



ผลของทัณฑ์ในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด
และพอลิবিธีลินซัคซิเนตเพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

วีรากรณ์ ผิวสอาด

ลงทะเบียนวันที่ 18 พ.ค. 2558
เลขทะเบียน 145122

เลขหมู่.....

เลขหมู่ วฟ
TS
1890
78534.

หัวเรื่อง.....

โพลีเมอร์-การเติมสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของทัลคัมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิ
บิวทีเรินซัคซิเนตเพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

Effect of Talcum on Polymer Blends of Poly(lactic acid) and
Poly(butylene succinate) for Injection Molding Process Applications

ชื่อ - นามสกุล

นางวีราภรณ์ ผิวสอาด

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จู่ไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, Ph.D.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์สุภาภรณ์ ทุมสอน, Ph.D.

ปีการศึกษา

2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ตรีไชยาพร, Docteur de l'INPT)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ประกอบ กิจไชยา, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุมนมาลย์ เนียมกลาง, Ph.D.)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุภาภรณ์ ทุมสอน, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จู่ไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)

วันที่ 10 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของตัลคัมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป
ชื่อ-นามสกุล	นางวีราภรณ์ ผิวสอาด
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จูไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, Ph. D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุภาภรณ์ ทุมสอน, Ph. D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม แต่ PLA มีข้อจำกัด เช่น ความแข็งเปราะ ความเป็นผลึกต่ำ การทนต่อแรงกระแทกต่ำ จึงต้องปรับปรุงสมบัติเหล่านี้โดยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติความเหนียวและการย่อยสลายทางชีวภาพที่สูงกว่า PLA แต่อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์ผสม PLA และ PBS ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการแยกเฟสทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเติมสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ผสมเพื่อเพิ่มสมบัติความแข็งแรง ความเหนียวและความเป็นผลึก

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เตรียมที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูว์ ตัลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% ถูกเติมลงในพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลและเป็นการลดต้นทุนการผลิต จากนั้นเตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมทั้งที่ไม่เติมตัลคัมและเติมตัลคัมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

พบว่า การเติมตัลคัมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS ไม่เปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ จากการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของตัลคัมพบการกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ผสม ค่ามอดูลัสของสภาพการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัลคัมเพิ่มขึ้น ค่าการทนแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง ตัลคัมทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA สูงขึ้นตามปริมาณตัลคัมที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมตัลคัมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปได้

คำสำคัญ : พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ตัลคัม สารเติมแต่ง กระบวนการฉีดขึ้นรูป

Thesis title	Effect of Talcum on Polymer Blends of Poly(lactic acid) and Poly(butylenes succinate) for Injection Molding Process Applications
Name - Surname	Mrs. Weraporn Pivsa-Art
Thesis Advisor	Assistance Professor Juraiwan Ratanapisit, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Miss Supaphorn Thumsorn, Ph.D.
Academic Year	2012

Abstract

Poly(lactic acid) (PLA) is a biodegradable polymer having high potential on industrial applications. But PLA has some limited property such as its brittleness, low crystallinity and low impact strength. Then, polymer blends of PLA with poly(butylene succinate) (PLA) were prepared to improve the ductile and biodegradability. However, polymer blends of PLA and PBS still have limit of phase separation which resulted in decreasing of mechanical properties. Therefore, this research focus on effects of additives on properties of the polymer blends of PLA/PBS including strength, toughness and crystallinity.

Polymer blends of PLA/PBS were prepared with ratios 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 and 0:100 wt% using a twin screw extruder. Talcum was added to the polymer blends with amount 5, 10 and 20 wt% to improve mechanical properties and to reduce production cost. The polymer test samples with and without talcum additives were fabricated using compression molding at 220 °C. The samples were subjected to physical and mechanical property analysis.

It was found that addition of talcum to the polymer blends of PLA and PBS did not change the melt flow index of blends. The morphology study revealed well distribution of talcum on polymer matrix. The modulus of the blends increased with increasing talcum amounts of talcum while the impact strength showed decrease tendency. The crystallinity of PLA increased with increasing amounts of talcum. The results of mechanical and physical property analysis confirmed the polymer systems of PLA/PBS with talcum can be applied to injection molding applications.

Keywords : poly(lactic acid), poly(butylene succinate), talcum, additive, injection molding

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จูไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนข้อมูลเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์

ดร.สุภาภรณ์ ทุมสอน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ตริยไชยาพร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้กำลังใจ ปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ห้องปฏิบัติการของศาสตราจารย์ ดร. ฮิโรยูกิ ฮามาตะ ภาควิชา Advanced Fibro Science สถาบันเทคโนโลยีเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนวัสดุที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

นางสาวรัชนิกร วงษ์พระจันทร์ ผู้ช่วยนักวิจัยของหน่วยวิจัย Bio-base Materials ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมีและวัสดุ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวัสดุและโลหการ ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย ที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นางวีราภรณ์ ผิวสอาด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.3 พอลิแลคติกแอซิด Poly(lactic acid).....	12
2.4 พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate), PBS)	17
2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend).....	18
2.6 สารเติมแต่งในพลาสติก (Additives for Polymer).....	20
2.7 เครื่องจักรรีดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder).....	23
2.8 เทคนิคการอัด (Compression Molding).....	24
2.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ.....	25
2.10 การทดสอบสมบัติทางกล	27
2.11 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	31
3 วิธีการดำเนินงาน	33
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	33

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 วัสดุคืบและเครื่องมือ	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล.....	38
4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	42
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง	42
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง	47
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	53
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	ห้ามฉีก ตัด หรือทำให้เสียหาย 58
5.2 ข้อเสนอแนะ	ผู้ใดพบเห็น กรุณาส่งคืนได้ที่ 60
รายการอ้างอิง	โทรศัพท์ 0-2549-3079 61
ภาคผนวก	ภาควิชาบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ 63
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล.....	มทร.ธัญบุรี 64
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก.....	มทร.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 67
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	82
ภาคผนวก ง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการทดสอบ.....	85
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	90
ประวัติผู้เขียน	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป.....	14
2.2 สมบัติของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต สำหรับกระบวนการฉีด.....	17
4.1 ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัมที่ปริมาณต่างๆ.....	42
4.2 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่ไม่เติมทัลคัม.....	47
4.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่เติมทัลคัมที่ปริมาณ 5 wt%.....	48
4.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่เติมทัลคัมที่ปริมาณ 10 wt%.....	48
4.5 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่เติมทัลคัมที่ปริมาณ 20 wt%.....	49
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt%.....	52
4.7 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัม.....	53
4.8 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัม.....	55
4.9 การทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt%.....	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	สูตร โครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด 13
2.2	กระบวนการสังเคราะห์ PLA แบบเปิดวงแหวนแลกไทด์ 13
2.3	โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของแลคติกแอซิด 14
2.4	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ผลิตขึ้น 16
2.5	ลักษณะการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่เกิดขึ้น 17
2.6	โครงสร้างทางเคมีของ PBS 17
2.7	Talc 22
2.8	โครงสร้างของทัลคัม 22
2.9	แบบเกดียวสกรูภายในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ 23
2.10	ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) 25
2.11	องค์ประกอบของเครื่อง SEM 26
2.12	ลักษณะเครื่อง Tensile strength 27
2.13	การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก 29
2.14	ส่วนประกอบหลักของเครื่อง DSC 31
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน 35
3.2	ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่เติมสารเติมแต่ง 36
3.3	ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่เติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องอัด ขึ้นรูป 37
3.4	ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงดึง 40
3.5	ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก 40
4.1	ผลการทดสอบต่อค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 0-20 wt% 43
4.2	ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ 44
4.3	ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ เติมทัลคัมในปริมาณ 5 wt% 45
4.4	ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ เติมทัลคัมในปริมาณ 10 wt% 45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมในปริมาณ 20 wt%	46
4.6 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 0 wt%	49
4.7 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 5 wt%	50
4.8 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 10 wt%	50
4.9 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 20 wt%	51
4.10 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ปริมาณทัลคัม 0-20 wt%	54
4.11 ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ปริมาณทัลคัม 0-20 wt%	55
4.12 ค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ปริมาณทัลคัม 0-20 wt%	57

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ΔH_m	เอนทัลปีของการหลอมเหลว (Enthalpy for Melting)
ΔH_m^0	เอนทัลปีของการหลอมเหลว PLA ที่มีความเป็นผลึก 100% (Enthalpy of Melting for a 100% Crystalline PLA)
ASTM	มาตรฐานการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society of Testing and Materials)
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
g	กรัม
MFI	ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index)
PLA	พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid))
PBS	พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate))
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
T_m	อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature)
T_g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature)
T	อุณหภูมิ
W	สัดส่วนน้ำหนักของ PLA ในตัวอย่าง
χ_c	% Crystallinity

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของใช้และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากสมบัติส่วนใหญ่ของพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม ราคาถูก และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่างๆ ได้ง่ายกว่าวัสดุชนิดอื่น แต่เนื่องจากความทนทานของพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียมทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกภายหลังการใช้งานเมื่อถูกทิ้งเป็นขยะไม่สลายตัวหรือใช้ระยะเวลาานานมาก ทำให้การกำจัดขยะพลาสติก ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนซึ่งสะสมมากขึ้นตามลำดับ ตามปริมาณการใช้พลาสติกที่สูงขึ้นตามการพัฒนาเศรษฐกิจและจำนวนประชากร ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะเลือกใช้วัสดุที่จะแก้ปัญหาขยะยาว ซึ่งการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้หลังจากการใช้งานและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาจากขยะพลาสติกที่ยั่งยืน ดังนั้นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่มีความจำเป็นต้องพัฒนาเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายซึ่งผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในการใช้งานและมีกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์ ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์แบบกิ่งผลึกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติเชิงกลที่สูงเทียบเท่าพลาสติกทางการค้า พอลิแลคติกแอซิดผลิตได้โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยใช้กรดแลคติก (lactic acid) เป็นมอนอเมอร์ ซึ่งกรดแลคติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ โดยใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก พอลิแลคติกแอซิดสามารถนำมาขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อการใช้งานได้หลายแบบ เช่น การฉีดเข้าแบบ (Injection Moulding) การอัดรีด (Extrusion) การเป่าขึ้นรูป (Blow Moulding) และการเป่าฟิล์ม (Blown Film)

อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้พอลิแลคติกแอซิดในเชิงอุตสาหกรรมยังมีอุปสรรคที่สำคัญเนื่องด้วยสมบัติบางประการของพอลิแลคติกแอซิด ที่ยังไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปได้ เช่น มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ที่สูงมาก มีความเป็นผลึกสูง ไหลก่อนข้างยาก ดัชนีการไหลต่ำ ความหนืดสูง เป็นต้น ซึ่งเป็นอุปสรรคในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในกระบวนการต่างๆ และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปพอลิแลคติกแอซิดโดยใช้สารเติมแต่งมาทำการคอมพาวด์ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ เช่น แป้งจากมันสำปะหลัง และดินขาว เป็นต้น ดังนั้นจึงได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีน

ซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และศึกษาการเติมสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ผสม PLA และ PBS เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ซึ่งสารเติมแต่งที่เลือกศึกษาได้แก่ ทalcum) ซึ่งเป็นสารเติมแต่งที่ใช้ในการเสริมแรงในพอลิเมอร์และใช้เป็น Nucleating Agents โดยผู้วิจัยคาดหวังข้อที่เป็นประโยชน์ของการผสมทalcum ในการเสริมสมบัติ และช่วยในการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ทalcum ยังเป็นสารเพิ่มเนื้อให้กับพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาปริมาณทalcum และสภาวะที่เหมาะสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมทalcum

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ใช้อัตราส่วนและปริมาณของทalcum ที่เหมาะสม โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมทalcum ที่ปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีด สกรูคู่ ดังนี้

1) อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100

2) ปริมาณของทalcum ที่เติมลงพอลิเมอร์ผสมเป็น 5, 10 และ 20 wt%

1.3.2 เตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมที่เติมทalcum ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป

1.3.3 ทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมทalcum ที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่

1) สมบัติทางกายภาพ

1. การไหลของพอลิเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI)

2. สัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) สมบัติเชิงกล ได้แก่

1. การทนต่อแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

2. การทนต่อแรงกระแทก ด้วยเครื่อง Impact Pendulum Tester

1.3.4 รวบรวมข้อมูลการทดสอบทางเชิงกล และทางกายภาพ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

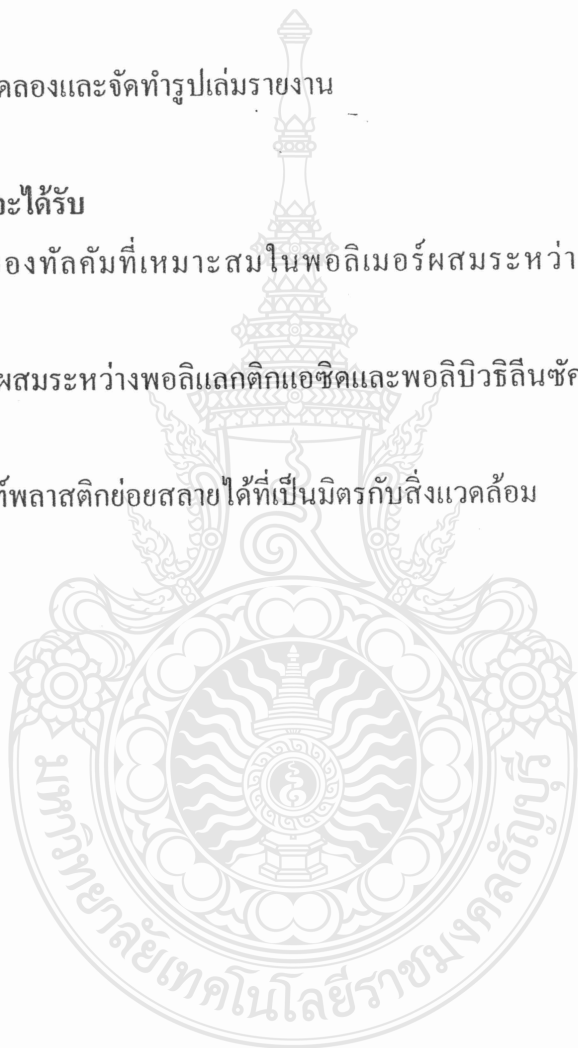
1.3.5 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ปริมาณของทัลคัมที่เหมาะสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

1.4.2 ได้พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติเชิงกล

1.4.3 ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง จนเกิดปัญหามลพิษต่างๆ ต่อมา มีผู้วิจัยหลายท่านได้ศึกษาค้นคว้าพลาสติกชนิดใหม่ๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะหลังจากการใช้งานแล้ว ซึ่งพลาสติกเหล่านั้นเรียกว่า พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในปัจจุบันได้ให้ความสนใจในการศึกษาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้น โดยอ้างอิงจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลินซัคซิเนตและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ มีดังนี้

