล-
คอลมีค่าการทนต่อแรงดังก่อนขาดโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเมื่อพลาสติกไซเซออร์มีปริมาณเพิ่มขึ้น



ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอรลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตาราง ก.2 (ภาคผนวก ก)

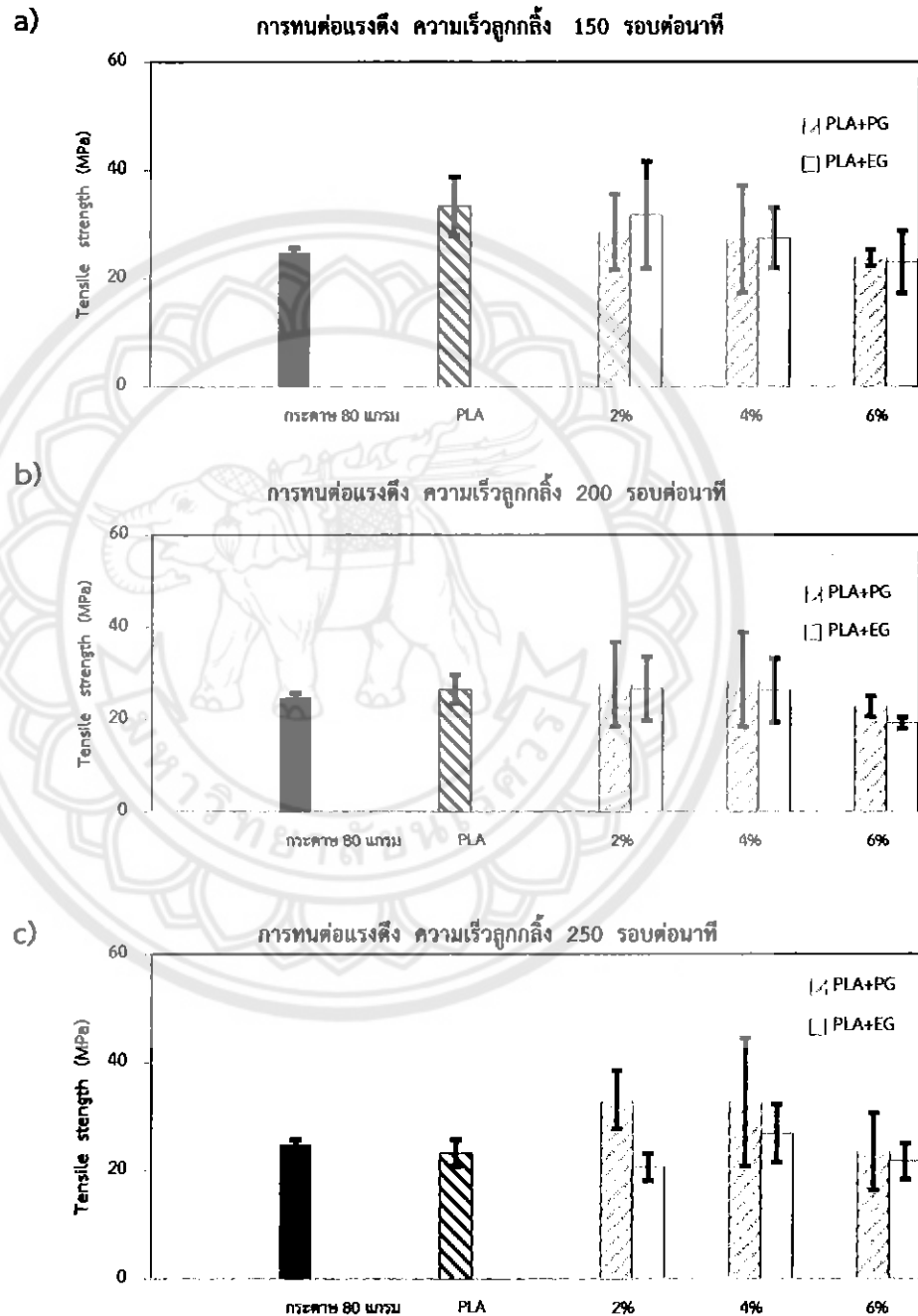


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอรของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม ที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ที่ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ในการทดลองกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 35.68 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ทุกความเข้มข้น เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันสามารถรับแรงได้น้อยกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 17.58 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล และเอทิลีนไกลคอลลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม ทุกความเข้มข้นมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 16.30 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม ส่งผลทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยลดลง โดยที่ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 30.64 เมกะปาสคาล จากผลการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีค่าการทนแรงดึงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 น้อยกว่ากระดาษ 60 แกรม แต่มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์มลามิเนตที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ทุกความเร็วลูกกลิ้ง โดยค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ไม่ได้ลามิเนต เนื่องจากการเชื่อมติดกันของวัสดุสองชนิดไม่สนิทกัน ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยน้อยลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนต

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอรลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตาราง ก.3 (ภาคผนวก ก)



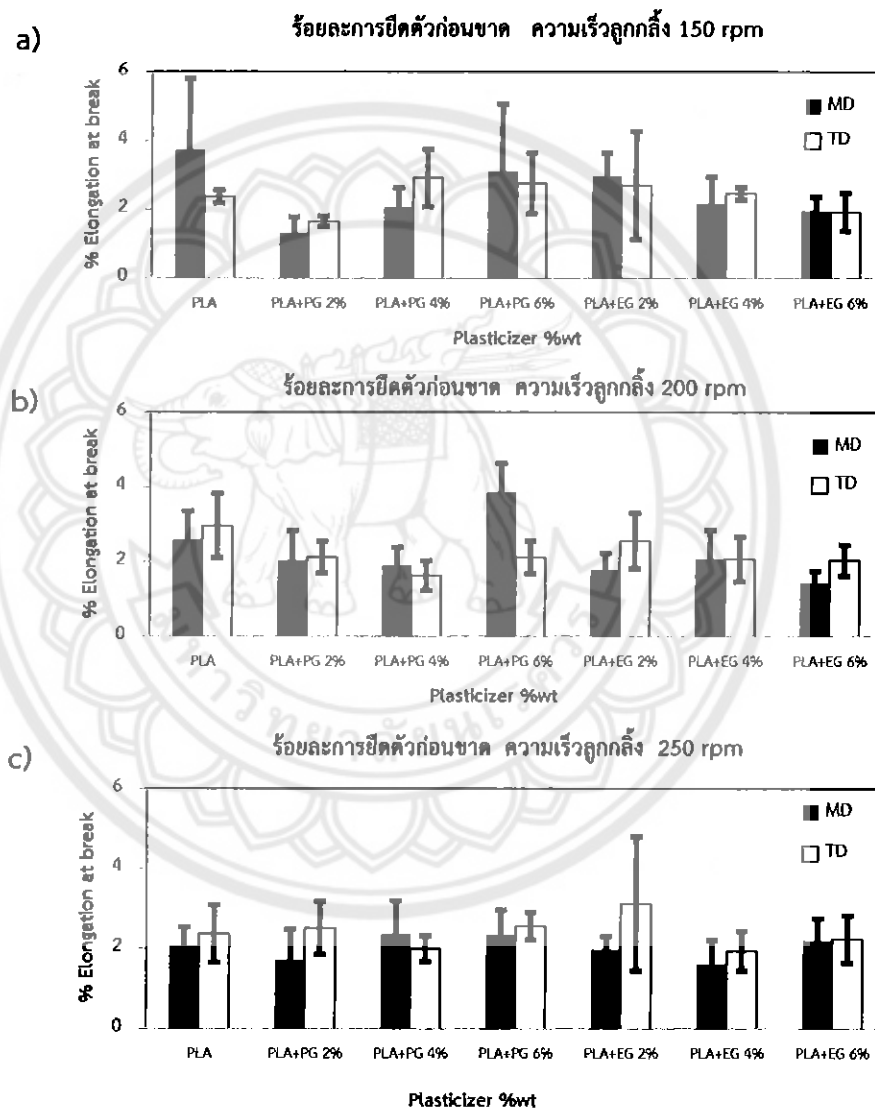
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอรของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์การทนต่อแรงดึงกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และกระดาษ 80 แกรม พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่าการทนแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33.40 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt มีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 19.14 เมกะปาสคาล เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมโพรพิลีนและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนทุกความเข้มข้น มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรมที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงเท่ากับ 33.02 เมกะปาสคาล จากผลการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลมีค่าการทนแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และกระดาษ 80 แกรม ที่มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 24.76 เมกะปาสคาล

ผลการทดลองฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำฟิล์มลามิเนตที่เติมพลาสติกไซเซออร์มีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เมื่อความเร็วลูกกลิ้งสูงขึ้นส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดึงของฟิล์มลามิเนตที่เติมพลาสติกไซเซออร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากฟิล์มลามิเนตที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงได้รับแรงในการขึ้นรูปบางส่วนจึงทำให้เมื่อมีแรงมากกระทำกับชิ้นงานเกิดการรับแรงได้น้อยกว่าความเร็วลูกกลิ้งต่ำ พิจารณาปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง เพราะพลาสติกไซเซออร์ที่เติมเข้าไปช่วยในการขึ้นรูปชิ้นงานให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เพิ่มการอ่อนตัวและมีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น จากผลการทดสอบกระดาษจะช่วยให้ชิ้นงานมีค่าการทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต ดังนั้นกระดาษช่วยทำให้ชิ้นงานมีค่าการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นแต่โดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาด

ผลการทดสอบสมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ ทั้งแนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปมีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตาราง ก.1 (ภาคผนวก ก)



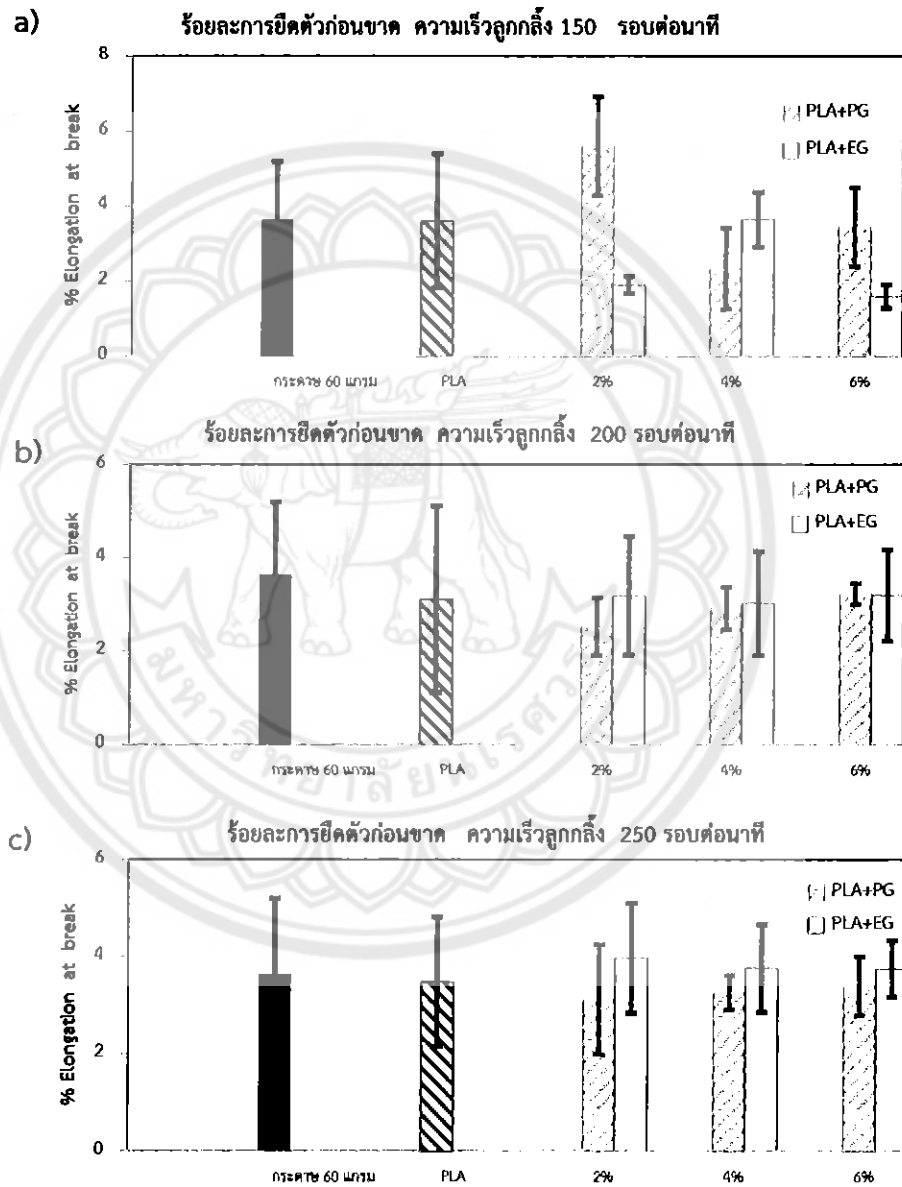
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.9 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที โดยทดสอบทั้งแนวตามและแนวขวางของการขึ้นรูป เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลทุกปริมาณความเข้มข้น มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าโดยเฉลี่ยต่างกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ จากผลการเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าการทดสอบชิ้นงานในแนวตามการขึ้นรูปมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดไม่เติมพลาสติกไซเซออร์เท่ากับร้อยละ 3.73 และในแนวขวางการขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณความเข้มข้น 6 %wt ในขณะที่ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณความเข้มข้น 2 %wt ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวตามการขึ้นรูปเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับในแนวขวางการขึ้นรูป พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 6 %wt มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวตามการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.87 ที่เทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นทั้งในแนวขวางและแนวตามการขึ้นรูปมีร้อยละการยึดตัวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2%wt มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวขวางการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.12 เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของของ A.Somwangthanoj และคณะ [2] ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ ปริมาณความเข้มข้น 5 %wt และ 7 %wt มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าสูง จากผลการทดลองร้อยละการยึดตัวก่อนขาดทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าที่แตกต่างกันที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำ แต่ที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าไม่แตกต่างกัน พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล ทุกความเข้มข้นทำให้ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวขวางการขึ้นรูปโดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ในทางกลับกันการเติมพลาสติกไซเซออร์มีผลทำให้ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดในแนวตามการขึ้นรูปลดลง

จากการทดลองร้อยละการยึดตัวก่อนขาดของชิ้นงานที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ เกิดจากการให้แรงกับชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานเกิดการยึดตัวได้ตามแรงที่กระทำกับชิ้นงานการยึดตัวก่อนขาด (ระยะยึด) คือ ผลต่างของความยาวก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ จากการทดสอบที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีระยะยึดในแนวตามการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ความเร็วลูกกลิ้งสูง แต่การยึดตัวในแนวขวางการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่ความเร็วลูกกลิ้งสูง เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลระยะยึดโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ทั้งในแนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับฟิล์มที่เติมเอทิลีนไกลคอลในปริมาณพลาสติกไซเซอร์สูงทำให้ระยะยึดโดยเฉลี่ยลดลง ที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงชิ้นฟิล์มที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์มีค่าการยึดของชิ้นงานทั้งในแนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปชิ้นงานโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน



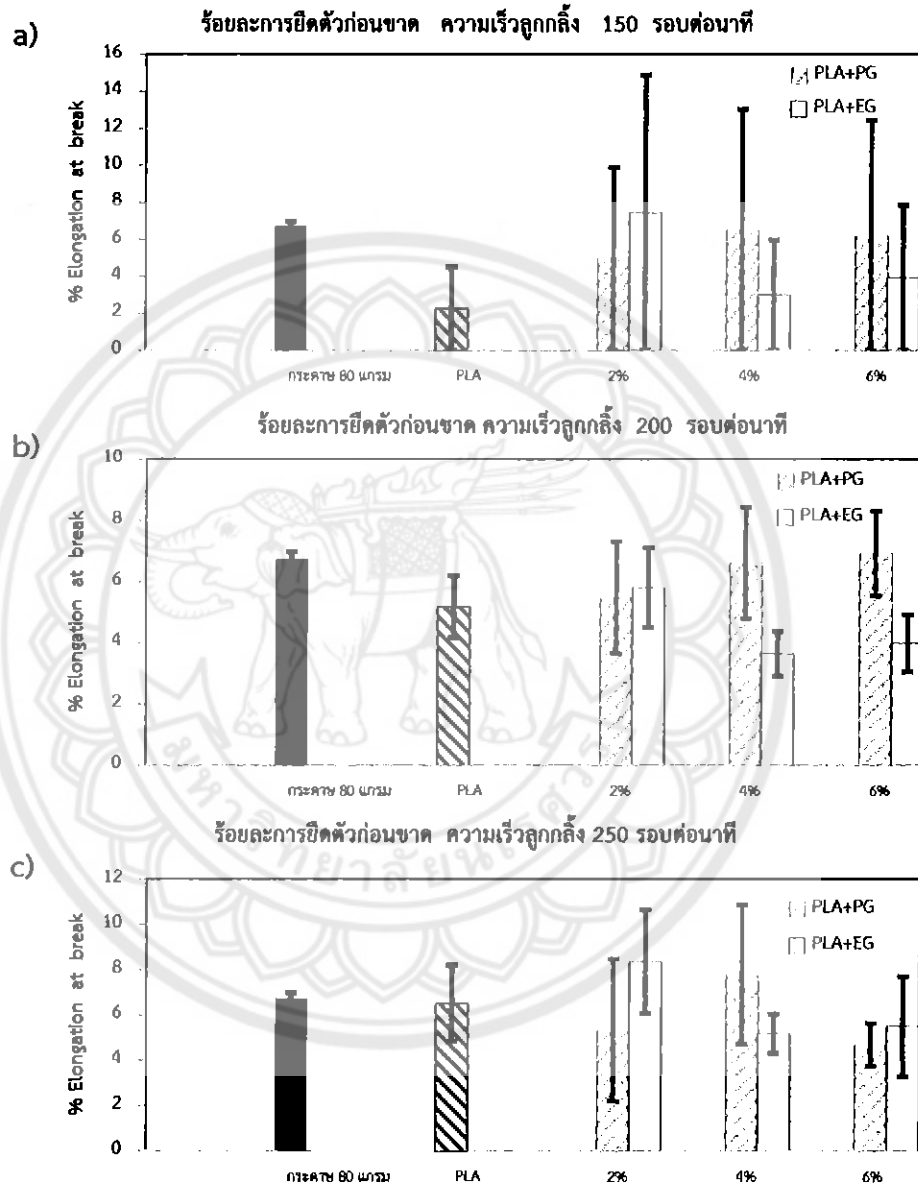
ผลการทดสอบสมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอรของฟิล์มพอลีแลคติกแอซิดที่ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตารางก.2 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอรของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.60 เพิ่มขึ้นจากฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ร้อยละ 36 ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่เติมโพรพิลีนไกลคอล จากผลการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 เมื่อเทียบฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และกระดาษ 60 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.6 การยึดตัวก่อนขาดของฟิล์มลามิเนตที่เติมพลาสติกไซเซออร์โดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำ มีระยะยึดเฉลี่ยสูงกว่าฟิล์มลามิเนตที่ความเร็วลูกกลิ้งสูง เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำฟิล์มลามิเนตที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระดาษช่วยทำให้ฟิล์มที่เติมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์มีระยะการยึดตัวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต พบว่าที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงฟิล์มลามิเนตที่เติมพลาสติกไซเซออร์ทุกความเข้มข้นมีการยึดตัวโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต

ผลการทดสอบสมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่
 ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง
 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ผลการทดสอบในตาราง ก.3 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยืดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์
 ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกลิ้ง 150 รอบต่อนาที
 b) ความเร็วลูกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 80 แกรม โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 7.44 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดแนวโน้มเฉลี่ยใกล้เคียงกัน พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt และ 6 %wt มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.62 และ 6.92 ตามลำดับ โดยเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 26 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.35 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม พบว่าร้อยละการยึดตัวก่อนขาดโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลมีผลทำให้ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม โดยมีแนวโน้มเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม

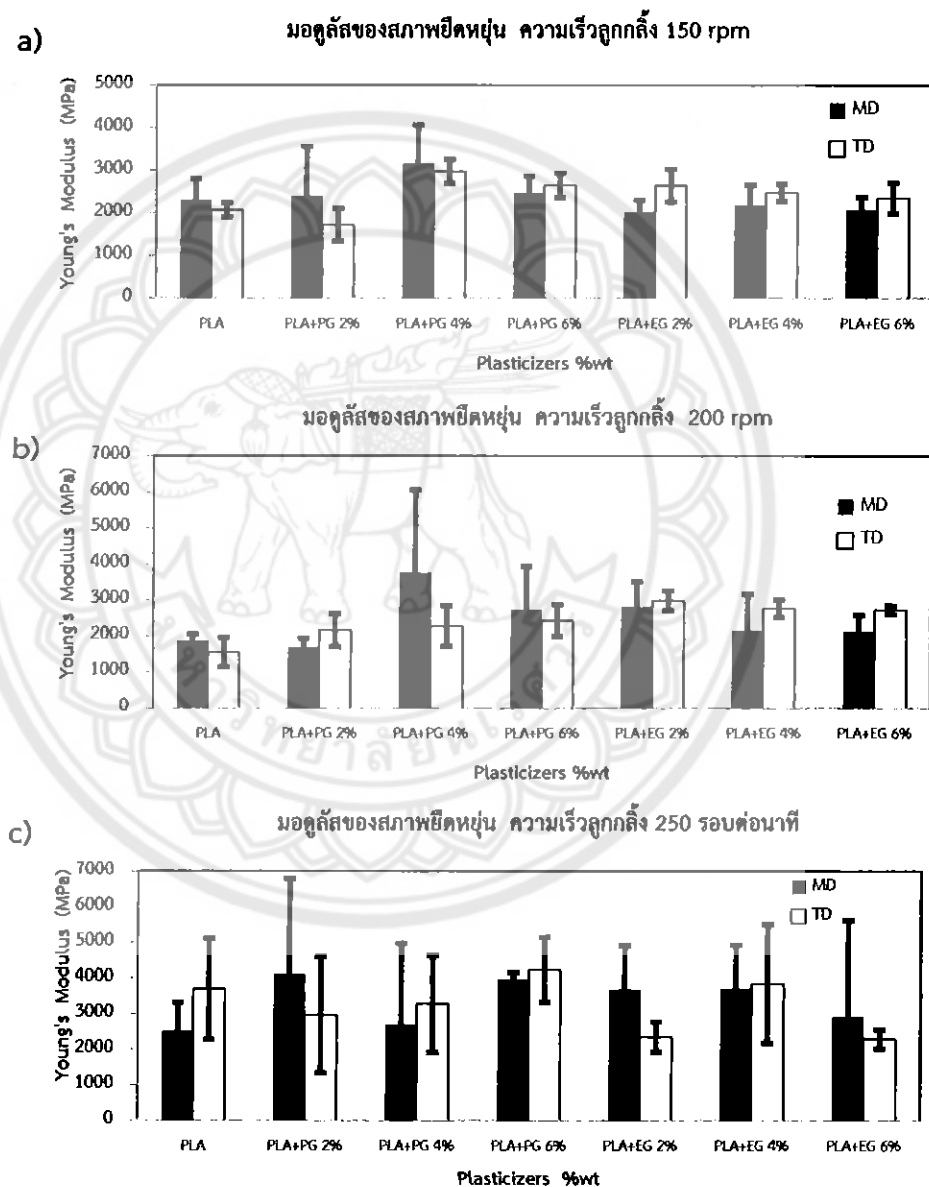
จากการทดลองฟิล์มลามิเนตที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าร้อยละการยึดตัวก่อนขาดโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 23 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่เติมเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นต่ำมีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดที่สูงกว่าความเข้มข้นสูง ที่เอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงเท่ากับร้อยละ 6.74 เมื่อพิจารณาการยึดตัวก่อนขาดของฟิล์มลามิเนตที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่าโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนตเนื่องจากกระดาษที่ใช้ในการ

ลามิเนตมีผลต่อการยึดตัวของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานรับแรงได้มาก ดังนั้นฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 และ 80 แกรม มีระยะยึดที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลูกกลิ้งและปริมาณของพลาสติกไซเซอร์มีแนวโน้มการยึดตัวโดยเฉลี่ยเหมือนกัน แต่ฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีระยะการยึดตัวได้มากกว่าฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม



4.3.3 ผลการทดสอบสมบัติโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น

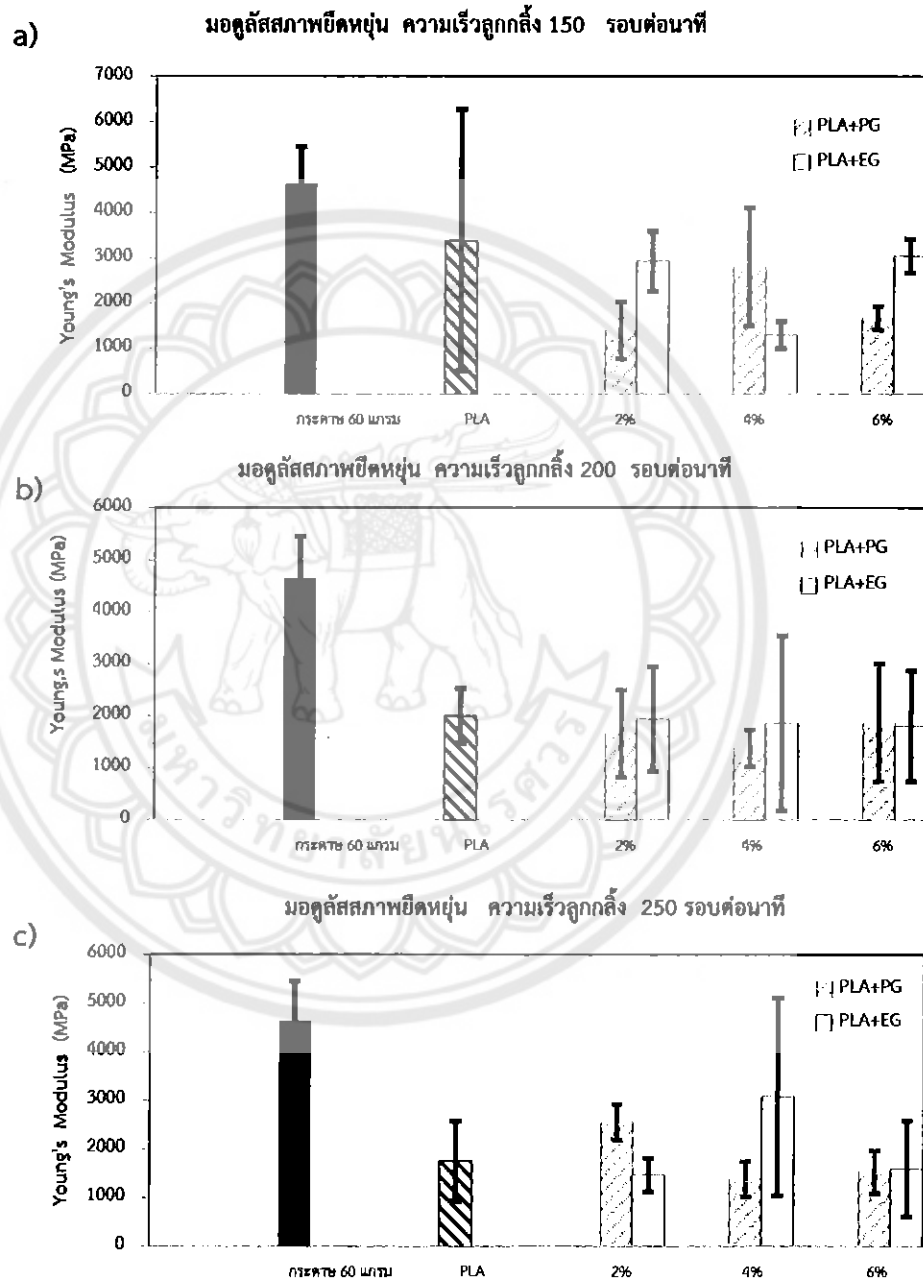
ผลการทดสอบสมบัติโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดในแนวตามการขึ้นรูปและแนวขวางการขึ้นรูปที่เดิมและไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ให้ผลการทดลองในตาราง ก.1 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด a) ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที
b) ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ทั้งแนวในตามและแนวขวางการขึ้นรูป เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้น มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นในแนวตามการขึ้นรูปเฉลี่ยใกล้เคียงกับกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt ในแนวตามการขึ้นรูป มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 3161.34 เมกะปาสคาล และแนวขวางการขึ้นรูปทุกความเข้มข้นโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอล ทุกความเข้มข้นมีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นในแนวตามการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และแนวขวางการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงชันร้อยละ 37 เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt ในแนวตามการขึ้นรูป มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 3769.05 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นมีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นในแนวตามการขึ้นรูปเฉลี่ยสูงชันเมื่อเทียบในแนวขวางการขึ้นรูป โดยพบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ตามการแนวการขึ้นรูป มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4109.64 เมกะปาสคาล สูงชันร้อยละ 54 เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Somwangthanoj และคณะ [2] ที่เติมพลาสติกไซเซออร์ ทำให้มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าสูงชัน เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์เป็นสารโมเลกุลเล็กจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้สมบัติของพอลิแลคติกแอซิดสามารถไหลผ่านกันได้ง่ายขึ้น จากผลการทดลองค่ามอดูลัสของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt และ 4 %wt โดยเฉลี่ยมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงชันประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เมื่อพิจารณาปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มสูงชันที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำชิ้นงานที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt มีค่ามอดูลัสโดยเฉลี่ยสูงสุดแต่ที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงชันงานที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่ามอดูลัสโดยเฉลี่ยสูงสุด เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เนื่องจากค่ามอดูลัส คือ อัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงโดยพิจารณาเฉพาะในช่วงก่อนการเสียรูปเนื่องจากวัสดุยังมีการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น