ปี 1999 M. Longerey และคณะ [1] ศึกษาการเติมฟิลเลอร์คือ ทดลัมที่ปริมาณ ต่างๆ ควบคู่กับสารหน่วงไฟ คือ โบรมิเนตที่ปริมาณ 20 % ในโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอธิลีน พบว่าพอลิเมอร์ที่เติมทลลัมปริมาณ 40 wt% นั้นเพิ่มระยะเวลาการติดไฟของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของทลลัมที่เติมและโครงสร้างผลึก โดยทลลัมเพิ่มการเกิดผลึก เนื่องจากอุณหภูมิการเกิดผลึกเพิ่มขึ้นตามปริมาณของทลลัมที่เพิ่มขึ้น เมื่อคอมโพสิตได้รับความร้อน ส่วนที่เป็นผลึกจะหลอมก่อนทำให้ย้ระยะเวลาของการติดไฟ

ปี 2005 Sangmook Lee และคณะ [2] ศึกษาสมบัติทางความร้อน การไหล ลักษณะฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBSA ที่เตรียมโดยการฉีดขึ้นรูป ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วย DSC แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางความร้อนของ PLA ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณ PBSA ที่ผสม แต่จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ เมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) แสดงให้เห็นว่าความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมน้อยกว่า PLA และ PBSA บริสุทธิ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ยืนยันการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ทั้งสอง สมบัติการไหล (Rheological Properties) ของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณขององค์ประกอบ ค่าความทนทานต่อแรงดึงและมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามปริมาณของ PBSA ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ของ PLA/PBSA ที่อัตราส่วน 80/20 เพิ่มขึ้นอย่างมากกว่ากฎของการผสม (Rule of Mixture) การวิเคราะห์ลักษณะฐานวิทยาแสดงโครงสร้างของ

เฟสที่แยกจากกัน ผลขององค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่ามีอัตราเร็วของการย่อยสลายสูงสุดสำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณ PBSA 80 wt%

ปี 2006 Bruno Rotzinger และคณะ [3] ศึกษาผลของการเติมทัลคัมในพอลิพรอพิลีนโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการฉีดขึ้นรูป และศึกษาการผสมสารปรุงแต่ง (Modifier) ต่อความเสถียรต่อความร้อน พบว่าการเติมสารปรุงแต่ง ช่วยส่งผลกระทบต่อสมบัติที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกลไกของการเสริมสมบัติของทัลคัมและสารปรุงแต่ง ยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

ปี 2007 Amita Bhatia และคณะ [4] ศึกษาความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่าง PLA และ PBS ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ ที่อุณหภูมิ 180°C และศึกษาลักษณะสถานะฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การไหล และสมบัติเชิงกล พอลิเมอร์ผสมเตรียมที่อัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 90:10, 80:20, 50:50, 20:80 และ 10:90 ทำการอบเม็ดพลาสติกก่อนการผสมที่อุณหภูมิ 50°C ภายใต้อุณหภูมิความดันสูญญากาศ 80 kPa เป็นเวลา 2 วัน เพื่อป้องกันพอลิเมอร์สลายตัวโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส ผลการวิเคราะห์ลักษณะสถานะฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองแยกเฟสอย่างชัดเจน จากสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ PLA ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อผสม PBS แต่ที่อัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 80:20 แสดงให้เห็นการผสมกันบางส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง ค่าความทนต่อแรงดึง โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่ 80:20 เป็นไปตามกฎการผสม ลักษณะสถานะฐานวิทยาแสดงให้เห็นการผสมกันของพอลิเมอร์ที่ปริมาณ PBS น้อยกว่า 20 wt% และ PBS เป็นตัวเพิ่มความเหนียวให้กับ PLA แสดงให้เห็นแนวโน้มในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

ปี 2007 M. S. Huda และคณะ [5] ศึกษาผลของการเติมทัลคัมที่ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน เป็นฟิลเลอร์ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพใน PLA คอมโพสิตเสริมแรงด้วย Recycled Newspaper Cellulose Fibers (RNCF) โดยการเติมทัลคัมที่ปริมาณ 10 wt% ในคอมโพสิต PLA/RNCF (60 wt%/30 wt%) เปรียบเทียบกับ PP คอมโพสิต พบว่า โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อเติมทัลคัม เนื่องจากความแข็งแรงของทัลคัมและทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างผิวหน้ามากขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วย DMA พบว่าการเติมทัลคัมส่งผลให้ Storage Modulus (Stiffness) เพิ่มขึ้นอย่างมากและมีค่า Tan Delta ลดลง ทัลคัมที่ผ่านการปรับสภาพผิวทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้พอลิเมอร์เมทริกซ์สูงกว่าทัลคัมที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย DSC พบว่าการเติมทัลคัมส่งผลต่อปริมาณความเป็นผลึกของคอมโพสิตที่ลดลง โดยที่ความเป็นผลึก

ของไนท์ลัมเติมใน RNCF-Reinforced PLA Hybrid Composites ลดลงเนื่องจากเซลลูโลสไฟเบอร์ และท์ลัมขัดขวางการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายของสายโซ่โมเลกุล PLA ไปสู่ผิวหน้าของ นิวเคลียสของคอมโพสิต การลดลงของความเป็นผลึกช่วยให้ Impact Strength ของคอมโพสิตสูงขึ้น เนื่องจากความยืดหยุ่นของโมเลกุล จากการวิเคราะห์ผิวหน้าที่แตกจากชิ้นงานที่ทดสอบการทนต่อแรง กระแทกด้วย SEM ของ PLA คอมโพสิตเสริมแรงด้วย RNCF พบว่าท์ลัมที่ปรับสภาพผิวด้วยไซเลน แสดงการยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ได้ดีกว่า แม้ว่าการเติมท์ลัมใน RNCF-Reinforced PP จะให้ผลในแนวโน้มเดียวกัน แต่การเพิ่มสมบัติเชิงกลของท์ลัมใน PLA คอมโพสิตมีการเพิ่ม อย่างมีนัยสำคัญมากกว่าแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานคอมโพสิตทดแทนเส้นใยแก้ว ด้วยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ปี 2007 Yaming Wang และคณะ [6] ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLLA และ PBSA ด้วยวิธี Solvent Casting ที่อัตราส่วนต่างๆ และศึกษาการผสมเข้ากัน (Miscibility) ลักษณะ สัณฐานวิทยาและสมบัติทางความร้อน พบว่า PLLA ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกับ PBSA แสดงให้เห็น T_g ที่ แยกออกจากกันและการหลอมเหลวที่มี T_m 2 ค่า จากการศึกษาการเกิดผลึกของพอลิเมอร์พบว่าเมื่อ PBSA กระจายตัวเป็นหยดในเมทริกซ์ของ PLA จะแสดงการตกผลึกลำดับส่วนเห็นได้จาก Multiple Crystallization Peaks ที่อุณหภูมิการเย็นตัวต่างๆ และศึกษาการตกผลึกและลักษณะสัณฐานวิทยาของ พอลิเมอร์ผสมผ่าน Two-Step Isothermal Crystallization พบว่าเมื่อ PLLA เป็นเมทริกซ์ ปริมาณของ PBSA ที่แตกต่างกันไม่ทำให้กลไกและอัตราเร็วของการตกผลึกแตกต่างกัน สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มี PBSA เป็นเมทริกซ์ อัตราเร็วของการตกผลึกของ PBSA ลดลงเมื่อปริมาณของ PLLA เพิ่มขึ้นในขณะที่ กลไกของการตกผลึกไม่เปลี่ยนแปลง

ปี 2009 Y. Azuma และคณะ [7] รายงานการศึกษาการเปรียบเทียบพฤติกรรมการย่อยสลาย ระหว่าง PP และ PP/Talc คอมโพสิต โดยการทดสอบสภาวะภูมิอากาศแบบเปิด (Outdoor Weathering Test) และการเร่งสภาวะด้วยแสงไฟ Xenon, Metal Halide และ Carbon Arc Lamps พบว่าสภาวะ ภูมิอากาศแบบเปิดแสดงผลการย่อยสลายอย่างมากภายใต้สภาวะที่มีรังสี UV น้อย อัตราการย่อยสลาย ขึ้นอยู่กับแสงสีขาว (Visible Light) พบว่าคอมโพสิตที่มีการเติมท์ลัมเร่งการย่อยสลายไปพร้อมกับ การใช้หลอดไฟ Xenon และ Metal Halide ที่มีความเข้มของ Visible Light สูง นอกจากนี้พบว่า การย่อยสลายของ PP และ PP/Talc คอมโพสิตถูกเร่งภายใต้แสงอาทิตย์และฝนกรด

ปี 2010 Sanjeev Singh และคณะ [8] ศึกษาการเตรียม Hybrid Composites ระหว่าง PHBV กับ ท์ลัมและเส้นใยจากไม้โดยใช้เทคนิค Extrusion-Injection Molding พบว่าการเติมท์ลัมและเส้น ใยจากไม้ที่ปริมาณ 20 wt% เพิ่มค่า Young's และ Flexural Modulus ถึง 200 % จากผลการทดสอบ

ด้วย DMA อธิบายได้ว่าความเป็นกรดของทัลคัมส่งผลต่อแรงกระทำระหว่างผิวหน้าของทัลคัมและ PHBV สูงกว่าแรงกระทำระหว่างผิวหน้าของเส้นใยจากไม้และ PHBV จากผลการวิเคราะห์ด้วย DSC พบว่าการเติมทัลคัมและเส้นใยจากไม้ไม่เพิ่มปริมาณความเป็นผลึกของ PHBV ในคอมโพสิต การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคด้วย SEM ยืนยันการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวหน้าของทัลคัมและ PHBV ที่มากกว่าเส้นใยจากไม้

ปี 2010 Srikanth Pilla และคณะ [9] ศึกษาการย่อยสลายของโพลี PLA/PBAT ที่ใช้ CO_2 เป็น Blowing Agent ทั้งระบบที่เติมและไม่เติมตัวเชื่อมประสาน (Compatibilizer) ทำการศึกษาความเข้ากันได้ด้วย DSC และผลของทัลคัม และอุณหภูมิของคายน์ โดยพิจารณาจากลักษณะสัญญาณวิทยาของเซลล์ ปริมาตรการขยายตัว และความเป็นผลึก ผลการทดลองพบว่าการเติมทัลคัมทำให้ขนาดของเซลล์และปริมาตรการขยายตัวลดลง และความหนาแน่นของเซลล์เพิ่มขึ้น และดีกรีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นด้วย แต่ไม่ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวเปลี่ยนแปลง การรวมตัวเข้ากันจะทำให้ขนาดของเซลล์โดยเฉลี่ยและอัตราส่วนการขยายตัวลดลง และเพิ่มความหนาแน่นของเซลล์ แต่ไม่มีผลกระทบต่อความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ ซึ่งโดยปกติขนาดของเซลล์จะคงที่ภายใต้ช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ยกเว้นสำหรับ PLA และ พอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT ที่ไม่เติมทัลคัมและไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งขนาดของเซลล์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าความหนาแน่นของเซลล์ไม่ว่องไวต่ออุณหภูมิของหัวคายน์ ยกเว้นสำหรับ Ecovio และ Ecovio/Talc ซึ่งความหนาแน่นของเซลล์สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการขยายตัวในทุกตัวอย่างในช่วงอุณหภูมียกเว้น PLA และ พอลิเมอร์ผสม PLA/PBAT ซึ่ง PLA/PBAT ที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแสดงกราฟรูปร่างในขณะที่ยกเว้นการขยายตัวของ PLA ลดลงตามอุณหภูมิที่ลดลง ปริมาณของเซลล์เปิด (Open Cell Content, OCC) ของ PLA, PLA-talc และ Non-Compatibilized PLA/PBAT ลดลงตามอุณหภูมิที่ลดลง แต่ใน Ecovio ที่ไม่เติมและเติมทัลคัม เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อความเป็นผลึกและโครงสร้างของพอลิเมอร์

2.2 พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [10]

เนื่องจากอนาคตอันใกล้ มีการคาดการณ์ว่าปิโตรเลียมมีแนวโน้มจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดและมีราคาสูง ดังนั้นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ที่สามารถย่อยสลายได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเลียม อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัด โดยพลาสติกย่อยสลายได้นั้นผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ ในธรรมชาติ (Renewable Resource) ซึ่งใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้นจะมีคุณสมบัติในการใช้งานได้เทียบเท่า พลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ได้

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพลาสติกที่ผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตจากการใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) จะได้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ หรือที่รู้จักคือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งมีสมบัติพิเศษที่สามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อนำไปฝังกลบในดินหลังจากเลิกใช้งาน การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติกชีวภาพ (Bio Plastics) จึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อมสีเขียว

2.2.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

สามารถแยกประเภทตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ

1. พอลิเมอร์ที่แยกได้โดยตรงจากพืชและสัตว์

ก. พอลิแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคติน

ข. โปรตีน เช่น เจลาติน เคซีน กลูเทน ไหม และขนสัตว์

ค. น้ำมันจากพืชและสัตว์ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทอร์โมเซตเรซิน เพื่อนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติในการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และมีราคาถูก

2. พอลิเอสเทอร์ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือพืชที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ เช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalcanoates, PHAs)

3. พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ที่ผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ เช่น พอลิแลคติกแอซิด

2) มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

1. แอลิฟาติก พอลิเอสเทอร์ (Aliphatic Polyester) เช่น พอลิไกลโกลิกแอซิด (Polyglycolic acid, PGA) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และพอลิคาโพรแลกโตน (Polycaprolactone, PCL)

2. แอโรแมติก พอลิเอสเทอร์ (Aromatic Polyester) เช่น พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเทเรฟทาเรท (Polybutylene succinate terephthalate, PBST) หรือ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตอะดิเพต (Polybutylene succinate adipate, PBSA)

3. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohols, PVOH)

4. พอลิโอเลฟินที่ผ่านการเติมแต่งทางเคมี (Modified Polyolefin) เช่น การเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่ออนุมูลหรือแสงลงในพอลิโอเลฟิน เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) หรือ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เพื่อเร่งอัตราการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) หรือย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) ก่อนเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในขั้นตอนสุดท้าย

2.2.2 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [11]

สามารถแบ่งจากกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)

การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสถานะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2) การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation)

โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing Additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็ว

ขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอโนไครยด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic Hydrolysis) และไม่ใช่คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal Catalytic Degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-Enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ เบสและกรดที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์คู่ความร้อน (Endo-Enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบและแบบเอนไซม์คายความร้อน (Exo-Enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และชีวมวล (Biomass)

2.2.3 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [11]

1) การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวหนังเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2) สารเคลือบกระดาษหรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแสมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3) फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังจากเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4) ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping Bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

5) ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food Waste Film and Bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสต์ กำลังได้รับความนิยมใน

ต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะอาดไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก

6) บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer Packaging Materials)

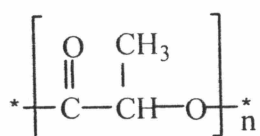
ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

7) โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose Fill)

โฟมเม็ดกันกระแทกโดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดี คือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

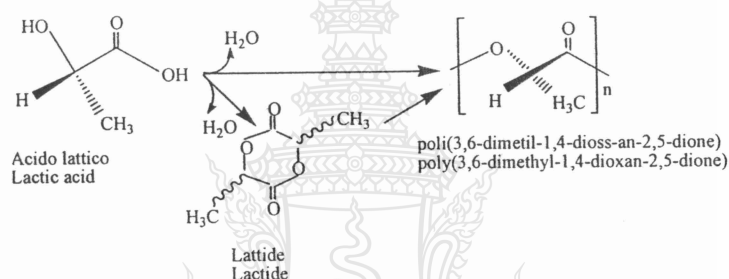
2.3 พอลิแลคติกแอซิด Poly(lactic acid) [12]

พอลิแลคติกแอซิด เป็นพอลิเอสเทอร์แบบกิ่งผลึกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติเชิงกลสูงเทียบเท่าพลาสติกทางการค้า เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นๆ พอลิแลคติกแอซิดผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยใช้กรดแลคติก (lactic acid) เป็นมอนอเมอร์ กรดแลคติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักผลผลิตทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด ข้าวสาลี และหัวบีท โดยใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก แล้วนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์เป็นพอลิแลคติกแอซิดแสดงดังโครงสร้างในภาพที่ 2.1 ซึ่งมีกรรมวิธี เช่น การสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการควบแน่นได้พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้



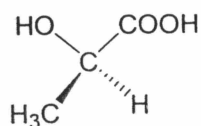
ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของพอลิแลคติกแอซิด

กระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันคือ กระบวนการสังเคราะห์แบบเปิดวงแหวนแลคไทด์ (Lactide) แสดงดังโครงสร้างในภาพที่ 2.2 โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาได้พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100,000 และมีสมบัติที่ดี สามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้

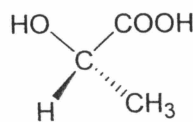


ภาพที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์ PLA แบบเปิดวงแหวนแลคไทด์

เนื่องจากอะตอมของคาร์บอนบน โมเลกุลของแลคติกแอซิดมีสมบัติไครัล (Chiral) แลคติกแอซิดจึงมีการจัดโมเลกุล 2 แบบ คือ L-lactic acid และ D-lactic acid เมื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด ทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ (1) Poly(L-lactic acid), PLLA (2) Poly(D-lactic acid), PDLA และ (3) Poly(LD-lactic acid), PLDLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์แบบ L แบบ D และแบบผสมตามลำดับ แสดงดังโครงสร้างในภาพที่ 2.3 พอลิเมอร์สองแบบแรกนี้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพเหมือนกันคือ เป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก มีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 37 % มีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว 50 – 80 °C มีจุดหลอมเหลวผลึก 173 – 278 °C ในขณะที่พอลิแลคติกแอซิดที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ผสมมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน โดยอัตราส่วนระหว่าง L/D ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย กรณีที่อัตราส่วน L:D เท่ากับ 1 พอลิเมอร์จึงมีสมบัติเชิงกลต่ำและเมื่อ L:D เพิ่มขึ้น ความเป็นผลึกและจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย



D-(-)-Lactic acid



L-(+)-Lactic acid

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของแลคติกแอซิด [13]

2.3.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด

PLA มีลักษณะใส มีความแวววาวสูงและใส ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับสารเติมแต่งด้วย PLA มีสมบัติเชิงกล และสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก PLA สามารถกักกันกลิ่น และรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมัน และไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี มีความคงทนต่อการกระแทกต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PVC ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งและความแข็ง ความทนทานต่อแรงกระแทก และความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ PET นอกจากนี้ PLA ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับ PS และสามารถนำไปดัดแปลงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ PE หรือ PP ดังนั้น PLA จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติก โอลิฟินส์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป [14]

Physical Properties	Ingeo Resin	ASTM Method
Specific Gravity	1.24	D792
MFR, g/10 min (210°C, 2.16kg)	22	D1238
Clarity	Transparent	
Mechanical Properties	Ingeo Resin	ASTM Method
Tensile Yield Strength, psi (MPa)	9,000 (62)	D638
Tensile Elongation, %	3.5	D638
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16.0)	D256

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิแลกติกแอซิด สำหรับกระบวนการขึ้นรูป (ต่อ) [14]

Mechanical Properties	Ingeo Resin	ASTM Method
Flexural Strength (MPa)	15,700 (108)	D790
Flexural Modulus (MPa)	515,000 (3600)	D790
Heat Distortion Temperature (°C)	55	E2092

2.3.2 การใช้งานพอลิแลกติกแอซิด [12]

PLA เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติทางความร้อนและเชิงกลสูงกว่า PHB และ PCL โดยมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ง่ายโดยกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดเป็นแผ่น การเป่าเป็นฟิล์ม การเทอร์โมฟอร์ม และการขึ้นหลอมเส้นใย PLA มีศักยภาพในการนำมาใช้งานด้านเส้นใย สิ่งทอ และผ้าชนิดไม่ถักไม่ทอ (Non-Woven) มีสมบัติจับจีบและคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันด้วยความร้อน มีความทนทานต่อแสงยูวี ทำให้สีของเส้นใยซีดจาง มีสมบัติติดไฟ และการเกิดควันต่ำ เหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้าและงานตกแต่ง ผ้าคลุมพื้น ผ้าใบ นอกจากนี้ PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆหลายด้าน ได้แก่

- 1) ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ (Bioimpatible) และสามารถถูกดูดซึม (Bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (Biological System) ในร่างกาย จึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures) ตะปูเย็บแผล (Staples) วัสดุปิดแผล (Wound Dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical Implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic Fixation Devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตามช่วงเวลาที่กำหนด
- 3) ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ถุงพลาสติก กล่องโฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ
- 4) ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ Non-Woven เช่น ผลิตภัณฑ์อานามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน

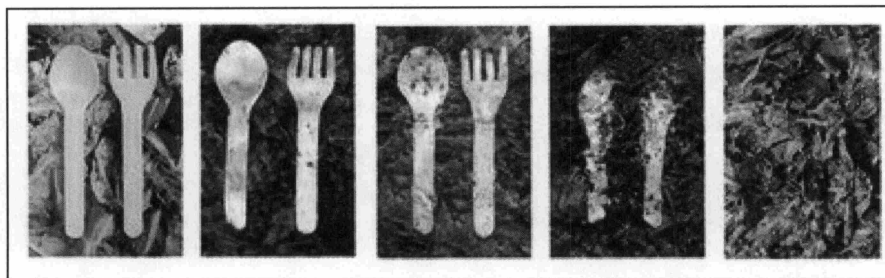
5) ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers) แผ่นรองพื้น (Floor Mats) และ อุปกรณ์ตกแต่งภายใน



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ผลิตขึ้น [10]

2.3.3 การย่อยสลายของพอลิแลกติกแอซิด [12]

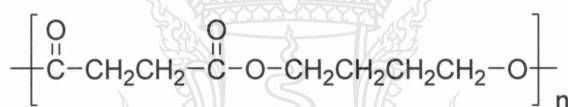
พอลิแลกติกแอซิดย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะคอมโพสท์ที่อุณหภูมิ 60 °C มีการย่อยสลายแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกตัดสั้นลงจนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในขั้นตอนนี้พลาสติกจะมีสมบัติที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจะถูกย่อยสลายต่อโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ได้ง่าย เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพ แต่พอลิแลกติกแอซิดย่อยสลายได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C เนื่องจากมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 60 °C ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดในการกำจัดพอลิแลกติกแอซิด ภายหลังจากใช้งานคือ ส่งไปยังโรงคอมโพสท์ หรือ โรงหมักปุ๋ยอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนพร้อมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ ไม่ควรส่งไปกำจัดโดยการฝังกลบ ดังนั้นควรส่งเสริมให้มีการลงทุนสร้างโรงคอมโพสท์และมีระบบการคัดแยกขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพจะช่วยลดปริมาณขยะบรรจุภัณฑ์ ขยะอินทรีย์ และของเสียจากภาคการเกษตรที่จะต้องส่งไปกำจัดโดยการฝังกลบได้อีกทางหนึ่ง



ภาพที่ 2.5 ลักษณะการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิดที่เกิดขึ้น [13]

2.4 พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) [12]

PBS โดยทั่วไปแล้วจัดอยู่ในกลุ่ม Aliphatic Copolyesters ซึ่งเป็น Biodegradable Copolymers ที่สังเคราะห์จากปิโตรเลียม ซึ่งเตรียมได้จาก 1, 2 - Ethanediol หรือ 1, 3 - Propanediol หรือ 1, 4 - Butanediol และ ไดคาร์บอกซิลิกแอซิด อะดิพิกแอซิด เซบาซิกแอซิด หรือซัคซินิกแอซิด มีโครงสร้างทางเคมี ดังภาพที่ 2.6 และทางการค้ามีชื่อว่า Bionolle แสดงสมบัติดังตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ PBS

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต สำหรับกระบวนการฉีด [15]

Items	Units	PBS
Grade	1020MD	Injection Molding
Density	g/l	1260
Heat of Combustion	KJ/g	23.6
H.D.T. (at 0.45 MPa)	°C	97
Degree of Crystallinity	%	35-45
Melting point (T _m)	°C	114-115
Glass Transition Temperature	°C	-32

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สำหรับกระบวนการฉีด (ต่อ) [15]

Items	Units	PBS
MFR (190 °C, 2.16kg)	g/10 min	25
Crystallization Temp.	°C	76
Flexural Modulus	MPa	640
Tensile Yield Strength	MPa	21
Tensile Elongation	%	320

2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [16]

การทำพอลิเมอร์ผสม เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous Matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์และส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระ เกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy Factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือพลังงานที่ใช้ในการผสมผสาน โมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

2.5.1 กลไกสภาพเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะสมบัติทางกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและความเข้มข้น (Stress Concentration) จากดิสเพอร์ส (Disperse) ในเมทริกซ์ (Matrix) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสม หรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (In-Situ Chemical Reaction) เพื่อปรับปรุงแรง

ดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างฐานวิทยาศาสตร์และสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2.5.2 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization) เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้นการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญเทคนิคเหล่านี้คือ

1) การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymers) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์ (Block Copolymers) จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ (Graft Copolymers) โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกันโดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมจากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม (Compatibilizer)

2) การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Functional/Reactive Polymers)

การเติมพอลิเมอร์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (Functional Group) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) บ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปลงให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาโดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไอออนิก (Ionic Bond) กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้กระบวนการดัดแปลงพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน สามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอเลฟินส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic Group) ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโน (Amino Group) ของพอลิเอไมด์ (Polyamide) ได้ ทั้งนี้พอลิโอเลฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyolefin Graft Maleic Anhydride) จัดเป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

3) การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชันในระหว่างการผสม (In-Situ Grafting Polymerization) การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอไรเซชันในระหว่างการผสมหรือ Reactive Blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่าง

จากวิธีอื่นๆ คือองค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาตัดแปลงเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับ พอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) กับพอลิเอสเตอร์ (Polyester) แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ Reactive Blending ได้แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง เช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-Screw Extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twins-Screw Extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกันเพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิและสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่ากลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสมอาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ (Graft or Block Copolymers) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ในระหว่างการผสม
2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (Interchange Reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ ชนิดควบแน่น
3. เกิดการขาดและรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุลเพื่อสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูงส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

2.6 สารเติมแต่งในพลาสติก (Additives for Polymer) [17]

พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ยังขาดความคงทนต่อการใช้งาน เนื่องจากสมบัติที่ยังไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ไม่เหมาะสมกับการผลิตหรือขึ้นรูป รวมทั้งอาจเกิดการย่อยสลายด้วยพลังงานทางกลและปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งลงไปในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์เหมาะสมและคงทนต่อการใช้งานมากขึ้น การเติมสารเติมแต่งมีวัตถุประสงค์หลักคือ ช่วยในกระบวนการผลิตหรือการขึ้นรูป (Processing Aid) ช่วยให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้น และช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์

ทั้งนี้พอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งเมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูปจะพบกับปัญหาการเสื่อมสภาพ การเกิดสี และชิ้นงานพลาสติกติดกับแม่พิมพ์ ซึ่งสารเติมแต่งจะช่วยลดปัญหาดังกล่าว

พอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งผสมอยู่เรียกว่าคอมพาวด์ (Compound) กรรมวิธีในการผสมสารเติมแต่งเข้ากับพอลิเมอร์ เรียกว่า คอมพาวด์ดิ้ง (Compounding) สารเติมแต่งจำแนกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) ฟิลเลอร์ (Fillers)
- 2) สารแต่งสี (Colourants)
- 3) พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)
- 4) สารหน่วงการติดไฟ (Flame Retarders)
- 5) สารหล่อลื่น (Lubricants)
- 6) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-Ageing Additives)

สารเติมแต่งที่ดีจะต้องมีสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสม ได้แก่

- 1) มีเสถียรภาพที่ดีภายใต้สภาวะของการขึ้นรูป ภายใต้สภาวะของการใช้งาน
- 2) ไม่เคลื่อนตัวหรือแพร่ออกจากชิ้นงานพลาสติกไปเจือปนกับวัสดุข้างเคียงได้ง่าย (Bleeding) หรือแยกตัวออกมาสะสมบนผิวของพลาสติก (Blooming)
- 3) ไม่เป็นพิษ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรส

ฟิลเลอร์

ฟิลเลอร์เป็นสารเติมแต่งที่มีลักษณะแข็ง มีองค์ประกอบและโครงสร้างที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทอนินทรีย์ แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ฟิลเลอร์เฉื่อย (Inert Filler) หรือเอ็กซ์เทนเดอร์ (Extender) เป็นฟิลเลอร์ที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณและลดต้นทุนการผลิต

2) ฟิลเลอร์ชนิดเสริมแรง (Reinforcing Filler) ช่วยให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีขึ้น เช่น ค่าการทนทานต่อแรงดึงยึดดีขึ้น หรือค่ามอดูลัสของการโค้งงอดีขึ้น

เมื่อผสมลงในเนื้อพลาสติกจะเพิ่มค่ามอดูลัสของการยึดหยุ่นและความแข็งดึงให้กับพลาสติกไม่มากนัก้อย การเสริมแรงด้วยไฟเบอร์เท่านั้นจะช่วยเพิ่มค่าความทนทานการดึงยึด ฟิลเลอร์ที่รูปร่างทรงกลมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อพลาสติกที่อุณหภูมิสูงได้บ้าง แต่ฟิลเลอร์ชนิดแผ่นบางๆ เช่น ทัลค์ (Talc) หรือ ไมกา จะช่วยเพิ่มสมบัติดังกล่าวได้อย่างเด่นชัด

ทัลค์ในพลาสติก (Talc in Plastics) [18]