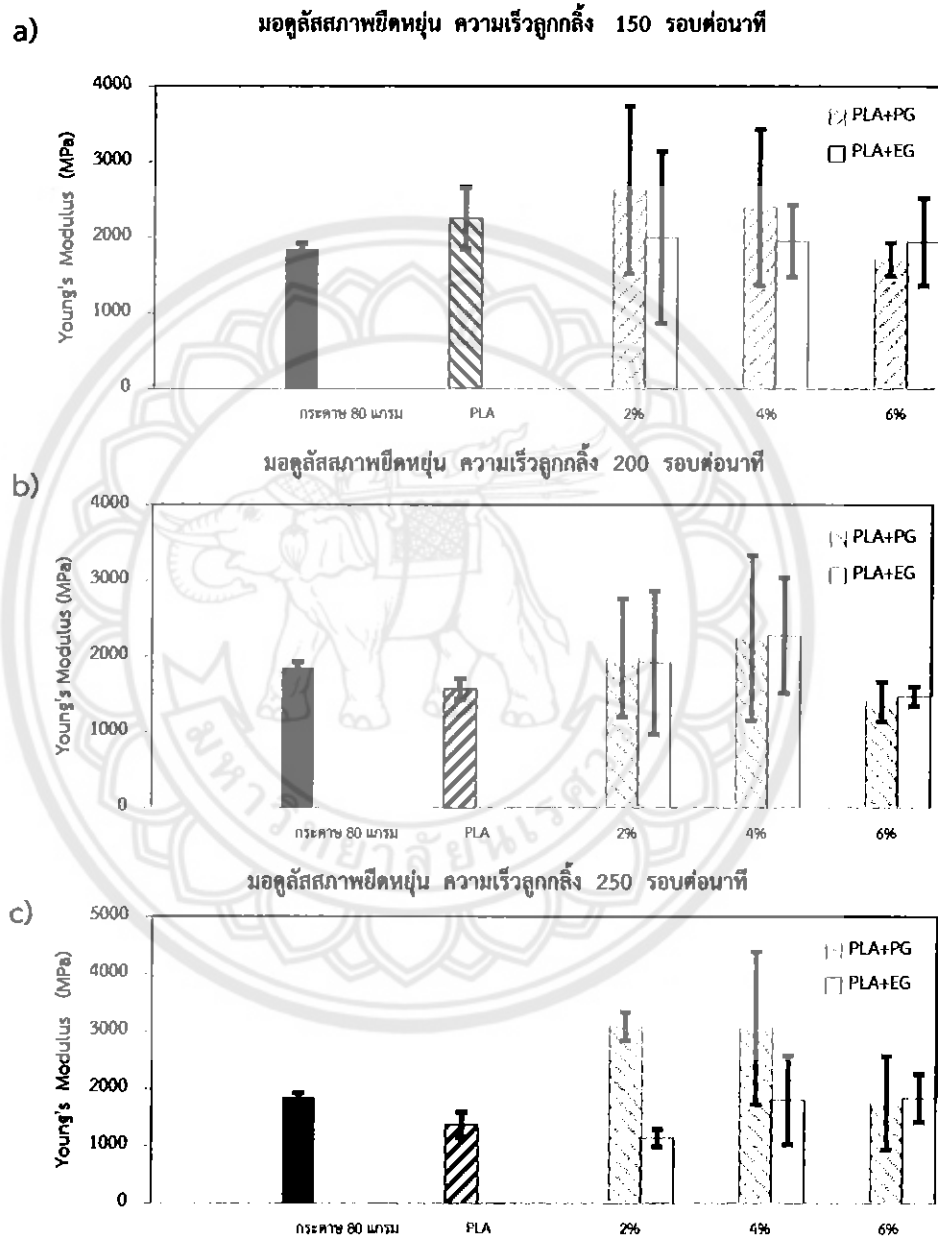
ผลการทดสอบสมบัติโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ให้ผลการทดลองในตาราง ก.2 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม a) ความเร็วลูกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม ที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6%wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที จากการทดลองกระดาษ 60 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4642.58 เมกะปาสคาล มีค่าสูงกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ โดยฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลลามิเนตกระดาษ 60 แกรม โดยเฉลี่ยมีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงสุดเท่ากับ 3042 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์มีความเหนียวน้อยกว่ากระดาษ 60 แกรม พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 1998.98 เมกะปาสคาล ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 4 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3077.22 เมกะปาสคาล จากผลการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลมีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 43 เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ในการทดสอบฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำค่ามอดูลัสโดยเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เพราะมอดูลัสมีความสัมพันธ์กับแรงที่กระทำต่อชิ้นงานและระยะการยืด เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีพื้นที่ในการรองรับแรงเท่ากันทุกชิ้นงาน ที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงฟิล์มลามิเนตที่เติมเอทิลีนไกลคอล 4 %wt โดยเฉลี่ยมีค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 80 แกรมที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ มีชิ้นงานทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 882 ให้ผลการทดลองในตาราง ก.3 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นพลาสติกไซเซอร์ของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม a) ความเร็วลูกลิ้ง 150 รอบต่อนาที b) ความเร็วลูกลิ้ง 200 รอบต่อนาที c) ความเร็วลูกลิ้ง 250 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นกับความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม ที่ความเข้มข้น 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงขึ้นเท่ากับ 2627.68 เมกะปาสคาล สูงขึ้นร้อยละ 14 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอล 4 %wt ลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 2243.79 เมกะปาสคาล มีค่าสูงขึ้นประมาณร้อยละ 30 จากฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกับกระดาษ 80 แกรม มีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์และกระดาษ 80 แกรม จากการทดสอบชิ้นงานฟิล์มลามิเนตที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นทำให้มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 33 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ที่เติมเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิแลคติกแอซิดทำให้มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์มีความยืดหยุ่นดีขึ้น จากผลการทดลองฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่ามอดูลัสโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วลูกกลิ้งต่ำ ฟิล์มลามิเนตที่เติมพลาสติกไซเซออร์มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ ที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น เพราะการเติมพลาสติกไซเซออร์จะช่วยทำชิ้นงานมีความอ่อนตัวเกิดการเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่ามอดูลัสโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต

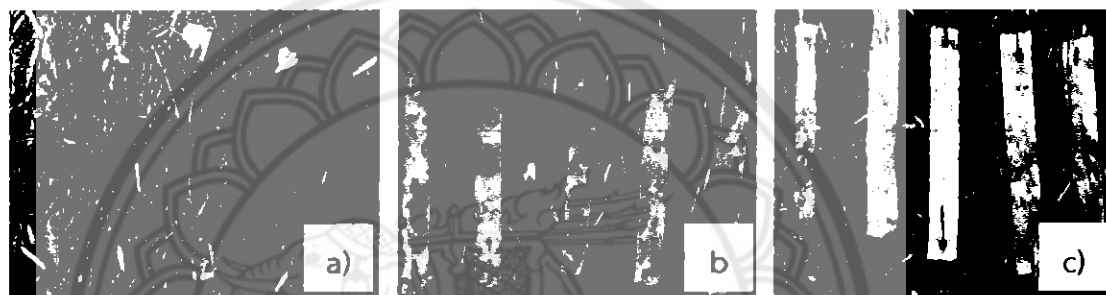
การศึกษาการทดสอบสมบัติทางกลทั้งค่าการทนต่อแรงดึงก่อนขาดสูงสุด ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น จากทฤษฎีเบื้องต้นการเติมพลาสติกไซเซออร์ช่วยทำให้สมบัติทางกลมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเติมพลาสติกไซเซออร์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่าพอลิแลคติกแอซิดจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่จึงทำให้พอลิแลคติกแอซิดมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลไหลผ่านกันได้ง่ายขึ้น

จากสมบัติของพลาสติกไซเซอรด์ังกล่าวจะช่วยให้สมบัติทางกลทั้งค่าการทนต่อแรงดึงก่อนขาดสูงสุด ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลทั้งค่าการทนต่อแรงดึงก่อนขาดสูงสุด ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด และค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของชิ้นงาน เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้งที่ต่ำมีผลทำให้ความหนาของฟิล์มสูง ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซอรด์ังกล่าวมีค่าการทนต่อแรงดึงก่อนขาด และร้อยละการยืดตัวก่อนขาดโดยเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลทำให้มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นในแนวตามการขึ้นรูป ส่วนฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลในแนวขวางการขึ้นรูปมีสมบัติทางกลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอรด์ังกล่าวในแนวขวางการขึ้นรูปมีสมบัติทางกลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากชิ้นงานที่ความเร็วลูกกลิ้งสูงได้มีการรับแรงในขณะที่ทำการขึ้นรูปมากกว่าการขึ้นรูปด้วยความเร็วของลูกกลิ้งที่ต่ำ ส่งผลให้เมื่อนำชิ้นงานไปทำการทดสอบจึงเป็นการเพิ่มแรงให้กับชิ้นงานทำให้สมบัติทางกลของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดในแนวตามการขึ้นรูปมีค่าน้อยกว่าในแนวขวางการขึ้นรูป เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของฟิล์มลามิเนตกระดาษ 60 และ 80 แกรม มีค่าโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตเพราะการลามิเนตฟิล์มกับกระดาษชิ้นงานมีการยึดเกาะกันของกระดาษกับฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต ส่งผลให้สมบัติทางกลโดยเฉลี่ยลดลง โดยมีค่าสมบัติเชิงกลอยู่ระหว่างกระดาษและฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต เนื่องจากสมบัติเชิงกลของกระดาษมีค่ามากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตเมื่อนำมายึดเกาะกันโดยการลามิเนตจึงทำให้มีค่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มลามิเนตอยู่ระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดดังกล่าว

4.4 ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลาย

การทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ปริมาณ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ที่ด้วยความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ที่ไม่ลามิเนตและลามิเนตกระดาษ 60 แกรม โดยชิ้นงานทดสอบแต่ละสูตรมีจำนวนชิ้นงานสูตรละ 5 ชิ้น ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5338 โดยนำชิ้นงานทดสอบไปฝังกลบดินดูลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม เมื่อระยะเวลาไป 8 สัปดาห์ ดังรูป



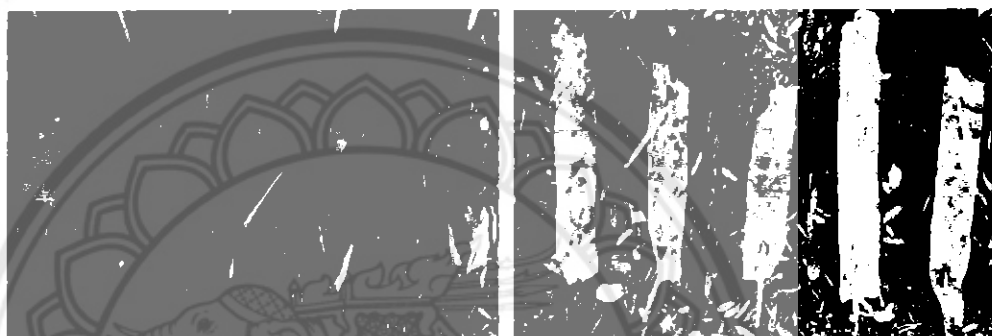
รูปที่ 4.15 ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไป
a) 0 สัปดาห์ b) 4 สัปดาห์ และ c) 8 สัปดาห์



รูปที่ 4.16 ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่อัตราส่วนต่างๆ ลามิเนตกระดาษ
60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป a) 0 สัปดาห์ b) 4 สัปดาห์ และ c) 8 สัปดาห์

4.4.1 ผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนต

จากการทดสอบสมบัติการย่อยสลายจากรูปร่างลักษณะที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt โดยแยกพิจารณาตามความเร็วรอบของการขึ้นรูปฟิล์ม คือ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที พบว่าที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