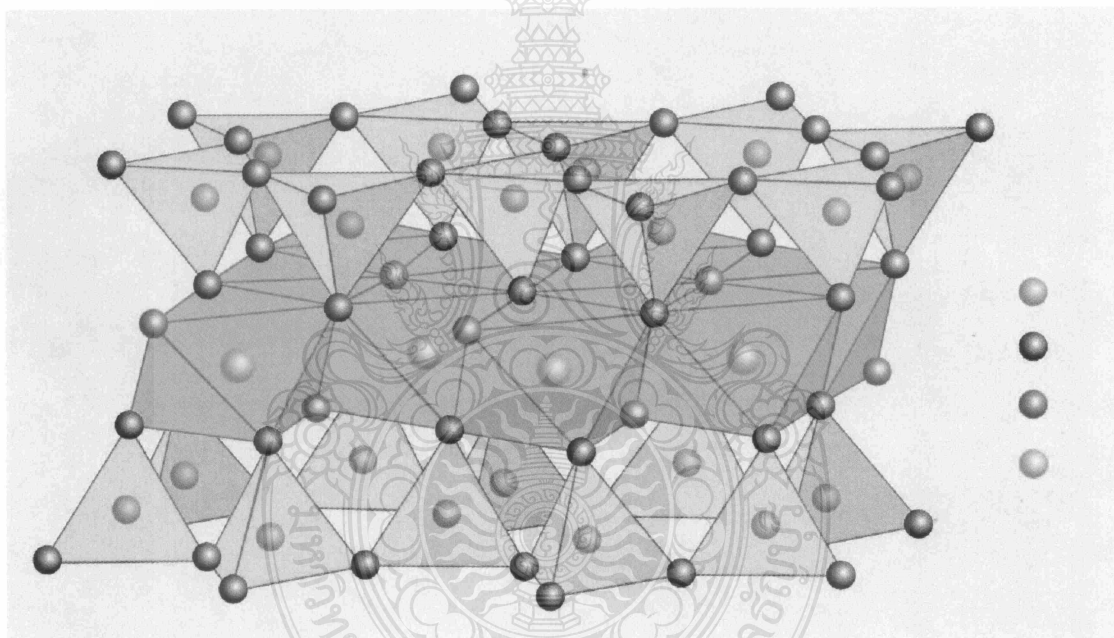
ทัลค์ (Talc) หรือ ทัลคัม (Talcum) เป็นแร่ธรรมชาติในตระกูล Silicates และ Germinates ทัลค์บริสุทธิ์เป็นสารออร์แกนอฟิลิก (Organophilic) ที่ไม่ชอบน้ำและเฉื่อยต่อสารเคมี เป็นแร่ที่มีความนิ่มที่สุดที่มีค่า Mohs Hardness เท่ากับ 1 ดังภาพที่ 2.7 โครงสร้างของทัลค์ประกอบด้วย Hydrated Magnesium Sheet Silicate ที่มีสูตรโครงสร้าง $Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2$



ภาพที่ 2.7 Talc

ทัลค์ประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) ดัง

ภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของทัลค์

โครงสร้างผลึกของทัลค์ยึดเหนี่ยวด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังนั้นพันธะในทัลค์จึงแตกง่าย ส่งผลให้เมื่อสัมผัสรู้สึกอ่อนนุ่มและลื่นคล้ายสบู่

ความหมายของ “Talc” ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ประกอบด้วยสิ่งเจือปนประเภท Magnesite (Magnesium Carbonate), Calcite, Quartz and Chlorite (A Mix of Mg-, Al-, and Fe-

Silicate / $Mg(OH)_2$) ในการประยุกต์ใช้งานของทัลค์ในอุตสาหกรรม ทัลค์บริสุทธิ์ที่มีโครงสร้าง Lamellar ถูกใช้งานในอุตสาหกรรมพลาสติก

ทัลค์ถูกประยุกต์ใช้งานเป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมกระดาษ สี พลาสติก ยาง เซรามิกส์ อาหารสัตว์ เครื่องสำอาง ยา และอื่นๆ ในอุตสาหกรรมพลาสติกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เทอร์โมพลาสติกโดยเฉพาะ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน และพอลิเอไมด์ ที่ประยุกต์ใช้งานชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน และพลาสติกวิศวกรรม

การเติมทัลค์ในพลาสติกจะช่วยเพิ่มสมบัติความแข็ง (Stiffness, E-Modulus), การนำความร้อน (Thermal Conductivity) การเกิดผลึก (Nucleation) การทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) อุณหภูมิอ่อนตัว (Deflection Temperature) การทนทานต่อความล้า (Creep Resistance) สมบัติการกั้นขวาง (Barrier Properties) และ การทนต่อสารเคมี (Chemical Resistance)

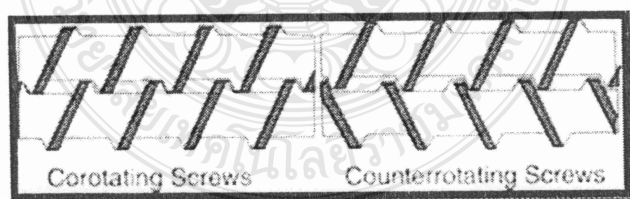
2.7 เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) [19]

เครื่องอัดรีดสกรูคู่ เป็นเครื่องมือที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในแง่การผลิต การผสมและการควบคุมความร้อนแก่วัตถุดิบที่ผ่านเครื่องอัดรีดได้มากกว่าการใช้เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

เครื่องอัดรีดสกรูคู่ หมายถึง เครื่องอัดรีดใดๆ ที่มีสองสกรูอยู่ในกระบอกความร้อนอันเดียวกัน เครื่องอัดรีดสกรูคู่นี้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

- แบบเกลียวสกรูหมุนตามกัน (Co-Rotating Screw)
- แบบเกลียวสกรูหมุนสวนกัน (Counter Rotating Screw)

เครื่องอัดรีดทั้งสองแบบนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ลักษณะคือ สกรูที่มีลักษณะเกลียวสอดเข้าหากัน (Intermeshing) และสกรูที่มีลักษณะเกลียวไม่สอดเข้าหากัน (Non-Intermeshing)



ภาพที่ 2.9 แบบเกลียวสกรูภายในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ [19]

2.7.1 เครื่องอัดรีดแบบหมุนตามกัน

เครื่องอัดรีดแบบหมุนตามกัน คือ เครื่องอัดรีดที่มีการหมุนของสกรูไปในทิศทางเดียวกัน โดยอาจจะเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 เครื่องอัดรีดแบบนี้จะไม่มีการสะสมของวัสดุคิบที่รอบๆ สกรูและจะมีความดันภายในเท่ากันตลอดทั้งเกลียวสกรู โดยเครื่องอัดรีดแบบนี้จะไม่มีแรงอัดไปกระทำกับวัสดุคิบในสกรูมากนัก ซึ่งผลที่ได้อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่สูงเกินไปเนื่องจากไม่มีแรงดันที่จะดันวัสดุคิบให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่จะทำให้วัสดุคิบเกิดการหลอมเหลวและหมุนวนอยู่ภายในร่องเกลียวสกรู และเกิดการเสียดสีกับกระบอกให้ความร้อนตลอดเวลา ดังนั้นความเร็วของการหมุนของสกรูจึงมีผลไม่มากนักต่ออัตราการผลิตจะขึ้นอยู่กับอัตราการเติมวัสดุคิบลงไปเครื่องอัดรีด

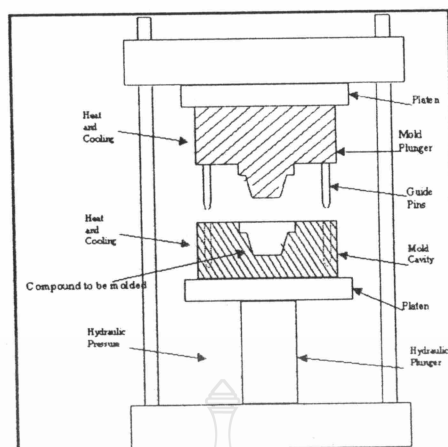
2.7.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูหมุนสวนกัน

เครื่องอัดรีดแบบสกรูหมุนสวนกัน คือ เครื่องอัดรีดที่มีการหมุนของสกรูในทิศทางตรงกันข้าม เครื่องอัดรีดแบบนี้จะเกิดแรงบีบอัดแก่วัสดุคิบสูงมากกว่าในเครื่องอัดรีดที่มีการหมุนตามกัน ปริมาณการผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนของสกรู ดังนั้นเครื่องอัดรีดแบบนี้จึงเหมาะสมกับวัสดุคิบที่มีความว่องไวต่อความร้อน เนื่องจากวัสดุคิบจะมีการเคลื่อนที่ผ่านออกไปยังปลายสกรูอย่างรวดเร็วโดยมีแรงเฉือน (Shearing Action) ต่ำกว่าในเครื่องอัดรีดแบบหมุนตามกัน

2.8 เทคนิคการอัด (Compression Molding) [19]

เทคนิคการอัด เป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์เทคนิคหนึ่ง แต่ยังคงมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคนี้ในการอัดเข้าพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซต (Thermoset) และยาง (Rubbers) นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคนี้ ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่ทำการแปรรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่มีการผสมไฟเบอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Fiber Glass) และเส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เป็นต้น นอกจากนี้การแปรรูปพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers) นิยมใช้การอัดในการแปรรูป

ในเทคนิคการอัดใช้เครื่องอัดที่ไม่มี ความซับซ้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือแผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการปิดและเปิดเข้าได้เนื่องจากเข้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อนระบบไฮดรอลิกและอาจเป็นอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องที่ใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัด แสดงดังภาพที่ 2.10 ซึ่งอุปกรณ์ประกอบชนิดต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) [19]

2.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.9.1 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238

การทดสอบค่าดัชนีการไหล คือ การหาปริมาณเป็นกรัมของพลาสติกหลอมเหลวที่ไหลผ่านหัวค้ายภายใต้ Specific Weight ซึ่งมีหน่วยเป็นอุณหภูมิที่กำหนดภายในเวลา 10 นาที ค่าที่ได้จากการทดสอบของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและน้ำหนักของพอลิเมอร์

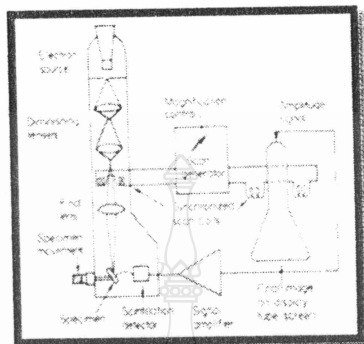
- ค่าดัชนีหลอมเหลวสูง = การไหลของพอลิเมอร์สูง = สายโซ่โมเลกุลสั้น = M_n ต่ำ
- ค่าดัชนีหลอมเหลวต่ำ = การไหลของพอลิเมอร์ต่ำ = สายโซ่โมเลกุลยาว = M_n สูง

เครื่องมือที่ใช้วัดจะประกอบด้วยโลหะแข็งทรงกระบอก มีอุปกรณ์ควบคุมและปรับอุณหภูมิได้ (โดยทั่วไปในช่วง $125\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) โดยกระบอกโลหะจะใช้บรรจุพอลิเมอร์ที่ต้องการทดสอบและส่วนล่างของกระบอกจะมี Capillary Die ติดอยู่ในการทดสอบจะวางแท่งลูกสูบกดอัดพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านหัวค้ายออกมา ซึ่งพอลิเมอร์ที่ออกมาจะถูกตัดเป็นช่วงๆ ตามเวลาที่ได้กำหนด โดยปกติการหาค่า MFI จะหาได้จากน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ไหลออกมาในเวลา 600 วินาที (10 นาที)

ค่า MFI ในบางกรณีใช้เพื่อเป็นตัวแยกชนิดของพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรืออาจใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบเบื้องต้นได้ นอกจากนี้แล้วค่า MFI นี้ยังเป็นค่าซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลของพลาสติกในเบื้องต้นว่าพลาสติกที่นำมาหลอมนั้นมีสมบัติทางด้าน Melt Strength เป็นอย่างไร แต่โดยปกติเมื่อให้แรงอัดพลาสติกออกมาเป็นเส้นแล้วไม่เกิดการขาด แสดงว่ามี Melt Strength ดี

2.9.2 การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา [20]

ทำการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบของเครื่อง SEM [20]

1) หลักการทำงานของเครื่อง SEM

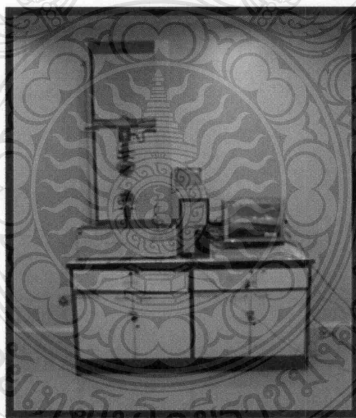
สิ่งสำคัญอันดับแรกของเครื่อง SEM คือลำอิเล็กตรอนต้องเป็นลำแสงที่มีพลังงานเดียว (ความยาวคลื่นเดียว) การออกแบบปืนยิงอิเล็กตรอนที่ใช้กับเครื่อง SEM เหมือนกับในเครื่อง TEM คือ มีขดลวดทั้งสแตนด์รูปร่างตัว “วี” เป็นแหล่งกำเนิดแสง ความละเอียดของเครื่องได้รับเมื่อลำแสงอิเล็กตรอนมีความแคบสูงสุด แหล่งกำเนิดแสงใช้แลนทานัมเฮกซะไบโรด์ (Lanthanum Hexaboride) สำหรับงานทางด้านพอลิเมอร์ ความละเอียดจะมีขีดจำกัด เนื่องจากความร้อนของลำอิเล็กตรอนอาจทำลายผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้รับหลังจากการทดสอบแรงดึง หรือแรงกระแทก นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นต้องเคลือบชิ้นงานพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่น คาร์บอน และทองคำ

ลำอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเหมือนในเครื่อง TEM โดยการยึดขดลวดติดกับศักย์ไฟฟ้าที่มีความเป็นลบสูง โดยทั่วไปค่าความเป็นลบอยู่ในช่วง 1-50 กิโลโวลต์ ชิ้นงานหรืออนุภาคถูกยึดไว้กับศักย์ไฟฟ้าที่เป็นศูนย์ลำอิเล็กตรอนผ่านรูอนุภาค และถูกโฟกัสลงบนชิ้นงานโดยใช้เลนส์หรือระบบเลนส์ตรงเท่าที่ลำอิเล็กตรอนตกกระทบบนผิวของชิ้นงาน ปฏิสัมพันธ์ที่อธิบายไว้ข้างต้นจะเกิดขึ้น เครื่องรับสัญญาณต่างๆถูกจัดเรียงในห้องตัวอย่าง (Specimen Chamber) สำหรับการวัดสัญญาณแต่ละชนิดซึ่งแสดงคุณลักษณะเฉพาะตัวของบริเวณที่ชิ้นงานอยู่ภายใต้การบอมบาร์ด (Bombardment) ลำอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่เหนือชิ้นงานโดยใช้สนามแม่เหล็ก ค่าต่างๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าของขดลวดกวาดสัญญาณ “Scan Coils” ดังภาพที่ 2.11 เมื่อลำอิเล็กตรอน เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่คุณลักษณะของสัญญาณที่ถูกวัดโดยเครื่องรับสัญญาณต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป และ

แสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณที่ถูกวัดโดยเครื่องรับสัญญาณต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป และแสดงออกมาในรูปของความคมชัดของภาพ ในเครื่อง SEM ลำอิเล็กตรอนถูกผลิตและเคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าของชิ้นงานคล้ายหลักการทำงานของแสงในจอภาพโทรทัศน์เวลาไม่มีภาพ (TV Raster) ซึ่งแสดงสัญญาณออกมาเป็นเส้นในแนวนอน ทีละเส้นๆ ภายใต้คำสั่งของขดลวดควาตสัญญาณซึ่งถูกควบคุมคำสั่งโดย “เครื่องส่งกราดเจนเนอเรเตอร์” (Scan Generator) สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องตรวจรับแต่ละตัวเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องพร้อมๆ กับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะตัวของผิวซึ่งถูกตรวจสอบโดยอิเล็กตรอน สัญญาณซึ่งถูกปรับอย่างเหมาะสมถูกใช้เพื่อควบคุมความคมชัดของจุดบนหลอดคาโทด (Cathode Ray Tube; CRT) การส่งกราดสัญญาณด้วยคาโทดถูกควบคุมโดยเครื่องส่งกราดเจนเนอเรเตอร์ตัวเดิม ซึ่งควบคุมตำแหน่งของลำแสงใน SEM ดังนั้นความเกี่ยวข้องระหว่างชิ้นงานและรูปภาพจาก CRT เกิดขึ้น โดยทั้งสัญญาณจากเครื่องรับสัญญาณเพียงตัวเดียวจะถูกแสดงออกมา แต่ในบางเครื่องมืออาจมีการแสดงภาพจากเครื่องรับสัญญาณมากกว่าหนึ่งเครื่องพร้อมๆ กัน หรือผสมสัญญาณกันก็ได้

2.10 การทดสอบสมบัติทางกล [21]

2.10.1 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 638



ภาพที่ 2.12 ลักษณะเครื่อง Tensile Strength

การทดสอบการทนต่อแรงดึงเป็นการทดสอบที่ง่าย สะดวก และให้ผลการทดสอบที่แสดงค่าสมบัติทางกลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นการทดสอบแรงดึงจึงเป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันมากที่สุดประเภทหนึ่งในการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ การ

ทดสอบแรงดึงนั้นอาศัยหลักการง่ายๆ คือ การให้แรงดึงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานทดสอบในทิศตรงกันข้ามจนชิ้นงานนั้นเกิดการผิดรูปในช่วงพลาสติก (Plastic Deformation) และมีการแตกหักเกิดขึ้นในที่สุด การวัดความสามารถในการรับแรงของวัสดุด้วยการใช้แรงดึง และหาระยะที่ยืดออกไปก่อนที่วัสดุจะแตกหัก Tensile Modulus จะมีความสัมพันธ์กับ Stiffness โดยอธิบายได้จากภาพความเค้นส่วนความเครียด

Tensile Strength เป็นการทดสอบความต้านทานแรงดึง โดยให้แรงดึงกับชิ้นงานทดสอบที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ค่าหนึ่ง Tensile Strength คือ อัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้กับพื้นที่หน้าตัด

Elongation เป็นการทดสอบหาความสามารถในการยืด โดยเป็นความยาวที่ยืดออกต่อความยาวเดิม
การวิเคราะห์ผล

ผลจากการวัดแรงดึงที่กระทำต่อชิ้นตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก เรียกว่าความเค้นสูงสุด (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$E =$ โมดูลัส (N/m^2)

$\Delta\sigma =$ ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

$\Delta\varepsilon =$ ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

โดยพื้นฐานสิ่งที่วัดได้จากการทดสอบแรงดึงมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่เกิดขึ้น จากข้อมูลดิบที่ได้สามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เป็นสมบัติเชิงกลของพลาสติก มีดังนี้

1) จีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional Limit)

จีดจำกัดความเป็นสัดส่วน หมายถึง ค่าความเค้นสูงสุดท้ายบนเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ ที่แสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นโดยทั่วไปแล้วสำหรับพลาสติกมักพบได้ในระดับความเครียดที่ต่ำมาก



2) มอดูลัส (Modulus)

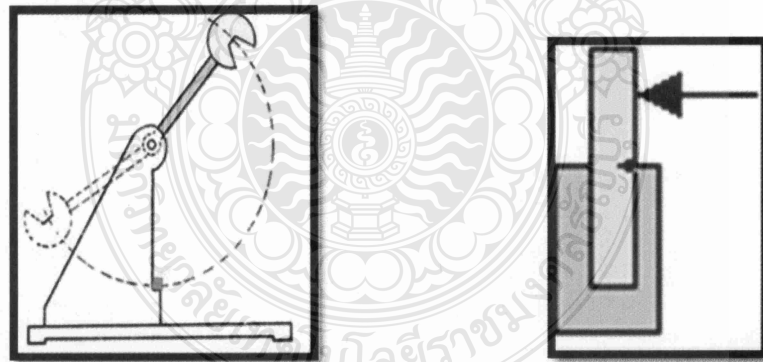
มอดูลัสของวัสดุเป็นค่าที่แสดงถึงสมบัติการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ

3) จุดคราก (Yield Point) จุดครากเป็นค่าประมาณของวัสดุเปลี่ยนรูปร่างแบบยืดหยุ่นไปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร โดยวัสดุที่แสดงจุดครากอย่างชัดเจนสามารถหาได้จากจุดที่มีค่าความชันเป็นศูนย์หรือจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเค้น แต่มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด เมื่อทราบจุดครากแล้วสามารถหาค่าความเค้นและค่าความเครียด ณ จุดคราก จากการลากเส้นตรงไปตัดแกนนอนและแกนตั้ง

4) ความต้านทานสูงสุด (Strength) ความต้านทานสูงสุด หรือความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นจุดครากหรือจุดที่เกิดการแตกหักก็ได้ สามารถหาได้จากค่าความเค้น ณ จุดสูงสุดของกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะสมบัติเชิงกลของพลาสติกนั้น

5) ความเค้นและความเครียด ณ จุดแตกหัก (Stress and Strain at Break) ความเค้นและความเครียด ณ จุดแตกหัก ในบริเวณของจุดที่ชิ้นงานเกิดการแตกหักเสียหายในการทดสอบ ในบางกรณีถือว่าเป็นค่ากำลังวัสดุหรือความต้านทานแรงสูงสุดของวัสดุ

2.10.2 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D256 [20]



(ก) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี

(ข) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบ Izod

ภาพที่ 2.13 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทก

1) หลักการ

เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกขึ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 แสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านทานแรงกระแทก จากการตีด้วยค้อน ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ทั้งหมดที่จำเป็นเพื่อให้วัสดุเริ่มเกิดการแตกหัก (Initiate Fracture) และดำเนินต่อไปจนกระทั่งวัสดุขาดออกจากกัน การทดสอบนี้สามารถทำได้อย่างรวดเร็วเป็นการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุที่ง่ายสำหรับเปรียบเทียบความเหนียวของวัสดุ ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบนั้น จะทำการบากชิ้นงานก่อนการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากรอยบากบนชิ้นงานจะทำหน้าที่เป็นจุดที่แรงกระทำมาสะสมกัน (Stress Concentration) ทำให้การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นงานเกิดขึ้นได้ยาก เพราะการแตกขาดของชิ้นงานจะเกิดที่บริเวณรอยบากเท่านั้น ตามปกติค่าการทนต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยของพลังงานต่อความกว้างของชิ้นงาน เนื่องจากค่าการทนต่อแรงกระแทกขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานเช่นกัน ในการเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานจากวัสดุที่ต่างกัน นิยมรายงานในหน่วยของจุดต่อตารางเมตร

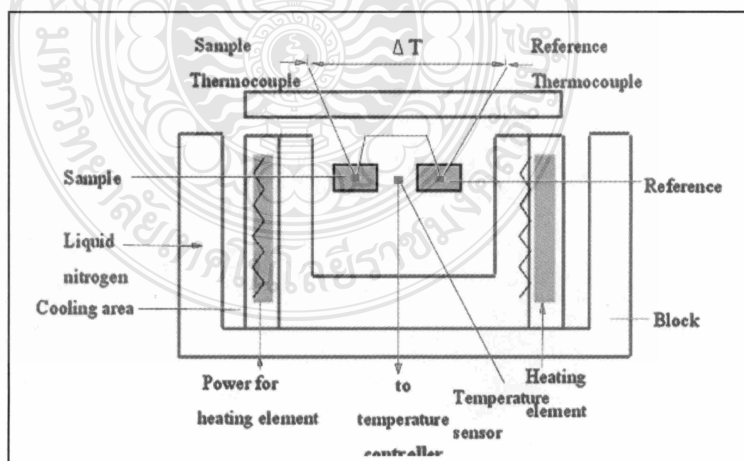
2) วิธีการทดสอบ

1. เปิดสวิตซ์เครื่องแล้วทดสอบแรงเสียดทานของค้อนน้ำหนักที่ต้องการใช้ โดยการยกค้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้น วางในตำแหน่งแขวนค้อนน้ำหนัก
2. กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน ปลดปล่อยค้อนน้ำหนักลงมาอย่างอิสระโดยไม่มีชิ้นงาน อ่านค่าพลังงานที่ได้ เพื่อนำไปลบออกจากค่าพลังงานที่อ่านได้จากการทดลองเมื่อมีชิ้นงาน
3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบนั้น จะทำการบากชิ้นงานก่อนการทดสอบ
4. วางชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปหรือตัดจากแผ่นพลาสติกที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 3.17-12.7 มิลลิเมตร รอยบากนั้นจะต้องอยู่ในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน และมีขนาดของรัศมีปลายรอยบากให้เล็กใช้ขึ้นอยู่กับการทดสอบว่าต้องการใช้รอยบากที่คม (0.25 มิลลิเมตร) หรือที่อ (1.0 มิลลิเมตร) โดยให้รอยบากตรงมุมแหลมของรอยอยู่ตรงตำแหน่งของตัวชิ้นงาน
5. กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆ กัน
6. อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก
7. นำค่าพลังงานไปคำนวณค่าของการทนต่อแรงกระแทก

2.11 การทดสอบสมบัติทางความร้อน [19]

ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) เครื่องมือ DSC ได้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยวิเคราะห์ อธิบาย การเปลี่ยนแปลงของขบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี การดูดหรือคายความร้อน โดยวัดปริมาณความร้อนที่แตกต่างกันของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุอ้างอิงที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีโปรแกรมให้เครื่องทำการวัดไปตามช่วงอุณหภูมิช่วงหนึ่ง เพื่อให้เราเห็นข้อมูลละเอียดจนเปรียบเทียบกันได้ นอกจากนี้ DSC ยังสามารถใช้วัดปริมาณความร้อน การแพร่กระจายความร้อน ความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างและอื่นๆ อีกมากมาย และยังแสดงผลเป็นแผนภาพ เฟส ให้ข้อมูลทางด้านจลศาสตร์ ซึ่งเป้าหมายของ DSC ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

1) หลักการทำงานคือ หลักความไม่สมดุลซึ่งพลังงานที่สารตัวอย่างดูดซับหรือปล่อยออกมาจะถูกชดเชยโดยการเพิ่มเข้าหรือหักออกให้เกิดความสมดุล โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากฮีตเตอร์จะให้พลังงานออกมาอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ เพื่อให้ภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง พลังงานที่วัดออกมาจะเป็นมิลลิวัตต์ สามารถวัดหาพื้นที่ใต้ภาพที่เรียกว่า "Heat Flux" ตัวอย่างรักษาอุณหภูมิจนกระทั่งถึงแหล่งอ้างอิง ให้สัญญาณไฟฟ้าออกมาเท่ากัน โดยแปรตามลักษณะพฤติกรรมทางความร้อนของ ขนาดของพื้นที่ใต้รูปจะขึ้นอยู่กับขนาดการคงที่ของอุณหภูมิในระบบการปฏิบัติงานที่ต่ำกว่า อุณหภูมิห้อง จะมีน้ำเย็นเป็นตัวลดอุณหภูมิ DSC จะทำงานได้ที่ช่วงอุณหภูมิ 25 °C ถึง 730 °C ถ้ามีน้ำล้อมรอบจะทำงานที่ประมาณ 50 °C ถึง 730 °C



ภาพที่ 2.14 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง DSC

2) การใช้ประโยชน์ DSC (ที่อุณหภูมิทำงาน $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $-725\text{ }^{\circ}\text{C}$) ใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับพอลิเมอร์ได้หลายเรื่อง ดังนี้

1. การหลอมละลาย (Melting Studies)
2. ความเป็นผลึก (Crystallinity Studies)
3. อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Studies)
4. การผสมเข้ากันได้ดี (Blend Analysis And Compatibility)
5. การศึกษาเสถียรภาพต่อการถูกออกซิไดซ์ (Oxidative Stability Studies)
6. การหาความบริสุทธิ์ (Purity Determination)
7. การหาความจุความร้อน (Specific Heat Studies)
8. การวัดค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity Measurements)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในโครงการวิจัยนี้ เพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาค้นหาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 รวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน

3.1.3 จัดหาวัตถุดิบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4 หาอัตราส่วนและปริมาณของสารเติมแต่งที่เหมาะสม โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่งที่ปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) ดังนี้

1) อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100

2) ปริมาณของทัลค์ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็น 5, 10 และ 20 wt%

3.1.5 เตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป

3.1.6 ทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่งที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่

1) สมบัติทางกายภาพ

1. การไหลของพอลิเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI)

2. สัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

2) สมบัติทางความร้อน

- การวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

3) สมบัติเชิงกล

1. การทดสอบการทนต่อแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal Testing Machined
2. การทดสอบการทนแรงกระแทก ด้วย Izod Impact Strength ยี่ห้อ HOUSE FIELD

3.16 รวบรวมผลทดสอบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.17 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 วัตถุดิบและเครื่องมือ

3.2.1 วัตถุดิบ

- 1) เม็ดพอลิแลคติกแอซิด (PLA) เกรด 3001D บริษัท Nature Work
- 2) เม็ดพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (PBS) เกรด 1020MD บริษัท Showa High Polymer Co, Ltd (Bionolle®) Ire Chemical (EnPol)
- 3) ทัลคัม เกรด Micro ACE series P-3 ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร จากบริษัท Nippon Talc CO., Ltd.