รูปที่ 4.17 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

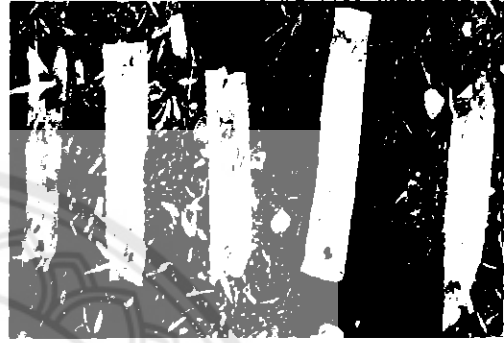
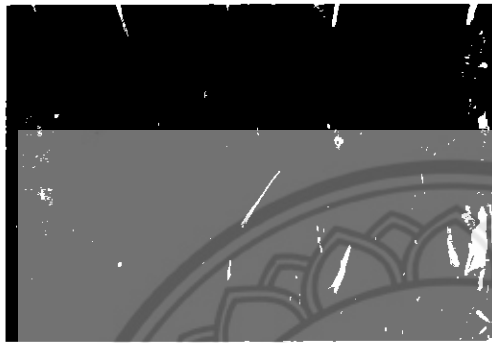
ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด ซึ่งเห็นได้ จากรูปที่ 4.17 โดยคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 57.18 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเร็วรอบเดียวกันและคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 37.82 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ไม่ได้ฝังดิน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้
 ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อ
 นาที ผลการทดลองในตาราง ข.1 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ฝัง ดินกับไม่ได้ฝังดิน	เทียบกับฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิดที่ฝังดิน	ไม่ได้ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	19.62	-	0.0145	0.0181
PLA+PG 2%	37.82	57.18	0.0026	0.0031
PLA+PG 4%	13.12	44.63	0.0041	0.0109
PLA+PG 6%	47.18	14.10	0.0119	0.0131
PLA+EG 2%	3.97	78.82	0.0121	0.0069
PLA+EG 4%	2.20	50.94	0.0101	0.0077
PLA+EG 6%	22.78	32.26	0.0061	0.0212

จากตารางที่ 4.1 พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ฝังดิน มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 57.18 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติม พลาสติกไซเซออร์ที่ความเร็วรอบการขึ้นรูปเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 37.82 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ไม่ได้ฝังดิน แต่ จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 เมื่อการเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินระหว่าง ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์ม พอลิแลคติกที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดคิดเป็นร้อยละมีค่า เท่ากับ 78.82 %wt เนื่องจากการเติมพลาสติกไซเซออร์จะช่วยทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ ได้มากขึ้น พลาสติกไซเซออร์เป็นสารโมเลกุลเล็กจะเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้ระหว่างสาย โซ่พอลิเมอร์มีช่องว่างเกิดขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไปฝังกลบใต้ดินซึ่งประกอบด้วยน้ำและความชื้น ช่องว่าง ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้น้ำและความชื้นสามารถเข้าไปภายในทำให้เกิดการย่อยสลายและร้อย ละการสูญเสียมากขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์

จากการทดสอบสมบัติการย่อยสลายจากรูปร่างลักษณะที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt โดยพิจารณาตามความเร็วรอบของการขึ้นรูปฟิล์ม ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที รอบต่อนาที



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

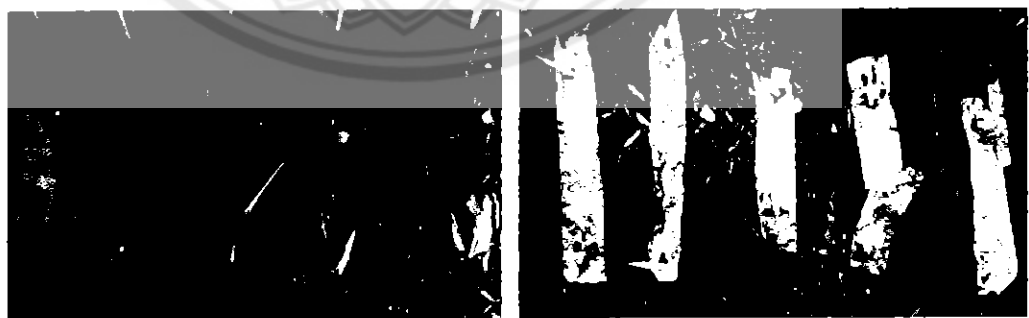
รูปที่ 4.18 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อ นาที ผลการทดลองในตาราง ข.1 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ฝังดินกับไม่ได้ฝังดิน	เทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ฝังดิน	ไม่ได้ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	8.53	-	0.0168	0.0187
PLA+PG 2%	14.20	31.86	0.0067	0.0084
PLA+PG 4%	3.51	12.82	0.0067	0.0109
PLA+PG 6%	16.03	15.15	0.0455	0.0202
PLA+EG 2%	1.41	0.35	0.0072	0.0036
PLA+EG 4%	8.30	16.80	0.0048	0.0075
PLA+EG 6%	3.57	17.59	0.0048	0.0080

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.18 และจากตารางที่ 4.2 พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ฝังดินมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 31.86 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ที่ความเร็วลูกกลิ้งเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 14.20 %wt เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ไม่ได้ฝังดินแต่จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 เมื่อเทียบการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินระหว่างฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 6 %wt มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คิดเป็นร้อยละมีค่าเท่ากับ 16.03 %wt เนื่องจาก ลักษณะโครงสร้างของโพรพิลีนไกลคอลมีสภาพการมีขั้ว จึงทำให้มีความชอบน้ำสูงกว่าพลาสติกไซเซออร์ที่เป็นสายโซ่ตรง ดังนั้น เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ปริมาณสูงจะทำให้พลาสติกไซเซออร์เข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จำนวนมาก ทำให้ภายในพอลิเมอร์เกิดพื้นที่ว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จำนวนมากขึ้น ดังนั้นเมื่อน้ำและความชื้นจึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์

จากการทดสอบสมบัติการย่อยสลายจากรูปร่างลักษณะที่เปลี่ยนแปลงของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซออร์ กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt โดยพิจารณาตามความเร็วรอบของการขึ้นรูปฟิล์ม ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

รูปที่ 4.19 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับเอทิลีนไกลคอล 6 %wt
ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ระยะเวลา 0 สัปดาห์กับ 8 สัปดาห์

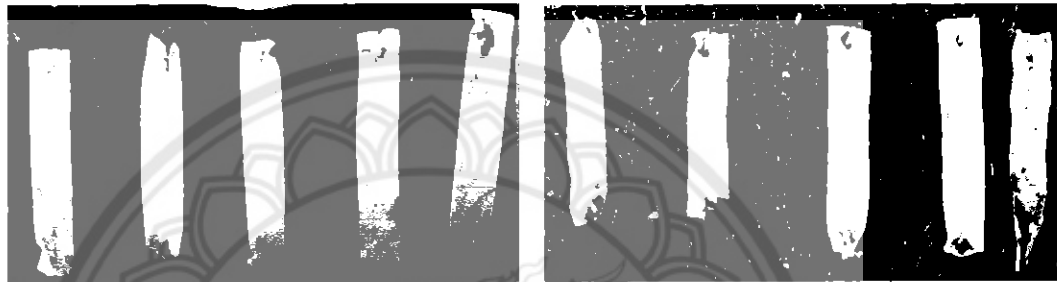
ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้
 ลามิเนตฝังดิน ระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250
 รอบต่อนาที ผลการทดลองในตาราง ข.1 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ฝัง ดินกับไม่ได้ฝังดิน	เทียบกับฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิดที่ฝังดิน	ไม่ได้ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	11.05	-	0.0128	0.0124
PLA+PG 2%	15.75	8.33	0.0135	0.0236
PLA+PG 4%	1.24	27.26	0.0155	0.0110
PLA+PG 6%	12.66	24.69	0.0162	0.0078
PLA+EG 2%	13.74	13.24	0.0143	0.0112
PLA+EG 4%	8.11	23.17	0.0082	0.0053
PLA+EG 6%	40.93	37.73	0.0107	0.0047

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.19 และจากตารางที่ 4.3 พบว่า ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ที่ฝังดินมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 37.73 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเร็วเดียวกันและคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 40.93 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ที่ไม่ได้ฝังดินฟิล์มที่มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและมีความสอดคล้องกับตารางเปรียบเทียบร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ดังนั้น ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt มีการย่อยสลายดีที่สุด ลักษณะโครงสร้างของโพรพิลีนไกลคอลมีความชอบน้ำมากกว่าเอทิลีนไกลคอลทำให้ย่อยสลายได้มากกว่า จากผลการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า เนื่องจากมีการเติมเอทิลีนไกลคอลในปริมาณสูงสุด คือ 6 %wt ทำให้ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มีปริมาณมากกว่าบริเวณที่ใช้ในการฝังชิ้นงานมีความชื้นมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้มีการปริมาณความชื้นเข้าไปในชิ้นงานจำนวนมาก ดังนั้น ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt จึงมีการย่อยสลายและสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด

4.4.2 ผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม

การทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลปริมาณ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที นำไปลามิเนต กระดาษ 60 แกรม โดยแยกพิจารณาในแต่ละความเร็วรอบ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที พบว่า



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

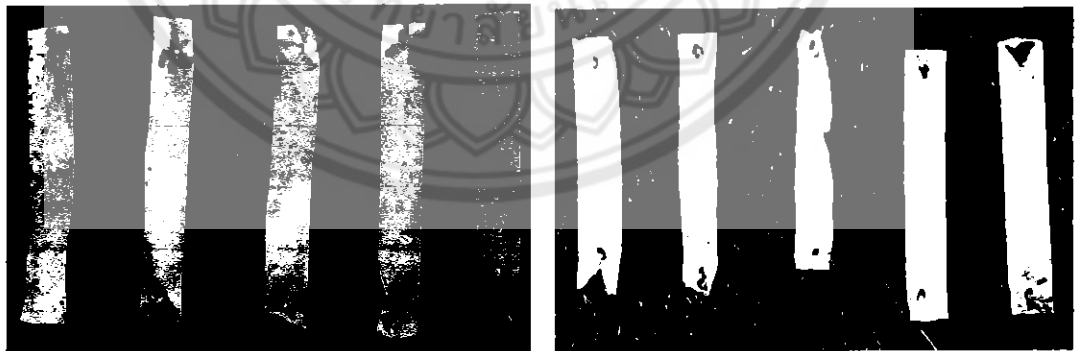
รูปที่ 4.20 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนต กระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 150 rpm เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ลามิเนต กระดาษ 60 แกรม ผังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็ว ลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ผลการทดลองในตาราง ข.2 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ผังดินกับไม่ได้ผังดิน	เทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผังดิน	ไม่ได้ผังดิน	ผังดิน
PLA	18.98	-	0.0421	0.0340
PLA+PG 2%	49.33	36.60	0.0179	0.0141
PLA+PG 4%	8.05	15.71	0.0029	0.0191
PLA+PG 6%	2.35	20.87	0.0135	0.0098
PLA+EG 2%	5.14	16.98	0.0076	0.0135
PLA+EG 4%	17.89	2.62	0.0059	0.0203
PLA+EG 6%	20.32	2.54	0.0130	0.0209

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด จากรูปที่ 4.20 และจากตารางที่ 4.4 ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ฝังดินมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 36.60 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเร็วลูกกลิ้งเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 49.33 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ไม่ได้ฝังดินจากผลการทดลองการสูญเสียน้ำหนักกับลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดตามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่มีการย่อยสลายมากที่สุด เนื่องจากกระดาษที่ใช้ในการลามีเนตมีความบาง เมื่อน้ำและความชื้นทำให้สามารถเกาะกับน้ำแล้วเกิดการย่อยสลายได้ นอกจากนี้โพรพิลีนไกลคอลมีสมบัติในการชอบน้ำมากกว่าเอทิลีนไกลคอลการเติมพลาสติกไซเซอร์ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น ช่องว่างที่เกิดขึ้นส่งผลให้น้ำและความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ปริมาณ 2 %wt 4 %wt และ 6 %wt ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที นำไปลามีเนตกระดาษ 60 แกรม



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

รูปที่ 4.21 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามีเนตกระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียน้ำหนักของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่
 ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ฝังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็ว
 ลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ผลการทดลองในตาราง ข.2 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ฝัง ดินกับไม่ได้ฝังดิน	เทียบกับฟิล์ม พอลิแลคติกแอซิดที่ฝังดิน	ไม่ได้ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	4.43	-	0.0296	0.0103
PLA+PG 2%	35.09	30.71	0.0136	0.0121
PLA+PG 4%	12.85	3.52	0.0052	0.0077
PLA+PG 6%	5.66	1.48	0.0093	0.0204
PLA+EG 2%	33.53	23.33	0.0036	0.0068
PLA+EG 4%	34.82	24.66	0.0144	0.0226
PLA+EG 6%	14.28	7.66	0.0055	0.0305

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด จากรูปที่ 4.21 และจากตารางที่ 4.5 พบว่า ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ฝังดินมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 30.71 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเร็วลูกกลิ้งเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 35.09 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ไม่ได้ฝังดินจากการทดลองตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.20 มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีการย่อยสลายได้ดีที่สุด เนื่องจากโพรพิลีนไกลคอลมีสมบัติในการชอบน้ำมากกว่าเอทิลีนไกลคอลการเติมพลาสติกไซเซอร์ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น ช่องว่างที่เกิดขึ้นส่งผลให้น้ำและความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้กระดาษที่ใช้ในการลามิเนตสามารถเก็บน้ำแล้วเกิดการย่อยสลายได้อีกด้วย

ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ กับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล ปริมาณ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที นำไปลามีเนตกระดาษ 60 แกรม



a) 0 สัปดาห์

b) 8 สัปดาห์

รูปที่ 4.22 ภาพเปรียบเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดกับเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ลามีเนตกระดาษ 60 แกรม ความเร็วลูกกลิ้ง 250 rpm เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ลามีเนตกระดาษ 60 แกรม ผังดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาทีผลการทดลองในตาราง ข.2 (ภาคผนวก ข)