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

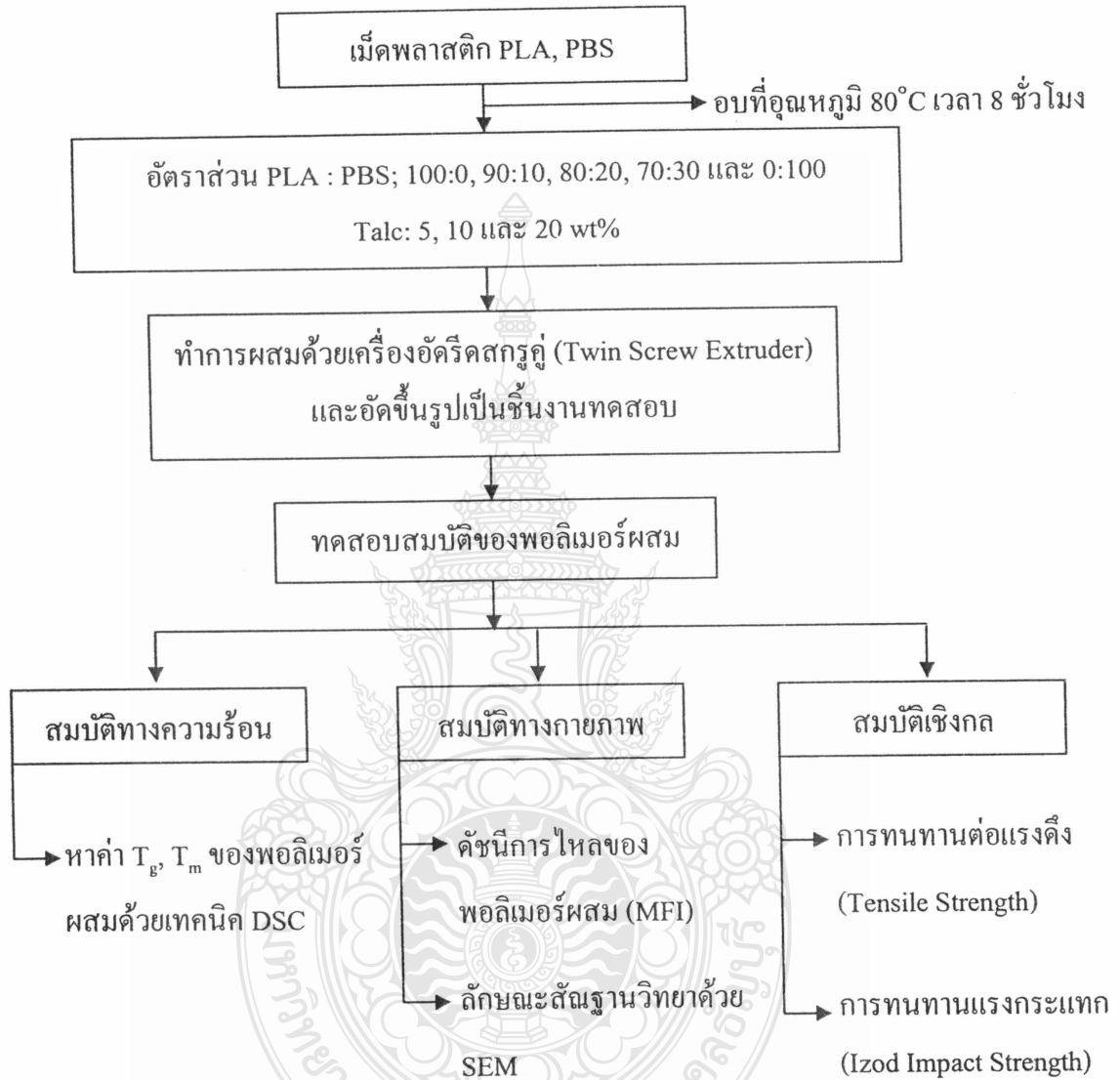
- 1) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) รุ่น CTE-D16L512
- 2) เครื่องตัดเม็ดพลาสติก ของ บริษัท SCIENTIFIC PROMOTION รุ่น FD115
- 3) ตู้อบเม็ดพลาสติก
- 4) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) บริษัท Lab Tech Engineering

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) เครื่องทดสอบทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ยี่ห้อ PERKIN ELMER รุ่น DSC 800 (ประเทศเยอรมนี)
- 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM-6510 (ประเทศญี่ปุ่น)
- 3) เครื่องทดสอบเครื่องวัดค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ยี่ห้อ Modula Flow Index รุ่น TELEX 220147 จากบริษัท CEAST (ประเทศอิตาลี)
- 4) เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyd Machine รุ่น T30K
- 5) เครื่องทดสอบการทนแรงกระแทก (Izod Impact Strength) ยี่ห้อ HOUSE FIELD

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ขั้นตอนของการทดลองเป็นดังนี้

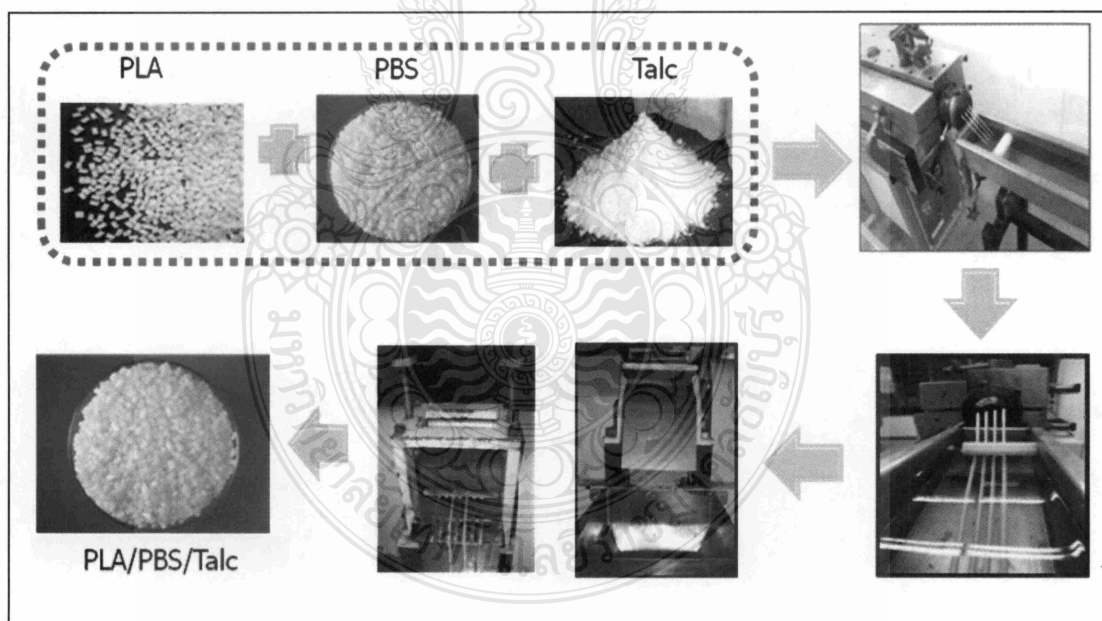
1) ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

1. ชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/ PBS ตามอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 และชั่งสารเติมแต่งที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt%

2. นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่งมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3. ทำการหลอมผสมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twins Screw-Extruder) ที่อุณหภูมิการผสมจาก Hopper ถึง หัว Die เป็น 150 – 180 °C ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบสกรู 80 รอบ/นาที

4. นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ผสมกันแล้วมาตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งขั้นตอนการเตรียมแสดงดังภาพที่ 3.2



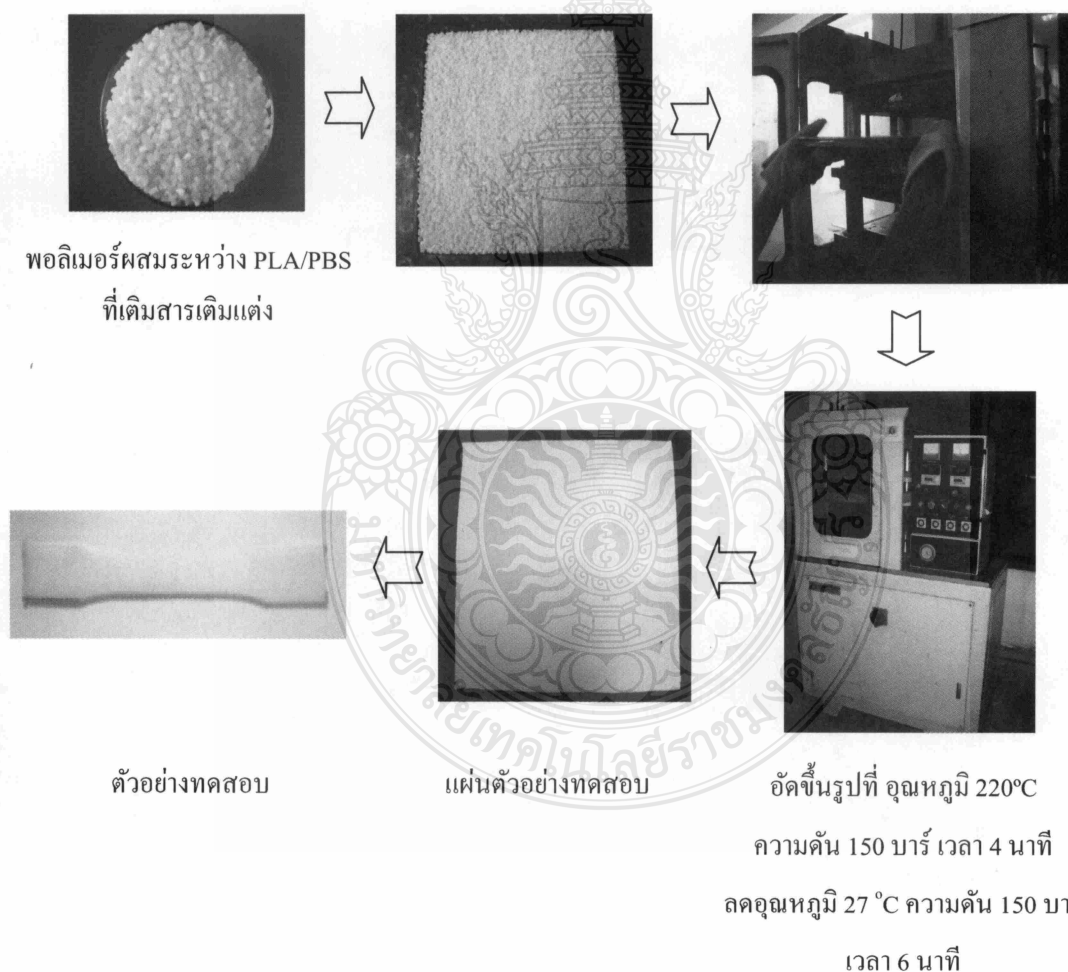
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่เติมสารเติมแต่ง

2) ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่เติมสารเติมแต่ง ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป

1. นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/ PBS ที่เติมสารเติมแต่งมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใส่ลงในแม่พิมพ์ขนาด $20 \times 20 \times 0.03$ เซนติเมตร จำนวน 150 กรัม เพื่อทำการอัดขึ้นรูป

2. อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 4 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมผสมกัน และหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 นาที

3. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เพื่อนำไปเตรียมเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่เติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป

3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน ทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

1) การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ทำการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Pan) ทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้

2. สภาวะการทดสอบ

อัตราการเพิ่มความร้อนเป็น $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จากอุณหภูมิ 20°C จนถึง 200°C แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

3. วิธีการทดสอบ

ก. เปิดชุดทดสอบ DSC ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับพล็อตกราฟและบันทึกข้อมูล ด้วยระบบควบคุม DSC (DSC Controller)

ข. บรรจุสารตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุสาร แล้วทำการอัดแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าไปได้ นำไปใส่ในเตา (Furnace) ของเครื่อง DSC ซึ่งมี 2 เตา โดยเตาที่ 1 สำหรับใส่ภาชนะเปล่าเพื่อเป็นตัวอ้างอิง และเตาที่ 2 ใช้สำหรับใส่ภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

ค. ปิดฝาครอบเครื่อง DSC

ง. กำหนดตัวแปร (Parameter) และเงื่อนไข (Condition) ที่ต้องการในเครื่อง

จ. เริ่มทำการเดินเครื่อง DSC และเปิดก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ระบบ คอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้เมื่อถึงเวลาสุดท้ายจะมีเสียงสัญญาณเตือน คอมพิวเตอร์จะหยุดการวิเคราะห์ผล

ฉ. ปิดวาล์วถึงก๊าซไนโตรเจนและนำภาชนะบรรจุสารตัวอย่างออกจากเตาเครื่อง DSC บันทึกข้อมูล จากนั้นจะเริ่มทำการทดสอบตัวอย่าง

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

1) การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)

1. วิธีการทดสอบ

ก. ก่อนทำการทดสอบควรทำความสะอาดกระบอกสูบและลูกสูบด้วยตัวทำละลายร้อน แล้วเช็ดสิ่งสกปรกทั้งหมดออก

- ข. ตั้งอุณหภูมิเครื่องทดสอบที่ 190 °C เป็นเวลา 15 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
- ค. บรรจุสารตัวอย่าง โดยมีน้ำหนักประมาณ 8 กรัม ลงในกระบอกสูบ
- ง. นำน้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม มาวางลงบนก้านคดน้ำหนัก จากนั้นเริ่มจับเวลาเมื่อ
- พอลิเมอร์ผสมไหลออกมาจากหัวคายน์แต่ละชิ้น ตั้งทิ้งไว้ 10 วินาที
- จ. เก็บตัวอย่างจากหัวคายน์ อย่างน้อย 5 ตัวอย่าง
- ฉ. ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าดัชนีการไหล

การคำนวณหาค่า MFI

$$MFR = 10W / T \quad (3.1)$$

กำหนดให้

- MFR = ค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Rate in grams / 10 minutes)
- W = ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของพลาสติกหลอมไหล
- T = ช่วงเวลาที่ตัดของพลาสติกหลอมไหล

2) การทดสอบลักษณะพื้นฐานวิชาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วิธีการทดสอบ

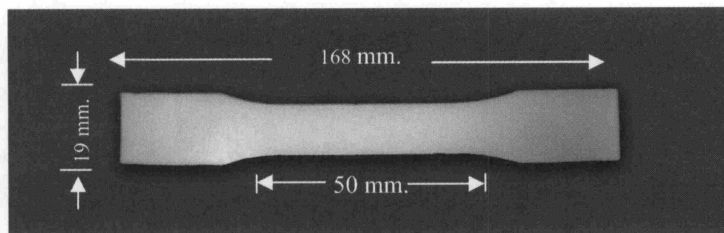
- นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทกมาตัดแล้วเป็นชิ้นขนาด 0.2 x 0.2 มิลลิเมตร
- มาเคลือบตัวนำไฟฟ้า เช่น ทอง ภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำไปส่องด้วยกระแสไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ทำการเลือกภาพบริเวณที่ต้องการและถ่ายภาพ

3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

1) การทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

1. เตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง เตรียมได้จากการนำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมให้เป็นแผ่นในขั้นตอนการอัดขึ้นรูป มาตัดเป็นรูปดัมเบลด้วยเครื่องตัดชิ้นงานพลาสติกยี่ห้อ Ceast ขนาด 19×168×3 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงดึง

2. วิธีการทดสอบ

ก. นำชิ้นงานคัมเบล มาตีคหมายเลขแต่ละชิ้นงานทดสอบให้ชัดเจน วัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ โดยทำการวัดค่า 3 ช่วง คือ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย บันทึกค่าที่ได้เพื่อใช้ในการคำนวณ

ข. ทำการวัดและทำเครื่องหมายแสดงช่วงของ Gauge Length

ค. นำชิ้นงานคัมเบลที่เตรียมไว้ไปทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตร/นาที และ Load Cell ขนาด 50 นิวตัน

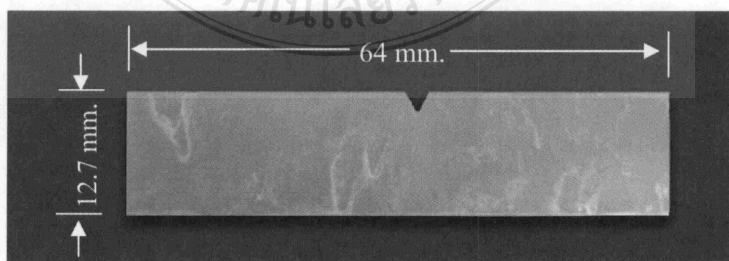
ง. บันทึกข้อมูล Tensile Strength Young's Modulus และ Percent Strain at Break และทำการทดสอบเช่นเดิมกับทุกชิ้นงาน ตัวอย่างละ 10 ชิ้น

จ. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวาดกราฟ หาความสัมพันธ์เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

2) การทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก

1. เตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก เตรียมได้จากการนำชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเตรียมให้เป็นแผ่นในขั้นตอนการอัดขึ้นรูป มาตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานพลาสติกหือ Ceast ขนาด $12.7 \times 64 \times 3$ มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก

2. วิธีการทดสอบ

ก. วัดความกว้างและความหนาของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ บริเวณด้านหลังรอยบากของชิ้นงาน บันทึกค่าที่ได้เพื่อใช้ในการคำนวณ

ข. นำชิ้นงานยึดกับฐานของเครื่องทดสอบให้แน่นหันด้านที่มีรอยบากเข้าหาค้อนขนาด 2 จูบ แล้วทำการปล่อยค้อนตกลงมากระทบชิ้นงาน

ค. บันทึกค่าพลังงานที่ได้จากเครื่อง ในหน่วย จูล และทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับทุกชิ้นงาน



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ และเติมทาลคัมเป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ และอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบ นำตัวอย่างชิ้นงานมาทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

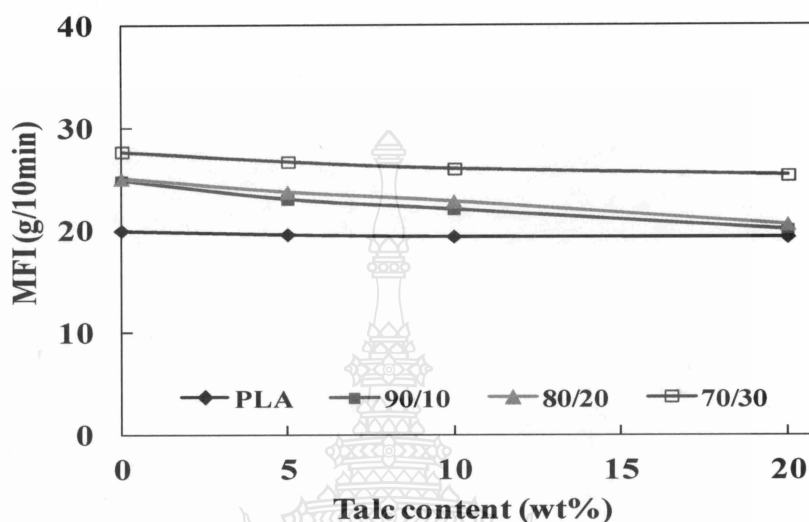
4.1.1 ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238-98

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ และเติมทาลคัมเป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% ที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่แล้ว มาทำการทดสอบค่าดัชนีการไหล ตามมาตรฐาน ASTM D1238-98 ที่น้ำหนักกด 2.16 kg ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทาลคัมและเติมทาลคัมที่ปริมาณต่างๆ

PLA:PBS (%wt)	MFI (g/10 min)			
	ปริมาณทาลคัม (%)			
	0	5	10	20
100:0	19.9	19.5	19.3	19.3
90:10	24.8	23.0	22.0	20.0
80:20	25.0	23.7	22.8	20.5
70:30	27.7	26.7	26.0	25.3

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่เติมทัลคัมและไม่เติมทัลคัมต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (กรัม/10 นาที) แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบต่อค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่ ปริมาณทัลคัม 0-20 wt%

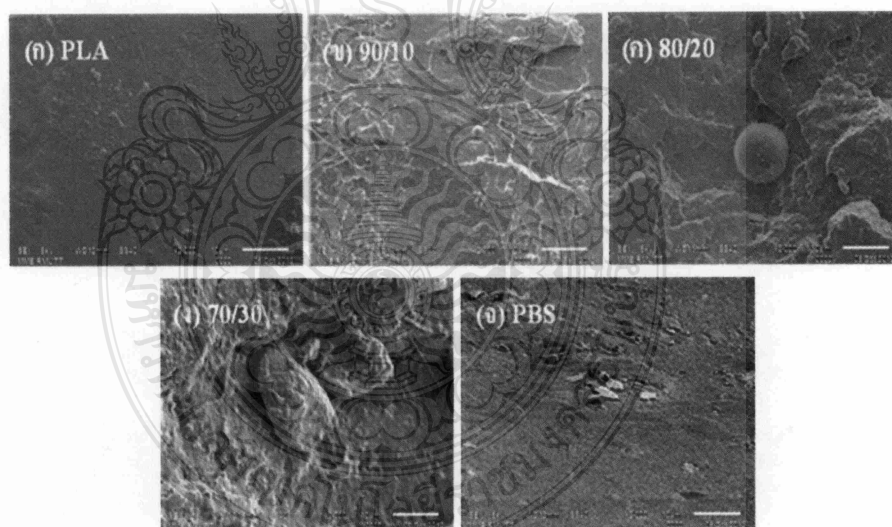
จากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและที่เติมทัลคัมปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทัลคัมนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีค่าความหนืดต่ำ ดัชนีการไหลสูงมาก เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมจึงลดลง ส่งผลถึงค่าดัชนีการไหลด้วย

จากนั้นทำการเติมทัลคัมที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10 และ 20 wt% ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าการเติมทัลคัมที่ปริมาณต่างๆ ในพอลิเมอร์ผสมนั้น ค่าดัชนีการไหลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กล่าวคือการเติมทัลคัมไม่มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แม้ว่า PLA เสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง แต่จากผลการทดลองยืนยันว่า ทัลคัมเพิ่มความเสถียรต่อความร้อนให้กับพอลิเมอร์ และการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ที่น้ำหนักกด

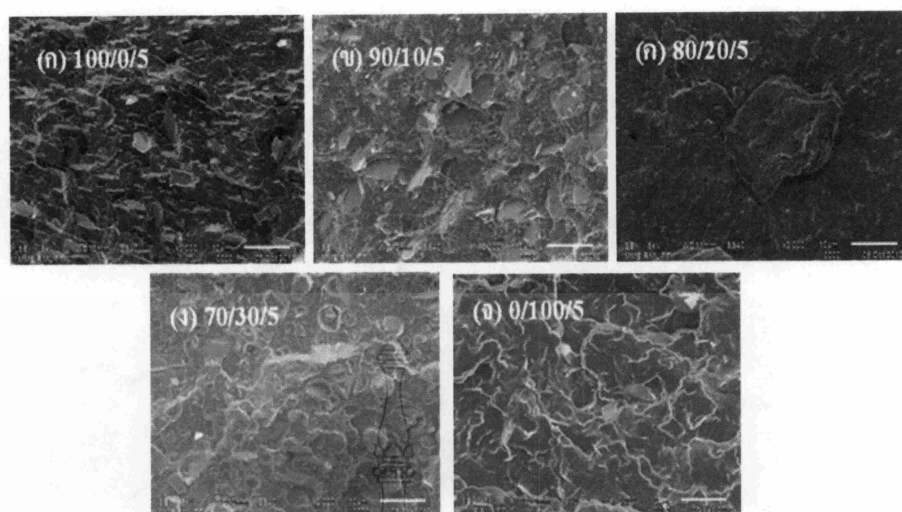
และสภาวะการทดลองเดียวกันกับตัวอย่างอื่นๆ พบว่า พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์นั้น ไม่สามารถทดสอบค่าดัชนีการไหลได้ เนื่องจากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์มีความหนืดต่ำมาก ค่าดัชนีการไหลสูงมาก เมื่อผ่านห้องหลอมเหลวระหว่างทำการทดสอบ พบว่าไหลเป็นของเหลวไม่สามารถตัดชิ้นงานไปคำนวณค่าดัชนีการไหลได้

4.1.2 ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

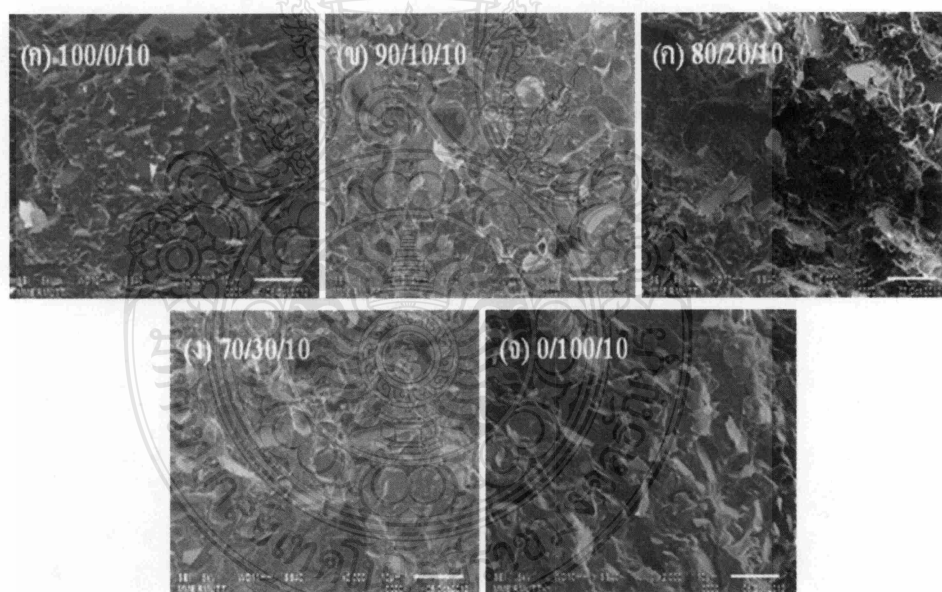
พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ที่ปริมาณທัลคัມ 5, 10 และ 20 wt% ที่นำมาใช้ในการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น นำมาจากชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทก เพื่อจะให้เห็นลักษณะสัณฐานวิทยาภายในของพอลิเมอร์ผสม ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่ได้เติมທัลคัມแสดงดังภาพที่ 4.2 และพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมທัลคัມที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% นั้น แสดงดังภาพที่ 4.3 ถึง 4.5 ตามลำดับ



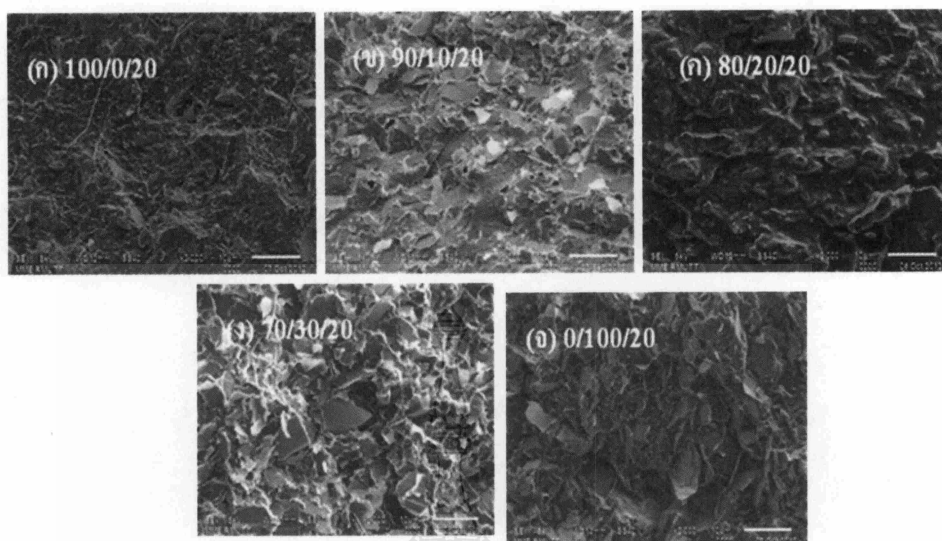
ภาพที่ 4.2 ลักษณะ โครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ (กำลังขยาย 2,000 เท่า)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่ปริมาณ
 ทลัคัม 5 % โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า)



ภาพที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่ปริมาณ
 ทลัคัม 10 % โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า)



ภาพที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆที่ปริมาณ ทลัคัม 20 % โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า)

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ จาก ภาพที่ 4.2 (ก) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของ PLA บริสุทธิ์และภาพที่ 4.2 (จ) แสดงลักษณะสัณฐาน วิทยาของ PBS บริสุทธิ์ พบว่าผิวหน้าค่อนข้างเรียบ และเมื่อนำพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัค ซิเนตมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 90:10, 80:20 และ 70:30 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยา ดังภาพ ที่ 4.2 (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่ม ก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลกติกแอซิดและ พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต

เมื่อเติมทลัคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% ในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาดังภาพที่ 4.3 ถึง 4.5 ตามลำดับ พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาในทุกตัวอย่าง ให้ผลเหมือนกัน คือผิวขรุขระ ไม่เรียบ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของทลัคัม ทั้งนี้เนื่องจากทลัคัมทำ หน้าที่เป็น Nucleating Agent เพิ่มปริมาณความเป็นผลึกให้พอลิเมอร์ผสมทำให้แรงกระทำระหว่าง ผิวหน้าที่เป็นผลึกที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดย เห็นทลัคัมซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากทลัคัมประกอบด้วย ชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพ

เป็นแผ่นบางๆ [25] เมื่อปริมาณทลัคม์ที่เติมในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS มากขึ้น จะเห็นลักษณะแผ่นบางๆ ของทลัคม์ชัดเจนขึ้น

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

4.2.1 ผลการทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ จากนั้นทำการเติมทลัคม์เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% แล้วนำไปทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 ถึง 4.5

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลัคม์ 0 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.07	-	151.79
90:10	63.40	111.77	151.49
80:20	65.73	112.76	152.15
70:30	66.91	113.83	152.47
PBS	-	114.82	-

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณ
ที่ล้น 5 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.70	-	148.06
90:10	65.94	113.70	151.88
80:20	65.87	112.90	151.63
70:30	65.45	113.25	151.75
PBS	-	114.82	-

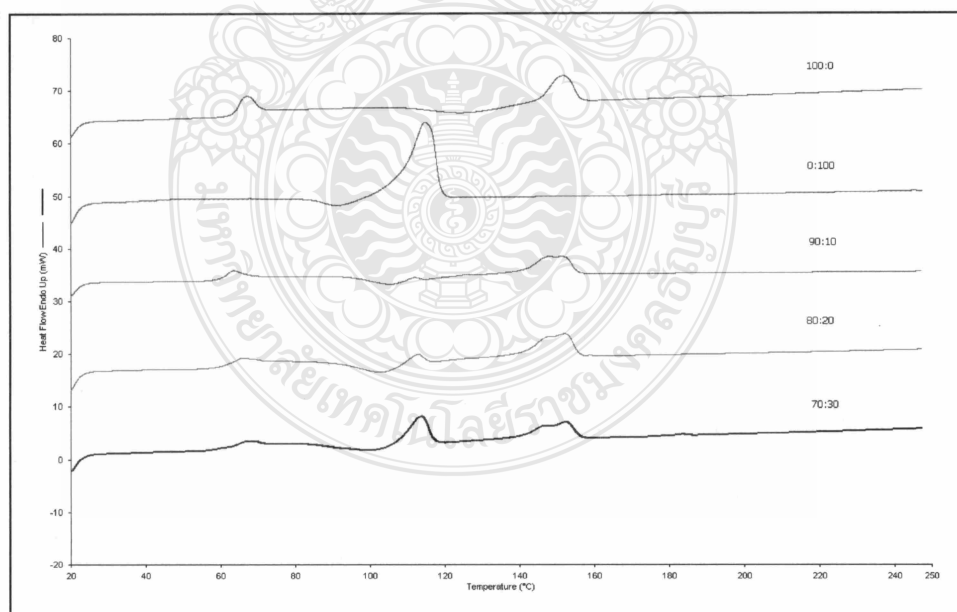
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณ
ที่ล้น 10 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.97	-	147.91
90:10	67.46	114.15	152.10
80:20	65.48	112.85	152.05
70:30	66.58	113.98	152.23
PBS	-	114.97	-