ฟิล์ม	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (%)		S.D.	
	เทียบระหว่างฟิล์มที่ผังดินกับไม่ได้ผังดิน	เทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ผังดิน	ไม่ได้ผังดิน	ผังดิน
PLA	23.21	-	0.0036	0.0105
PLA+PG 2%	13.57	3.37	0.0029	0.0137
PLA+PG 4%	30.79	11.14	0.0251	0.0126
PLA+PG 6%	7.79	24.98	0.0020	0.0135
PLA+EG 2%	0.11	28.73	0.0117	0.0085
PLA+EG 4%	16.12	17.44	0.0023	0.0220
PLA+EG 6%	47.62	27.77	0.0052	0.0094

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตลามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด จากรูปที่ 4.22 และจากตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตลามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt ที่ฝังดินมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 28.73 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตลามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ความเร็วลูกกลิ้งเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.11 %wt เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม แต่จากผลการทดลองตารางที่ 4.6 ถ้าทำการเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินระหว่างฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่ไม่ได้เติมกับฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมพลาสติกไซเซอร์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.62 %wt เนื่องจากการเติมเอทิลีนไกลคอลในปริมาณสูง ทำให้พลาสติกไซเซอร์เข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จำนวนมาก ทำให้เกิดการย่อยสลายได้มาก เนื่องจากบริเวณในการฝังกลบชิ้นงานมีปริมาณความชื้นมากกว่าทำให้มีการกักเก็บน้ำปริมาณสูงหรือการยึดติดกันระหว่างกระดาษกับฟิล์มมีปริมาณกาวที่น้อยกว่า ทำให้ชิ้นงานมีความหนาน้อย ส่งผลทำให้ชิ้นงานที่เติมเอทิลีนไกลคอลมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมเอทิลีนไกลคอลทำให้สมบัติทางกลดีขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ เมื่อพิจารณาสมบัติการย่อยสลายทั้งการสูญเสียน้ำหนักและลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมโพรพิลีนไกลคอลจะมีการย่อยสลายได้ดี เพราะโพรพิลีนไกลคอลมีความชอบน้ำมากกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่เติมเอทิลีนไกลคอล ซึ่งชิ้นงานที่ดูดซึมน้ำได้มากจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักได้มาก จากการทดลองสมบัติทางกลและสมบัติทางการย่อยสลายพลาสติกไซเซอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน คือ เอทิลีนไกลคอล เนื่องจากการทดสอบต้องการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอสิตให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่โพรพิลีนไกลคอลมีสมบัติการย่อยสลายได้ดีกว่าการเติมเอทิลีนไกลคอล แต่เนื่องจากการย่อยสลายของฟิล์มที่เติมเอทิลีนไกลคอลยังมีค่ามากเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอสิตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ สมบัติทางกลของชิ้นงานมีค่ามากไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติทางการย่อยสลายเพราะการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มที่มีความชอบน้ำเมื่อน้ำเข้าไปแทรกอยู่ในฟิล์มมากจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรท์ทั้ง 2 ชนิด คือ เอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอลที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดจะต้องไม่ให้เกิดอุณหภูมิหลอมเหลว ครั้งแรกในการขึ้นรูปได้ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส ผลการทดลองไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดเกิดการหลอมละลาย จึงลดอุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส พบว่ายังไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดได้จึงทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 160 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิมิมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม โดยความเร็วรอบของสกรู 100 รอบต่อนาที ทำการปรับเปลี่ยนความเร็วลูกกลิ้งของการดึงฟิล์ม 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที ซึ่งจะส่งผลต่อความหนาของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ทำให้ฟิล์มมีความหนาเฉลี่ย 0.05 มิลลิเมตร 0.03 มิลลิเมตร และ 0.02 มิลลิเมตร แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอรท์ในปริมาณ 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง สมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาด สมบัติโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและสมบัติทางการย่อยสลาย

สมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมพลาสติกไซเซอรท์ มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยใกล้เคียงกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอรท์ เมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอรท์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงขึ้นในแนวขวางการขึ้นรูปเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอรท์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 6 %wt ตามแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงมากที่สุด จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลตามแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 39

สมบัติร้อยละการยึดตัวก่อนขาดของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนต จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติก-แอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลตามแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 37 ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ มีค่าร้อยละการยึดตัวก่อนขาดทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ มีร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยน้อยกว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 6 %wt ทั้งในแนวตามและแนวขวางการขึ้นรูปที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ตามแนวขวางการขึ้นรูปมี ร้อยละการยึดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

สมบัติมอดูลัสของสภาพการยึดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้ลามิเนต ที่ความเร็ว 150 และ 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 4 %wt มีค่ามอดูลัสสภาพการยึดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดในแนวขวางการขึ้นรูป ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ค่ามอดูลัสของสภาพการยึดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุดในแนวตามการขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลตามแนวขวางการขึ้นรูปมีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 50

สมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ พิจารณาที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ที่มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์และที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

5.1.2 การศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ใช้ในการลามิเนตระหว่างฟิล์มกับกระดาษที่ใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสาน การย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมสารโมเลกุลเล็กที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ โพรพิลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอล 2 %wt, 4 %wt และ 6 %wt โดยพิจารณาตามความเร็วลูกกลิ้ง คือ ความเร็ว 150 รอบต่อนาที 200 รอบต่อนาที และ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทุกวันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการทดลอง สัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 31 องศาเซลเซียส และ สัปดาห์ที่ 8 เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

สมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 และ 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์ที่ลามิเนตกับกระดาษ 60 แกรม และ 80 แกรม มีค่าการทนแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม และ 80 แกรม มีค่าการทนต่อแรงดึงเฉลี่ยสูงเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม และ 80 แกรม จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลที่ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 7 และฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลที่ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 18 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

สมบัติร้อยละการยืดตัวก่อนขาดของฟิล์มที่ลามิเนต ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซอร์มีค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้น มีค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม และฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่เติมลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลทุกความเข้มข้นลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงขึ้น ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 2 %wt มีค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดเฉลี่ยสูงเมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติม

โพรพิลีนไกลคอลลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงชันร้อยละ 37 และฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลที่ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงชันร้อยละ 19 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

สมบัติมอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ความเร็ว 150 และ 200 รอบต่อนาที มีค่ามอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 4 %wt ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม ค่ามอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุด ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมและไม่ได้เติมลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่ความเร็ว 150 และ 200 รอบต่อนาที มีค่ามอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันเมื่อเทียบฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 4 %wt ลามิเนตกระดาษ 80 แกรมค่ามอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุด สมบัติมอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่ลามิเนตกระดาษ 60 และ 80 แกรม มีมอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเฉลี่ยใกล้เคียงกันเพราะกระดาษ 60 แกรม มีความเหนียวดีกว่า 80 แกรม จากการทดลองฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอลที่ลามิเนตกระดาษ 60 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงชันร้อยละ 43 และฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอลที่ลามิเนตกระดาษ 80 แกรม มีค่าเฉลี่ยสูงชันร้อยละ 33 เมื่อเทียบกับฟิล์มลามิเนตที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์

ผลการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรม เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดลามิเนตกระดาษ 60 แกรมที่ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและที่ความเร็วลูกกลิ้ง 200 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมโพรพิลีนไกลคอล 2 %wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ที่ความเร็วลูกกลิ้ง 250 รอบต่อนาที ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเอทิลีนไกลคอล 6%wt มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงมากที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเตรียมฟิล์มพอลิแลคติกแอซิดมีหลากหลายวิธีการ ผู้ที่ทำการศึกษ ควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับหัวข้อที่ศึกษาและระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

5.2.2 การเลือกพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง ควรทำการศึกษ ชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่สามารถเข้าวัสดุเนื้อหลักได้ไม่มีผลกระทบต่อ การขึ้นรูปฟิล์ม

5.2.3 ในการทดสอบชิ้นงานมักจะมีข้อผิดพลาดเสมอ ควรเตรียมชิ้นงานทดสอบไว้เผื่อความผิดพลาด

5.2.4 ผู้ที่ทำการศึกษ ควรวางแผนล่วงหน้าในการใช้เครื่องทดสอบชิ้นงานให้เหมาะสมกับชิ้นงานและระยะเวลาในการทดสอบ

5.2.5 ในกรณีที่ผู้ศึกษาต้องการผลของพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติด้านอื่น เช่น สมบัติด้านการทนต่อความร้อนหรือการกระจายตัวของพลาสติกไซเซอร์อย่างละเอียด ต้องทำการทดสอบด้วยเทคนิคอื่นเพิ่มเติม เช่น Differential Scanning Calorimetry (DSC) และ Scanning Electron Microscopy (SEM)



เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Mangmeemak , P.Tangboriboorat , N.Rattanasom and A.Somwangthanaroj.
Toughening of Poly(Lactic Acid) Film Blended by Natural Rubber.
- [2] P.Boonfaung, P.Wasutchanon and A.Somwangthanaroj. Development of packaging film from bioplastic Poly(lactic Acid (PLA) with Plasticizers.
- [3] Y.Byun, Y.Kim and S.Whiteside. (2010). Characterization of an antioxidant polylactic acid (PLA) film prepared with α -tocopherol,BHT and polyethylene glycol using film cast extruder. *Journal of food Engineering* , (100), 239-244.
- [4] E.Mascheroni, V.Guillard, F.Nalin, L.Mora and L.Piergiovanni. (2010). Diffusivity of propolis compounds in polylactic acid polymer for the development of antimicrobial packaging film. *Journal of food Engineering*, (98), 294-301.
- [5] F.Hassouna, J.Raquez, F.Addiego, P.dubois, V.Toniazzo and David Ruch. (2011). New approach on the development of plasticized polylactide (PLA) : Grafting of poly(ethylene glycol)(PEG) via reactive extrusion. *European polymer Journal*.
- [6] M.Zenkiewicz, J.Richert and A.Rozanski. (2010). Effect of blow moulding ratio on barrier properties of polylactide nanocomposite films. *Polymer Testing*, (29), 251-257.
- [7] F.Sebastien , G.Stephane , A.Copinnet and V.Coma. (2006). Novel biodegradable film made from chitosan and poly(lactic acid) with antifungal properties against mycotoxinogen strains. *Carbohydrate Polymer*, (65), 185-193.
- [8] S.Essa , J. Rabanel and P.hildgen. (2010). Effect of polyethylene glycol (PEG) chain organization on the physicochemical properties of poly(D,L-lactide)(PLA) based nanoparticles. *European Journal of Pharmaceutics and Bio pharmaceutics*, (75), 96-106.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] O.Martin and L.Averous. (2001). Poly(lactic acid):plasticization and properties of biodegradable multiphase system. *Polymer*, (42), 6209-6219.
- [10] J.F. Martucci and R.A. Ruseckaite. (2009). Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil conditions. *Polymer degradation and stability*, (94), 1307-1313.
- [11] J.M. Fang, P.A. Fowler, C. Escrig, R. Gonzalez, J.A. Costa and L. Chamudis. (2005). Development of biodegradable laminate films derived from naturally occurring carbohydrate polymers. *Carbohydrate Polymers*, (60), 39-42.
- [12] M.A. Del Nobile, A. Conte, G.G. Buonocore, A.L. Incoronato, A. Massaro and O. Paza. (2009). Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymer. *Journal of food Engineering*, (93), 1-6.
- [13] E.Petinakis, X.Liu, L.Yu, C.Way, P.Sangwan, K.Dean, S.Bateman and G.Edward. (2010). Biodegradation and thermal decomposition of poly(lactic acid)-based materials reinforced by hydrophilic fillers. *Polymer Degradation and Stability*, (95), 1704-1707.
- [14] F. Carrasco, P. Pages, J. Gamez-Perez, O.O. Santana and M.L. MasPOCH. (2010). Processing of poly(lactic acid): Characterization of chemical structure, thermal stability and mechanical properties. *Polymer Degradation and Stability*, (95), 116-125.
- [15] L.Zaidi, M.Kaci, S.Bruzaud, A.Bourmaud and Y.Grohens. (2010). Effect of natural weather on the structure and properties of polylactide/Cloisite 30B nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, (95), 1751-1758.
- [16] N.Graupner, A.S.Herrmann and J.Mussig. (2009). Natural and man-made cellulose fibre reinforced poly(lactic acid)(PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas. *Composites: Part A*, (40), 810-821.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [17] M.Jonoobi, J.Harun, A.P. Mathew and K.Oksman. (2010). Mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) reinforced polylactic acid (PLA) prepared by twin screw extrusion. *Composites science and Technology*, (70), 1742-1747.
- [18] ดร.จันทมัย สุวรรณประทีป . (2547). การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [19] รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2547). สารปรับแต่งพอลิเมอร์ (Polymer Additives). กรุงเทพฯ: บุ๊คเน็ต
- [20] รศ.อรอุษา สรวารี.สารปรับแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1 .
- [21] กัลย์ธีรา เทพปฏิมากรณ, กิติพงษ์ สุวรรณคู, ผศ.ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์. การพัฒนาฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อประยุกต์ในงานบรรจุภัณฑ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [22] พัฒนา บัวดี, สมศักดิ์ วรมงคลชัย. ผลของคาราจีแนนที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/เทอร์โมพลาสติกสตาเรช. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [23] วรสินธุ์ มิตะสีดา, วิภาวี โสขุมา, ศุภมาศ เงินเรืองโรจน์, วีราภรณ์ ผิวสะอาด. การเตรียมพอลิแลกติกแอซิดคอมพาวด์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเป่าฟิล์ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [24] Rohm and Haas chemical (Thailand) Ltd. (February 2006). PACKAGING AND CONVERTING. Midwest Technical Center, Retrieved January 30, 2012, from <http://www.rohmahaas.com/AdhesivesSealant>
- [25] สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (September 11, 2010). Plastics Intelligence Update. Plastic Intelligence Unit Website, Retrieved January 20, 2012 . <http://plastic.oie.go.th>
- [26] D.Garlotta. A Literature Review of poly(Lactic Acid). *Journal of polymer and the Environment*.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [27] V.Siracusa, P.Rocculi, S.Romani, M.D.Rosa. (2008). Biodegradable polymer for food packaing. *Trend in food Science and Technology*, (19), 634-643.
- [28] R.Narayan. (2005). Biobased and biodegradable polymer material. Division of polymer chemistry meeting, San Diego.
- [29] K.M. nampoothiri, N.R.Nair and R.P.John. (2010). An overview of the recent development in polylactide(PLA) research. *Bioresource Technology*, (101), 8493-8501.
- [30] อมรรัตน์ เลิศวารสิริกุล. พอลิแลคติกแอซิด:พอลิเอสเทอร์ จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
- [31] ศราวุธ ไผ่บง. (2555). พลาสติกชีวภาพ นวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ
- [32] ธนาวดี ลี้จากภัย, นุกูล เอื้อพันธเศรษฐ, ก้องเกียรติ คงสุวรรณ,โยชิตา ฤทธิกิจ, ภักดี รัตนจันทร์. การศึกษาการย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน.
- [33] สมหมาย ผิวสอาด, สรพงษ์ ภาวสุปรีย์, ภูริทัต ใจหลัก, อุบล อินทร์สุวรรณ, วีราภรณ์ ผิวสอาด. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด พอลิবিวิธินซักซิเนตโคอะดิเพท และพอลิবিวิธิน อดิเพท เทอเลพทาเลท เพื่อใช้ใ้ใช้อุตสาหกรรมเป่าฟิล์ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [34] สมหมาย ผิวสอาด, สรพงษ์ ภาวสุปรีย์, ณรงค์ชัย โอเจริญและคณะ. การเตรียมเส้นใยจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิไฮดรอกซีবিวิทเรตวาเรอเรต (PHBV) เพื่อใช้ใ้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [35] K.Hamad, M.Kaseem and F.Deri. Preparation and Characterization of Binary and Ternary Blends with Poly(Lactic Acid), Polystyrene, and Acrylonitrile-Butadiene-Styrene.



ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมรรถนะทางกลของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 150 rpm (MD)

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.05	1.43	21.00	2047.95
		2	0.05	6.98	45.80	2454.10
		3	0.05	2.65	58.30	3096.10
		4	0.05	4.01	34.20	1873.35
		5	0.05	3.61	34.80	2102.59
		ค่าเฉลี่ย	0.05	3.73	38.82	2314.82
PLA+PG	2	1	0.05	1.51	11.10	2012.06
		2	0.05	1.15	7.88	2452.81
		3	0.05	1.22	9.17	1209.73
		4	0.05	0.74	5.95	4305.69
		5	0.05	1.97	7.39	2061.18
		ค่าเฉลี่ย	0.05	1.32	8.30	2408.29
	4	1	0.05	2.84	41.70	3378.32
		2	0.05	1.44	17.80	2549.26
		3	0.05	1.63	27.50	2678.85
		4	0.05	2.32	38.70	4648.85
		5	0.05	2.10	32.50	2551.41
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.07	31.64	3161.34
	6	1	0.05	2.60	31.70	2491.14
		2	0.05	1.77	22.40	2004.34
		3	0.05	1.47	25.00	2490.69
		4	0.05	6.37	31.80	3083.73
		5	0.05	3.40	30.50	2322.31
		ค่าเฉลี่ย	0.05	3.12	28.28	2478.44
PLA+EG	2	1	0.05	4.08	27.40	2439.90
		2	0.05	2.95	23.00	1875.37
		3	0.05	2.80	21.00	1970.29
		4	0.05	2.29	24.00	1730.25
		5	0.05	2.76	18.00	2131.03
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.98	22.68	2029.37
	4	1	0.05	2.44	14.90	2055.31
		2	0.05	3.32	51.70	2872.24
		3	0.05	1.76	17.00	2454.33
		4	0.05	1.28	15.50	1835.94
		5	0.05	2.09	16.40	1754.81
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.18	23.10	2194.52
	6	1	0.05	1.73	11.60	1961.45
		2	0.05	1.49	15.40	2587.20
		3	0.05	2.17	29.30	1935.73
		4	0.05	2.53	19.50	1843.76
		5	0.05	1.89	15.80	2051.25
		ค่าเฉลี่ย	0.05	1.96	18.32	2075.88

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 150 rpm (TD)

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.05	2.40	28.60	1969.48
		2	0.05	2.38	30.20	1859.44
		3	0.05	2.32	32.10	2184.01
		4	0.05	2.12	31.50	2273.97
		5	0.05	2.65	33.30	2063.18
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.37	31.14	2070.02
PLA+PG	2	1	0.05	1.61	8.30	1830.89
		2	0.05	1.60	8.04	1738.43
		3	0.05	1.64	8.13	1435.83
		4	0.05	1.51	8.80	2287.73
		5	0.05	1.90	10.70	1306.99
		ค่าเฉลี่ย	0.05	1.65	8.79	1719.97
	4	1	0.05	2.12	31.00	2708.14
		2	0.05	3.57	41.00	2843.85
		3	0.05	1.98	32.60	3341.86
		4	0.05	3.11	40.60	2793.58
		5	0.05	3.81	34.50	3185.17
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.92	35.94	2974.52
	6	1	0.05	3.82	37.90	3152.89
		2	0.05	3.65	38.70	2583.83
		3	0.05	2.05	27.30	2545.32
		4	0.05	2.11	22.70	2464.52
		5	0.05	2.19	26.50	2509.98
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.76	30.62	2651.31
PLA+EG	2	1	0.05	1.40	20.40	2208.92
		2	0.05	2.59	40.40	2514.89
		3	0.05	2.09	50.40	3257.48
		4	0.05	5.41	51.10	2632.65
		5	0.05	2.02	35.30	2595.18
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.70	39.52	2641.83
	4	1	0.05	2.46	42.80	2356.56
		2	0.05	2.37	40.60	2329.05
		3	0.05	2.24	37.70	2799.50
		4	0.05	2.73	43.30	2370.20
		5	0.05	2.49	35.40	2515.08
		ค่าเฉลี่ย	0.05	2.46	39.96	2474.08
	6	1	0.05	1.98	27.50	2066.53
		2	0.05	2.29	37.40	2387.71
		3	0.05	1.95	32.90	2306.68
		4	0.05	2.40	28.60	2048.07
		5	0.05	0.99	11.10	2929.50
		ค่าเฉลี่ย	0.05	1.92	27.50	2347.70

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 200 rpm (MD)

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.03	1.69	23.30	1674.61
		2	0.03	2.75	41.50	2148.93
		3	0.03	3.46	31.60	1731.80
		4	0.03	3.12	32.30	1908.59
		5	0.03	1.92	26.00	1874.23
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.59	30.94	1867.63
PLA+PG	2	1	0.03	2.66	18.60	1665.08
		2	0.03	1.54	13.10	1530.90
		3	0.03	3.11	15.90	1940.44
		4	0.03	1.60	14.90	1914.63
		5	0.03	1.29	14.30	1345.81
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.04	15.36	1679.37
	4	1	0.03	1.74	13.70	3592.32
		2	0.03	2.37	14.40	7704.95
		3	0.03	1.14	10.80	2013.43
		4	0.03	2.19	14.90	3185.68
		5	0.03	2.07	13.60	2348.86
		ค่าเฉลี่ย	0.03	1.90	13.48	3769.05
	6	1	0.03	4.44	27.40	1929.36
		2	0.03	4.72	15.80	4756.40
		3	0.03	3.26	23.30	2511.84
		4	0.03	4.02	32.60	2733.77
		5	0.03	2.93	25.90	1732.83
		ค่าเฉลี่ย	0.03	3.87	25.00	2732.84
PLA+EG	2	1	0.03	10.53	1.42	17.50
		2	0.03	27.14	2.54	45.60
		3	0.03	16.39	1.64	27.30
		4	0.03	8.62	1.51	14.40
		5	0.03	20.11	1.80	33.50
		ค่าเฉลี่ย	0.03	16.56	1.78	27.66
	4	1	0.03	1.39	27.70	2849.32
		2	0.03	1.43	13.70	1574.11
		3	0.03	1.80	41.40	3531.24
		4	0.03	3.01	10.10	1016.46
		5	0.03	2.76	16.20	1766.88
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.08	21.82	2147.60
	6	1	0.03	1.13	19.60	1816.60
		2	0.03	1.22	14.50	1562.95
		3	0.03	1.92	22.90	2138.73
		4	0.03	1.60	29.10	2479.88
		5	0.03	1.25	20.60	2651.51
		ค่าเฉลี่ย	0.03	1.42	21.34	2129.94

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 200 rpm (TD)

ชื่อ	% wt	ชิ้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.03	3.17	29.50	1672.17
		2	0.03	4.08	19.90	1201.95
		3	0.03	1.68	16.20	2130.94
		4	0.03	2.88	16.20	1123.77
		5	0.03	3.01	29.70	1611.30
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.96	22.30	1548.03
PLA+PG	2	1	0.03	1.81	16.40	1812.77
		2	0.03	2.53	23.30	1859.89
		3	0.03	1.72	14.70	2484.35
		4	0.03	2.62	28.50	1845.19
		5	0.03	1.94	11.40	2812.42
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.12	18.86	2162.92
	4	1	0.03	1.56	24.10	2634.24
		2	0.03	1.76	14.90	2029.50
		3	0.03	1.53	25.40	2636.58
		4	0.03	2.19	27.40	2693.04
		5	0.03	1.10	11.30	1399.52
		ค่าเฉลี่ย	0.03	1.63	20.62	2278.58
	6	1	0.03	2.18	21.60	2432.91
		2	0.03	1.39	14.80	3010.58
		3	0.03	2.15	16.80	2028.26
		4	0.03	2.42	22.70	1975.73
		5	0.03	2.46	21.40	2719.49
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.12	19.46	2433.40
PLA+EG	2	1	0.03	1.60	32.80	2817.86
		2	0.03	3.13	47.90	2832.91
		3	0.03	2.21	46.40	3291.48
		4	0.03	2.40	47.20	2714.60
		5	0.03	3.46	60.50	3267.47
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.56	46.96	2984.86
	4	1	0.03	1.11	22.50	3088.44
		2	0.03	2.09	39.60	2749.33
		3	0.03	2.43	43.10	2719.19
		4	0.03	2.03	39.90	2870.04
		5	0.03	2.69	36.60	2408.33
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.07	36.34	2767.07
	6	1	0.03	2.12	43.10	2782.95
		2	0.03	1.89	40.00	2812.61
		3	0.03	2.38	46.10	2834.65
		4	0.03	1.39	24.40	2556.92
		5	0.03	2.41	37.70	2640.40
		ค่าเฉลี่ย	0.03	2.04	38.26	2725.50

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 250 rpm (MD)

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.02	1.99	31.90	2795.60
		2	0.02	2.62	16.90	1882.12
		3	0.02	1.71	23.80	3642.38
		4	0.02	2.48	24.80	1611.30
		5	0.02	1.58	24.50	2613.97
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.08	24.38	2509.08
PLA+PG	2	1	0.02	1.06	20.20	9222.45
		2	0.02	1.03	14.20	51630.90
		3	0.02	2.91	16.00	34714.02
		4	0.02	1.86	15.80	17164.72
		5	0.02	1.74	16.50	1974.10
		ค่าเฉลี่ย	0.02	1.72	16.54	22941.24
	4	1	0.02	1.68	22.90	2910.28
		2	0.02	1.70	14.30	10272.91
		3	0.02	2.56	17.00	1885.53
		4	0.02	2.19	21.00	6533.87
		5	0.02	3.69	14.50	11094.21
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.37	17.94	6539.36
	6	1	0.02	3.19	45.90	3862.96
		2	0.02	2.40	24.00	3908.00
		3	0.02	2.25	40.50	4215.03
		4	0.02	2.45	38.30	3751.87
		5	0.02	1.44	32.10	4101.73
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.34	36.16	3967.92
PLA+EG	2	1	0.02	2.27	29.30	2684.78
		2	0.02	2.04	53.00	4772.78
		3	0.02	1.47	31.20	3444.31
		4	0.02	2.23	18.60	2382.30
		5	0.02	1.91	35.60	5128.43
		ค่าเฉลี่ย	0.02	1.98	33.54	3682.52
	4	1	0.02	1.18	38.30	4176.87
		2	0.02	1.30	36.60	4980.61
		3	0.02	1.39	38.60	4073.38
		4	0.02	2.66	22.40	1724.85
		5	0.02	1.54	17.10	3602.62
		ค่าเฉลี่ย	0.02	1.61	30.60	3711.67
	6	1	0.02	2.39	32.20	1963.49
		2	0.02	2.64	21.70	1415.35
		3	0.02	2.73	27.40	1635.41
		4	0.02	1.77	25.00	1900.91
		5	0.02	1.48	14.20	7720.91
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.20	24.10	2927.21

ตาราง ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 250 rpm (TD)

ชื่อ	% wt	ชิ้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.02	3.64	14.50	2719.78
		2	0.02	2.12	26.90	2634.72
		3	0.02	2.18	14.10	6127.49
		4	0.02	1.83	44.40	3554.04
		5	0.02	2.09	45.20	3434.03
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.37	29.02	3694.01
PLA+PG	2	1	0.02	2.86	27.80	5694.49
		2	0.02	1.54	14.20	13347.29
		3	0.02	2.17	26.00	2779.58
		4	0.02	2.85	31.70	2700.80
		5	0.02	3.18	30.50	2321.06
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.52	26.04	5368.64
	4	1	0.02	2.03	15.70	17989.33
		2	0.02	1.71	28.00	3166.39
		3	0.02	1.77	16.20	27009.39
		4	0.02	2.52	16.40	3222.56
		5	0.02	1.94	15.80	5493.69
		ค่าเฉลี่ย	0.02	1.99	18.42	11376.27
	6	1	0.02	2.75	48.00	3851.37
		2	0.02	2.30	36.80	3973.16
		3	0.02	2.19	37.20	3654.96
		4	0.02	3.03	78.20	5849.55
		5	0.02	2.54	42.20	3852.18
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.56	48.48	4236.25
PLA+EG	2	1	0.02	2.18	28.60	1891.08
		2	0.02	1.72	26.50	2360.48
		3	0.02	2.66	45.10	2652.85
		4	0.02	5.99	33.60	1955.00
		5	0.02	3.06	51.80	2852.59
		ค่าเฉลี่ย	0.02	3.12	37.12	2342.40
	4	1	0.02	2.79	53.40	5432.50
		2	0.02	1.55	31.10	5421.04
		3	0.02	1.80	14.10	16388.91
		4	0.02	1.66	24.50	2722.26
		5	0.02	1.91	45.90	3960.22
		ค่าเฉลี่ย	0.02	1.94	33.80	6784.99
	6	1	0.02	1.35	20.60	2644.42
		2	0.02	2.00	27.30	2021.88
		3	0.02	2.36	30.20	2088.26
		4	0.02	2.68	38.20	2472.16
		5	0.02	2.80	15.20	2193.44
		ค่าเฉลี่ย	0.02	2.24	26.30	2284.03

ตาราง ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 60 แกรม ที่ความเร็วรอบ 150 rpm

ชื่อ	% wt	ชิ้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.08	2.32	18.30	1822.27
		2	0.09	5.10	29.20	1073.90
		3	0.09	1.92	32.50	8372.88
		4	0.09	2.80	38.50	2757.85
		5	0.09	5.91	36.20	2903.54
		ค่าเฉลี่ย	0.09	3.61	30.94	3386.09
PLA+PG	2	1	0.08	7.41	16.60	858.07
		2	0.07	5.24	16.60	1022.07
		3	0.08	6.48	18.70	1108.11
		4	0.08	4.25	15.90	1551.15
		5	0.06	4.63	20.10	2425.52
		ค่าเฉลี่ย	0.07	5.60	17.58	1392.99
	4	1	0.10	1.62	30.60	3581.83
		2	0.10	1.42	30.50	4164.87
		3	0.10	4.08	19.60	1164.42
		4	0.10	1.85	31.00	3412.53
		5	0.10	2.73	30.10	1658.98
		ค่าเฉลี่ย	0.10	2.34	28.36	2796.53
	6	1	0.09	2.35	21.60	1939.50
		2	0.10	2.49	30.60	1930.70
		3	0.10	4.41	26.40	1594.28
		4	0.10	3.36	25.60	1423.70
		5	0.10	4.64	26.80	1436.92
		ค่าเฉลี่ย	0.10	3.45	26.20	1665.02
PLA+EG	2	1	0.10	1.75	29.60	2773.18
		2	0.10	2.24	30.80	2194.00
		3	0.10	1.70	31.00	3717.50
		4	0.10	2.03	30.70	2439.33
		5	0.10	1.78	30.60	3498.93
		ค่าเฉลี่ย	0.10	1.75	29.60	2773.18
	4	1	0.10	3.47	30.80	1791.20
		2	0.10	3.03	24.80	1206.86
		3	0.10	2.91	24.10	1203.40
		4	0.10	4.39	29.00	1262.63
		5	0.08	4.44	28.50	1004.08
		ค่าเฉลี่ย	0.10	3.65	27.44	1293.64
	6	1	0.10	1.30	30.60	3347.89
		2	0.10	1.96	29.40	2419.18
		3	0.10	1.26	31.50	3296.74
		4	0.10	1.63	25.70	3164.60
		5	0.10	1.85	30.00	2982.72
		ค่าเฉลี่ย	0.10	1.60	29.44	3042.22

ตาราง ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 60 แกรม ที่ความเร็วรอบ 200 rpm

ชื่อ	% wt	ชิ้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.10	3.28	28.60	1418.27
		2	0.07	2.37	15.00	2030.52
		3	0.09	5.18	32.50	1529.22
		4	0.09	2.19	33.80	2620.57
		5	0.09	2.55	34.00	2396.32
		ค่าเฉลี่ย	0.09	3.11	28.78	1998.98
PLA+PG	2	1	0.07	2.19	42.90	3110.22
		2	0.08	2.93	18.70	1325.80
		3	0.08	3.41	21.80	1174.11
		4	0.09	1.98	12.10	1619.82
		5	0.08	2.12	15.80	1039.01
		ค่าเฉลี่ย	0.08	2.53	22.26	1653.79
	4	1	0.08	2.76	14.50	1877.42
		2	0.08	2.97	15.70	881.88
		3	0.08	3.41	15.20	1410.63
		4	0.08	2.23	14.90	1413.80
		5	0.08	3.20	21.20	1298.67
		ค่าเฉลี่ย	0.08	2.91	16.30	1376.48
	6	1	0.07	2.91	35.30	3837.04
		2	0.09	3.43	22.60	1425.20
		3	0.10	3.44	17.50	1760.99
		4	0.08	3.22	20.90	961.47
		5	0.08	3.14	22.10	1355.67
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.23	23.68	1868.08
PLA+EG	2	1	0.07	3.32	28.30	1360.43
		2	0.08	3.55	21.80	1061.24
		3	0.08	5.04	26.20	1236.51
		4	0.08	2.16	37.60	3304.71
		5	0.09	1.85	33.00	2718.41
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.18	29.38	1936.26
	4	1	0.08	2.28	38.80	4773.12
		2	0.08	3.33	19.70	893.31
		3	0.09	1.50	12.00	1848.06
		4	0.09	3.87	14.70	761.14
		5	0.10	4.16	26.00	1008.68
		ค่าเฉลี่ย	0.09	3.03	22.24	1856.86
	6	1	0.08	3.56	19.80	862.12
		2	0.09	2.52	34.20	3316.03
		3	0.08	4.68	22.10	818.12
		4	0.08	3.03	17.20	1630.40
		5	0.09	2.17	33.90	2395.37
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.19	25.44	1804.41

ตาราง ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 60 แกรม ที่ความเร็วรอบ 250 rpm

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.07	3.08	44.30	2698.27
		2	0.08	1.91	13.00	2320.71
		3	0.08	5.60	22.90	801.10
		4	0.08	3.34	14.10	1947.82
		5	0.08	3.48	23.80	999.84
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.48	23.62	1753.55
PLA+PG	2	1	0.07	3.11	41.40	2421.32
		2	0.07	2.54	18.70	2607.14
		3	0.07	2.56	43.50	2918.81
		4	0.07	5.07	18.00	1984.36
		5	0.07	2.31	31.60	2821.98
		ค่าเฉลี่ย	0.07	3.12	30.64	2550.72
	4	1	0.07	2.76	15.90	1540.25
		2	0.07	3.55	20.70	1004.00
		3	0.07	3.03	20.70	1118.35
		4	0.07	3.52	22.70	1343.72
		5	0.07	3.44	16.10	1906.31
		ค่าเฉลี่ย	0.07	3.26	19.22	1382.53
	6	1	0.08	3.08	19.60	1105.48
		2	0.07	2.50	18.90	1158.12
		3	0.07	3.98	17.70	1827.90
		4	0.07	3.85	23.20	1434.69
		5	0.07	3.55	17.90	2131.12
		ค่าเฉลี่ย	0.072	3.39	19.46	1531.46
PLA+EG	2	1	0.07	5.36	13.20	1147.03
		2	0.09	3.22	21.70	1251.67
		3	0.09	2.48	30.70	2020.33
		4	0.09	4.54	15.60	1568.79
		5	0.09	4.26	29.50	1354.11
		ค่าเฉลี่ย	0.09	3.97	22.14	1468.39
	4	1	0.07	3.94	19.80	1183.57
		2	0.08	2.65	38.80	2867.98
		3	0.08	3.00	22.50	6179.06
		4	0.08	4.65	27.50	3772.09
		5	0.09	4.55	25.30	1383.41
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.76	26.78	3077.22
	6	1	0.08	3.28	37.40	2747.50
		2	0.08	3.99	20.00	850.46
		3	0.08	3.04	36.50	2593.14
		4	0.08	4.46	14.80	833.02
		5	0.08	3.98	17.40	946.52
		ค่าเฉลี่ย	0.08	3.75	25.22	1594.13

ตาราง ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 80 แกรม ที่ความเร็วรอบ 150 rpm

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.13	9.11	28.90	2002.26
		2	0.16	3.24	42.80	2882.63
		3	0.13	4.61	31.90	2422.18
		4	0.13	5.07	32.30	1870.20
		5	0.14	6.71	31.10	2105.17
		ค่าเฉลี่ย	0.14	5.75	33.40	2256.49
PLA+PG	2	1	0.12	2.33	31.60	3687.28
		2	0.13	3.77	37.90	3839.77
		3	0.13	2.91	29.80	2412.49
		4	0.13	9.40	20.70	1322.95
		5	0.13	6.37	22.70	1875.93
		ค่าเฉลี่ย	0.13	4.95	28.54	2627.68
	4	1	0.16	7.48	24.80	1747.52
		2	0.16	9.12	17.50	2163.00
		3	0.16	7.74	25.60	2025.88
		4	0.16	3.04	44.00	4218.50
		5	0.16	5.15	24.10	1844.63
		ค่าเฉลี่ย	0.16	7.48	24.80	1747.52
	6	1	0.16	7.25	22.60	1492.99
		2	0.16	5.62	25.60	1825.94
		3	0.17	5.77	22.90	1984.54
		4	0.18	5.92	25.20	1772.93
		5	0.18	6.50	22.80	1477.64
		ค่าเฉลี่ย	0.17	6.21	23.82	1710.81
PLA+EG	2	1	0.17	8.55	26.80	1469.08
		2	0.16	11.00	23.40	1065.73
		3	0.16	10.81	23.60	1144.37
		4	0.16	3.00	42.40	3697.39
		5	0.16	3.84	42.60	2631.42
		ค่าเฉลี่ย	0.16	7.44	31.76	2001.60
	4	1	0.15	2.04	21.60	1546.03
		2	0.15	3.97	29.40	1797.75
		3	0.16	2.61	27.90	2553.95
		4	0.16	3.60	35.40	2357.45
		5	0.16	2.67	22.80	1522.98
		ค่าเฉลี่ย	0.16	2.98	27.42	1955.63
	6	1	0.15	3.04	22.30	2319.54
		2	0.15	3.07	32.90	2773.77
		3	0.16	3.69	20.10	1458.30
		4	0.16	4.82	21.40	1648.22
		5	0.16	4.97	18.20	1511.76
		ค่าเฉลี่ย	0.16	3.92	22.98	1942.32

ตาราง ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 80 แกรม ที่ความเร็วรอบ 200 rpm

ชื่อ	% wt	ชิ้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.14	3.69	22.70	1441.09
		2	0.13	6.50	24.60	1716.53
		3	0.12	5.09	26.10	1633.20
		4	0.12	5.52	29.70	1413.44
		5	0.13	5.11	29.70	1640.66
		ค่าเฉลี่ย	0.13	5.18	26.56	1568.99
PLA+PG	2	1	0.13	4.71	21.70	1612.78
		2	0.13	8.00	22.70	1372.93
		3	0.13	3.10	43.80	3307.53
		4	0.13	5.18	25.30	2044.93
		5	0.14	6.38	24.30	1556.54
		ค่าเฉลี่ย	0.13	5.48	27.56	1978.94
	4	1	0.15	6.13	24.90	1202.87
		2	0.14	4.96	46.30	4094.25
		3	0.14	6.03	26.00	1781.10
		4	0.14	6.22	19.70	2086.22
		5	0.15	9.74	25.90	2054.54
		ค่าเฉลี่ย	0.14	6.62	28.56	2243.79
	6	1	0.15	6.58	24.00	1494.31
		2	0.15	5.70	23.40	1662.94
		3	0.15	6.00	21.60	1599.36
		4	0.16	9.18	25.20	1137.43
		5	0.16	7.14	19.50	1104.99
		ค่าเฉลี่ย	0.15	6.92	22.74	1399.80
PLA+EG	2	1	0.14	6.39	32.20	2903.17
		2	0.14	5.89	20.50	1058.22
		3	0.15	5.35	22.50	1416.94
		4	0.15	3.93	35.80	2983.49
		5	0.15	7.47	22.10	1213.93
		ค่าเฉลี่ย	0.15	5.80	26.62	1915.15
	4	1	0.13	3.22	27.60	2729.17
		2	0.13	3.49	32.70	2573.23
		3	0.13	4.45	19.60	1626.44
		4	0.13	4.30	18.50	1328.97
		5	0.13	2.73	32.80	3113.38
		ค่าเฉลี่ย	0.13	3.64	26.24	2274.24
	6	1	0.13	4.38	19.70	1582.33
		2	0.14	4.17	17.00	1295.82
		3	0.14	5.20	19.20	1374.51
		4	0.15	2.78	19.80	1573.84
		5	0.15	3.40	20.00	1520.68
		ค่าเฉลี่ย	0.14	3.99	19.14	1469.44

ตาราง ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทนแรงดึงของฟิล์มที่ลามิเนต 80 แกรม ที่ความเร็วรอบ 250 rpm

ชื่อ	% wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	Tensile strength Test		
				% Elongation at break	Tensile strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
PLA	0	1	0.12	5.76	22.40	1503.47
		2	0.13	3.94	25.30	1514.95
		3	0.13	7.79	20.30	1033.05
		4	0.13	7.10	26.20	1536.66
		5	0.14	7.97	21.90	1233.13
		ค่าเฉลี่ย	0.13	6.51	23.22	1364.25
PLA+PG	2	1	0.12	4.92	39.00	3132.35
		2	0.13	4.52	33.30	3172.68
		3	0.13	10.75	26.40	3176.61
		4	0.13	3.48	37.40	3288.22
		5	0.14	2.94	29.00	2655.58
		ค่าเฉลี่ย	0.13	5.32	33.02	3085.09
	4	1	0.12	4.60	17.70	1436.87
		2	0.12	6.00	38.10	3898.31
		3	0.12	6.62	40.50	4360.74
		4	0.13	9.34	22.30	1801.53
		5	0.13	12.36	44.40	3787.00
		ค่าเฉลี่ย	0.12	7.78	32.60	3056.89
	6	1	0.13	5.61	23.10	1525.67
		2	0.14	5.39	20.50	1452.07
		3	0.14	4.90	18.70	1239.41
		4	0.14	3.30	35.80	3196.93
		5	0.15	4.17	19.20	1335.43
		ค่าเฉลี่ย	0.14	4.67	23.46	1749.90
PLA+EG	2	1	0.14	9.50	16.50	1014.00
		2	0.14	5.45	20.40	1053.53
		3	0.14	11.54	22.90	1365.24
		4	0.14	7.53	22.30	1037.84
		5	0.14	7.75	20.90	1209.93
		ค่าเฉลี่ย	0.14	8.35	20.60	1136.11
	4	1	0.12	5.50	23.20	1449.07
		2	0.13	4.03	29.50	2828.18
		3	0.13	5.92	21.50	917.06
		4	0.13	4.49	34.70	2352.63
		5	0.13	5.89	25.10	1450.09
		ค่าเฉลี่ย	0.13	5.17	26.80	1799.41
	6	1	0.12	3.47	16.80	1680.38
		2	0.13	4.33	21.60	1444.66
		3	0.13	6.11	26.10	2535.55
		4	0.13	9.03	22.60	1826.14
		5	0.13	4.50	21.10	1672.15
		ค่าเฉลี่ย	0.13	5.49	21.64	1831.78



ผลการทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด

ตาราง ข.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 150 rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย (g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.05	0.0757	0.0805
		2	0.05	0.0774	0.0784
		3	0.05	0.0803	0.0373
		4	0.05	0.1111	0.0752
		5	0.05	0.0878	0.0761
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.0865	0.0695
PLA+PG	2	1	0.05	0.0513	0.0340
		2	0.05	0.0471	0.0296
		3	0.05	0.0488	0.0312
		4	0.05	0.0480	0.0256
		5	0.05	0.0441	0.0284
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.0479	0.0298
	4	1	0.05	0.1145	0.1181
		2	0.05	0.1140	0.0936
		3	0.05	0.1174	0.0990
		4	0.05	0.1109	0.1022
		5	0.05	0.1217	0.0897
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.1157	0.1005
	6	1	0.05	0.1111	0.0555
		2	0.05	0.1310	0.0508
		3	0.05	0.1051	0.0583
		4	0.05	0.1174	0.0514
		5	0.05	0.1005	0.0825
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.1130	0.0597
PLA+EG	2	1	0.05	0.1232	0.1266
		2	0.05	0.1298	0.1229
		3	0.05	0.1497	0.1312
		4	0.05	0.1263	0.1276
		5	0.05	0.1181	0.1131
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.1294	0.1243
	4	1	0.05	0.1059	0.1102
		2	0.05	0.0971	0.0991
		3	0.05	0.1164	0.1123
		4	0.05	0.0981	0.1083
		5	0.05	0.1188	0.0946
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.1073	0.1049
	6	1	0.05	0.1181	0.0868
		2	0.05	0.1174	0.0790
		3	0.05	0.1102	0.0727
		4	0.05	0.1248	0.0941
		5	0.05	0.1247	0.1270
		ค่าเฉลี่ย	0.05	0.1190	0.0919

ตาราง ข.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 200 rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก ไซเซอร์ % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย (g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.03	0.0672	0.0546
		2	0.03	0.0908	0.0992
		3	0.03	0.0572	0.0718
		4	0.03	0.0953	0.0653
		5	0.03	0.0656	0.0531
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0752	0.0688
PLA+PG	2	1	0.03	0.0516	0.0469
		2	0.03	0.0552	0.0421
		3	0.03	0.0478	0.0397
		4	0.03	0.0657	0.0611
		5	0.03	0.0529	0.0446
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0546	0.0469
	4	1	0.03	0.0581	0.0602
		2	0.03	0.0691	0.0538
		3	0.03	0.0598	0.0741
		4	0.03	0.0545	0.0661
		5	0.03	0.0693	0.0457
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0622	0.0600
	6	1	0.03	0.0703	0.1059
		2	0.03	0.0656	0.0541
		3	0.03	0.0701	0.0752
		4	0.03	0.1736	0.0922
		5	0.03	0.0921	0.0687
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0943	0.0792
PLA+EG	2	1	0.03	0.0721	0.0731
		2	0.03	0.0748	0.0675
		3	0.03	0.0618	0.0648
		4	0.03	0.0770	0.0715
		5	0.03	0.0620	0.0659
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0695	0.0686
	4	1	0.03	0.0617	0.0562
		2	0.03	0.0661	0.0675
		3	0.03	0.0678	0.0618
		4	0.03	0.0610	0.0493
		5	0.03	0.0555	0.0514
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0624	0.0572
	6	1	0.03	0.0652	0.0635
		2	0.03	0.0524	0.0468
		3	0.03	0.0573	0.0635
		4	0.03	0.0575	0.0494
		5	0.03	0.0616	0.0603
		ค่าเฉลี่ย	0.03	0.0588	0.0567

ตาราง ข.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ไม่ได้ลามิเนตที่ความเร็วรอบ 250 rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก ไซเซอร์ % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย (g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.02	0.0445	0.0523
		2	0.02	0.0776	0.0366
		3	0.02	0.0486	0.0420
		4	0.02	0.0597	0.0583
		5	0.02	0.0583	0.0676
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0577	0.0514
PLA+PG	2	1	0.02	0.0560	0.0370
		2	0.02	0.0433	0.0392
		3	0.02	0.0597	0.0338
		4	0.02	0.0763	0.0363
		5	0.02	0.0441	0.0891
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0559	0.0471
	4	1	0.02	0.0505	0.0661
		2	0.02	0.0847	0.0830
		3	0.02	0.0808	0.0531
		4	0.02	0.0557	0.0639
		5	0.02	0.0592	0.0608
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0662	0.0654
	6	1	0.02	0.0859	0.0678
		2	0.02	0.0878	0.0740
		3	0.02	0.0789	0.0530
		4	0.02	0.0647	0.0645
		5	0.02	0.0493	0.0610
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0733	0.0640
PLA+EG	2	1	0.02	0.0751	0.0573
		2	0.02	0.0548	0.0425
		3	0.02	0.0451	0.0508
		4	0.02	0.0385	0.0273
		5	0.02	0.0448	0.0449
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0517	0.0446
	4	1	0.02	0.0803	0.0651
		2	0.02	0.0748	0.0594
		3	0.02	0.0616	0.0561
		4	0.02	0.0645	0.0672
		5	0.02	0.0630	0.0685
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0688	0.0633
	6	1	0.02	0.0534	0.0391
		2	0.02	0.0607	0.0261
		3	0.02	0.0497	0.0307
		4	0.02	0.0394	0.0332
		5	0.02	0.0675	0.0308
		ค่าเฉลี่ย	0.02	0.0541	0.0320

ตาราง ข.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มลามิเนต 60 แกรม ความเร็วรอบ 150rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก ไซเซอร์ % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย(g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.08	0.2006	0.1519
		2	0.09	0.2987	0.1541
		3	0.09	0.1929	0.2291
		4	0.09	0.2378	0.1877
		5	0.09	0.2212	0.2099
		ค่าเฉลี่ย	0.09	0.2302	0.1865
PLA+PG	2	1	0.08	0.2186	0.1223
		2	0.07	0.2167	0.1156
		3	0.08	0.2612	0.1393
		4	0.08	0.2334	0.1133
		5	0.06	0.2371	0.1008
		ค่าเฉลี่ย	0.07	0.2334	0.1183
	4	1	0.10	0.2336	0.2403
		2	0.10	0.2378	0.2239
		3	0.10	0.2362	0.1932
		4	0.10	0.2358	0.2002
		5	0.10	0.2303	0.2216
		ค่าเฉลี่ย	0.10	0.2347	0.2158
	6	1	0.09	0.2460	0.2170
		2	0.10	0.2293	0.2235
		3	0.10	0.2190	0.2295
		4	0.10	0.2167	0.2171
		5	0.10	0.2435	0.2403
		ค่าเฉลี่ย	0.10	0.2309	0.2170
PLA+EG	2	1	0.10	0.2247	0.1993
		2	0.10	0.2423	0.2235
		3	0.10	0.2322	0.2196
		4	0.10	0.2242	0.2129
		5	0.10	0.2268	0.2358
		ค่าเฉลี่ย	0.10	0.2300	0.2182
	4	1	0.10	0.2138	0.1797
		2	0.10	0.2275	0.1822
		3	0.10	0.2266	0.2153
		4	0.10	0.2209	0.1658
		5	0.08	0.2174	0.1653
		ค่าเฉลี่ย	0.10	0.2212	0.1817
	6	1	0.10	0.2542	0.2068
		2	0.10	0.2522	0.2047
		3	0.10	0.2234	0.1911
		4	0.10	0.2344	0.1982
		5	0.10	0.2361	0.1556
		ค่าเฉลี่ย	0.10	0.2401	0.1913

ตาราง ข.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ลามิเนต 60 แกรมที่ความเร็วรอบ 200rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก ไซเซอร์ % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย(g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.10	0.1511	0.1738
		2	0.07	0.2259	0.1641
		3	0.09	0.1656	0.1781
		4	0.09	0.1606	0.1514
		5	0.09	0.1687	0.1659
		ค่าเฉลี่ย	0.09	0.1744	0.1667
PLA+PG	2	1	0.07	0.1895	0.1222
		2	0.08	0.1669	0.1165
		3	0.08	0.1955	0.106
		4	0.09	0.1663	0.1014
		5	0.08	0.1713	0.1313
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1779	0.1155
	4	1	0.08	0.1803	0.1607
		2	0.08	0.1903	0.1578
		3	0.08	0.1782	0.1499
		4	0.08	0.185	0.1655
		5	0.08	0.1887	0.1701
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1845	0.1608
	6	1	0.07	0.1576	0.1358
		2	0.09	0.1775	0.1823
		3	0.10	0.1806	0.1611
		4	0.08	0.1782	0.1563
		5	0.08	0.1764	0.1855
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1741	0.1642
PLA+EG	2	1	0.07	0.1937	0.1258
		2	0.08	0.1877	0.1303
		3	0.08	0.1944	0.1368
		4	0.08	0.1893	0.1278
		5	0.09	0.1961	0.1182
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1922	0.1278
	4	1	0.08	0.1929	0.0922
		2	0.08	0.2173	0.1148
		3	0.09	0.1856	0.1325
		4	0.09	0.1812	0.1378
		5	0.10	0.1862	0.1505
		ค่าเฉลี่ย	0.09	0.1926	0.1256
	6	1	0.08	0.1727	0.1818
		2	0.09	0.1761	0.1736
		3	0.08	0.1856	0.1300
		4	0.08	0.1788	0.1712
		5	0.09	0.1845	0.1129
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1795	0.1539

ตาราง ข.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มที่ลามิเนต 60 แกรม ที่ความเร็วรอบ 250 rpm

ชื่อ	ร้อยละพลาสติก ไซเซอร์ % wt	ชั้นทดสอบ	ความหนา (mm)	การย่อยสลาย(g)	
				ไม่ฝังดิน	ฝังดิน
PLA	0	1	0.07	0.1653	0.1393
		2	0.08	0.1689	0.1216
		3	0.08	0.1682	0.1254
		4	0.08	0.1699	0.1384
		5	0.08	0.1611	0.1153
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1667	0.1280
PLA+PG	2	1	0.07	0.1503	0.1490
		2	0.07	0.1516	0.1317
		3	0.07	0.1511	0.1265
		4	0.07	0.1563	0.1134
		5	0.07	0.1562	0.1410
		ค่าเฉลี่ย	0.07	0.1531	0.1323
	4	1	0.07	0.2147	0.1396
		2	0.07	0.2238	0.1497
		3	0.07	0.1615	0.1252
		4	0.07	0.2173	0.1585
		5	0.07	0.2104	0.1383
		ค่าเฉลี่ย	0.07	0.2055	0.1423
	6	1	0.08	0.1728	0.1503
		2	0.07	0.1711	0.1748
		3	0.07	0.1755	0.1420
		4	0.07	0.1756	0.1686
		5	0.07	0.1725	0.1642
		ค่าเฉลี่ย	0.072	0.1735	0.1503
PLA+EG	2	1	0.07	0.1519	0.1584
		2	0.09	0.1788	0.1752
		3	0.09	0.1597	0.1628
		4	0.09	0.1757	0.1556
		5	0.09	0.1587	0.1719
		ค่าเฉลี่ย	0.09	0.1650	0.1648
	4	1	0.07	0.1816	0.1542
		2	0.08	0.1788	0.1761
		3	0.08	0.1804	0.1391
		4	0.08	0.1755	0.1191
		5	0.09	0.1797	0.1631
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1792	0.1503
	6	1	0.08	0.1697	0.0825
		2	0.08	0.1768	0.1080
		3	0.08	0.1838	0.0910
		4	0.08	0.1784	0.0895
		5	0.08	0.1739	0.0913
		ค่าเฉลี่ย	0.08	0.1765	0.0925

ภาคผนวก ค

ผลการวัดอุณหภูมิในการทดสอบการย่อยสลายของ

ฟิล์มพอลิแลคติกแอซิด



ตาราง ค.1 ตารางบันทึกผลการวัดอุณหภูมิการทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์ม

	สัปดาห์	วันที่	อุณหภูมิ (°C)
	1 เดือน	1	1
2			33
3			30
4			33
5			31
6			34
7			30
ค่าเฉลี่ย			32
2		1	32
		2	31
		3	28
		4	33
		5	35
		6	33
		7	36
		ค่าเฉลี่ย	33
3		1	26
		2	30
		3	28
		4	27
		5	26
		6	30
		7	31
		ค่าเฉลี่ย	28
4		1	34
		2	30
		3	32
		4	33
	5	31	
	6	31	
	7	30	
	ค่าเฉลี่ย	32	
ค่าเฉลี่ยรวม			31

ตาราง ค.1 ตารางบันทึกผลการวัดอุณหภูมิการทดสอบสมบัติการย่อยสลายของฟิล์ม

	ลำดับ	วันที่	อุณหภูมิ (°C)
2 เดือน	1	1	29
		2	30
		3	30
		4	29
		5	28
		6	31
		7	33
		ค่าเฉลี่ย	30
	2	1	30
		2	29
		3	30
		4	32
		5	30
		6	31
		7	32
		ค่าเฉลี่ย	31
	3	1	30
		2	28
		3	28
		4	29
		5	30
		6	32
		7	34
		ค่าเฉลี่ย	30
	4	1	35
		2	31
		3	29
		4	33
5		35	
6		36	
7		28	
ค่าเฉลี่ย		32	
ค่าเฉลี่ยรวม			30