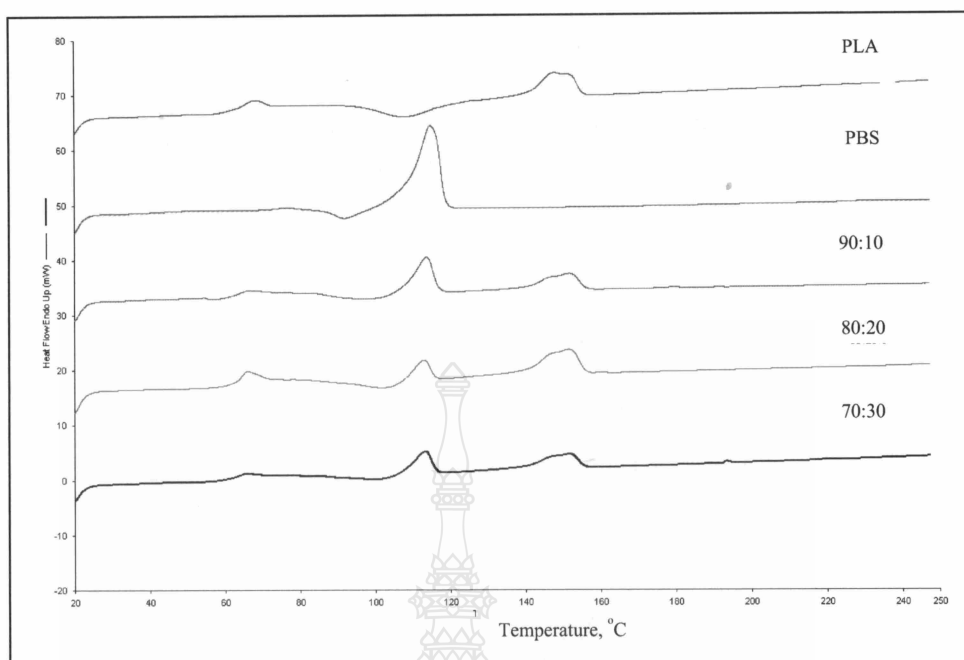
ตารางที่ 4.5 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณ
 ทลัคัม 20 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.77	-	151.98
90:10	70.68	116.57	-
80:20	65.45	112.06	152.05
70:30	66.91	113.56	152.23
PBS	-	115.55	-

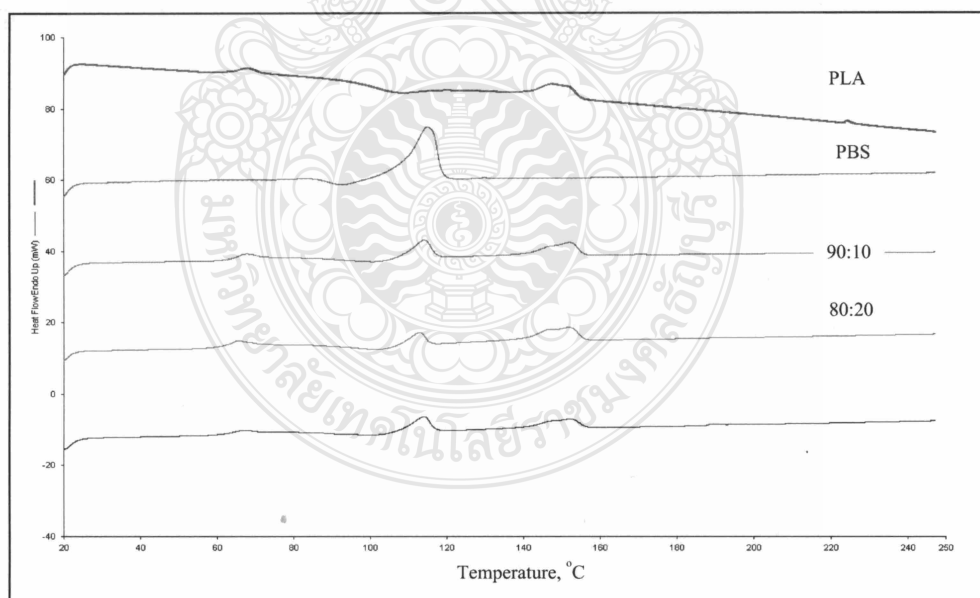
จากตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทลัคัมและเติมทลัคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% นั้น แสดงเป็นเทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนได้ดังภาพที่ 4.6 ถึง 4.9



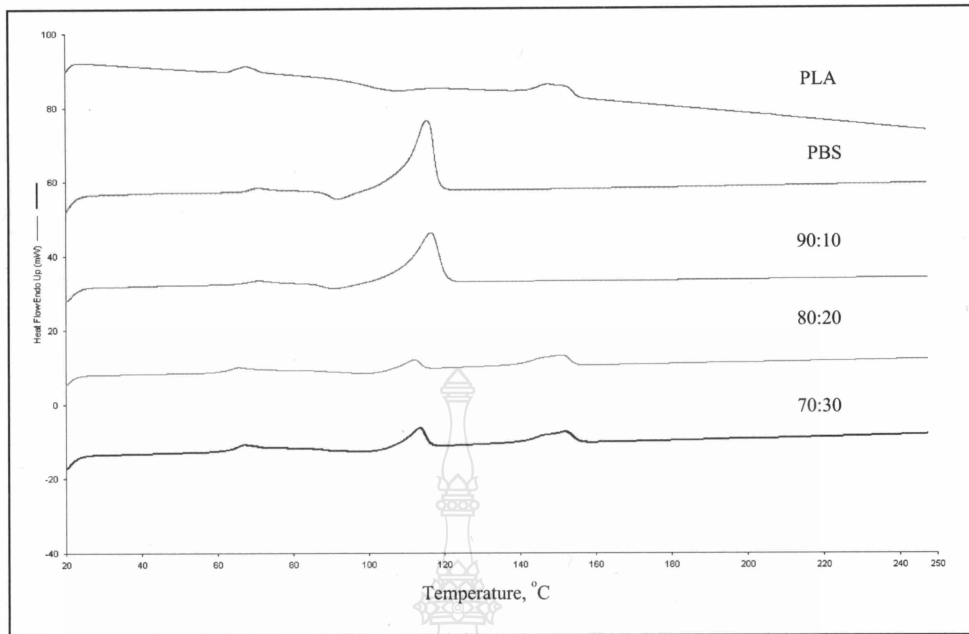
ภาพที่ 4.6 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วน
 ต่างๆ ที่ปริมาณทลัคัม 0 wt%



ภาพที่ 4.7 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณที่ลคัม 5 wt%



ภาพที่ 4.8 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณที่ลคัม 10 wt%



ภาพที่ 4.9 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลคัม 20 wt%

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมทลคัม พบว่า PLA บริสุทธิ์แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวที่ 151.79°C และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 67.07°C ส่วน PBS บริสุทธิ์มีค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว 114.82°C แต่เมื่อนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [4]

จากตารางที่ 4.3 ถึง 4.5 และภาพที่ 4.7 ถึง 4.9 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทลคัมที่ปริมาณ 0, 5, 10 และ 20 wt% ตามลำดับ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1] เหมือนในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมทลคัม นั้นหมายความว่า การเติมทลคัมที่ปริมาณต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

4.2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (Crystallinity)

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทลคัมและเติมทลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% นั้น สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกได้ โดยใช้สมการที่ 4.1 [24]

$$\chi_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times \frac{100}{W} \quad (4.1)$$

โดยที่ $\Delta H_m^0 = 93.7 \text{ J/g}$

$W =$ Weight Fraction of PLA in the Sample

$\Delta H_m =$ เอนทาลปีของการหลอมเหลว (Enthalpy for Melting)

$\Delta H_m^0 =$ เอนทาลปีของการหลอมเหลว PLA ที่มีความเป็นผลึก 100%

(Enthalpy of Melting for a 100% Crystalline PLA)

ซึ่งแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลคัม 5, 10 และ 20 wt%

PLA:PBS (wt%)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก			
	0	5	10	20
100:0	15.9	16.1	17.6	19.1
90:10	18.8	18.9	20.7	20.9
80:20	18.8	19.9	19.8	21.0
70:30	17.1	21.6	19.9	21.4

สมบัติทางความร้อนและพฤติกรรมการเกิดผลึกของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสมวิเคราะห์โดยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) จากผลของการวิเคราะห์พบค่า T_m ของ PBS ที่ 114°C และ T_m ของ PLA ที่ 152°C แสดงให้เห็นการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมทั้งที่เติมและไม่เติมทลคัม จากตารางที่ 4.6 จากการคำนวณพบว่าค่าความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของทลคัม ทั้งนี้เนื่องจากทลคัมทำหน้าที่ Nucleating Agent สำหรับ PLA นอกจากนั้น

ยังพบว่า การเติม PBS ใน PLA ทำให้ค่าความเป็นผลึกของ PLA เพิ่มขึ้น จึงพิจารณาได้ว่าทั้ง PBS และตัลคัลส่งเสริมซึ่งกันในการเพิ่มการเกิดผลึกของ PLA ในคอมโพลีต

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

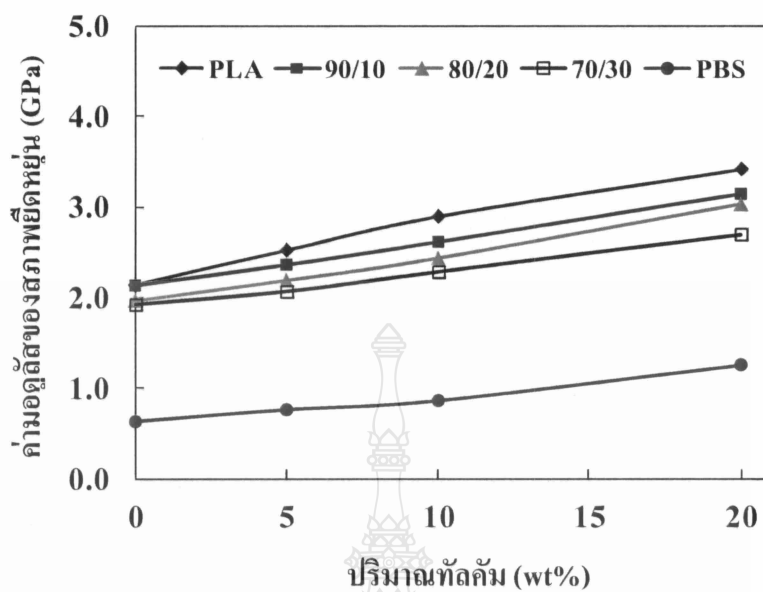
4.3.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Test)

ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมตัลคัลและเติมตัลคัลที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% นั้น แสดงผลการทดสอบเป็นค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ดังตารางที่ 4.7 และการทนต่อแรงดึงแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่ปริมาณตัลคัล 0-20 wt%

ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)				
PLA:PBS (wt%)	ปริมาณตัลคัล (%)			
	0	5	10	20
PLA	2.14 ± 0.03	2.53 ± 0.10	2.90 ± 0.08	3.42 ± 0.12
90:10	2.14 ± 0.07	2.37 ± 0.04	2.62 ± 0.11	3.15 ± 0.13
80:20	1.98 ± 0.05	2.20 ± 0.08	2.44 ± 0.04	3.04 ± 0.21
70:30	1.94 ± 0.02	2.08 ± 0.03	2.29 ± 0.11	2.71 ± 0.10
PBS	0.64 ± 0.02	0.77 ± 0.03	0.87 ± 0.02	1.27 ± 0.04

ผลที่ได้จากตารางที่ 4.7 นำมาแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นกับปริมาณของตัลคัลที่เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ปริมาณตัลคัม 0-20 wt%

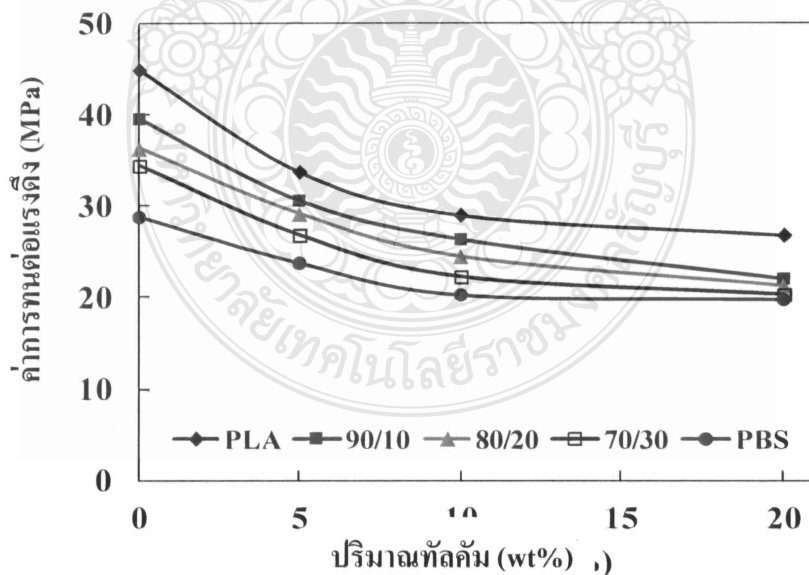
จากการคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของพอลิแลคติกแอซิดเมื่อเติมตัลคัมในพอลิเมอร์ผสมพบว่าปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นการทำหน้าที่เป็น Nucleating Agent ของตัลคัม ดังนั้นแรงกระทำระหว่างผิวของ PLA และ PBS จึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัลคัมในพอลิเมอร์ผสมด้วย จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม

ผลของตัลคัมต่อความเป็นผลึกและแรงกระทำระหว่างผิวหน้าของ PLA และ PBS เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้งที่ไม่เติมทลคัมและเติมทลคัม

ค่าการทนต่อแรงดึง (MPa)				
PLA:PBS (wt%)	ปริมาณทลคัม (%)			
	0	5	10	20
PLA	44.82 ± 2.80	33.69 ± 1.24	28.96 ± 0.33	26.78 ± 1.14
90:10	39.56 ± 1.52	30.62 ± 1.95	26.38 ± 1.42	22.07 ± 2.05
80:20	36.26 ± 2.23	29.13 ± 0.89	24.48 ± 2.08	21.28 ± 1.10
70:30	34.44 ± 1.83	26.85 ± 1.69	22.31 ± 2.12	20.35 ± 2.30
PBS	28.79 ± 1.37	23.79 ± 1.17	20.32 ± 2.44	19.82 ± 2.54

จากตารางที่ 4.8 นำมาแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนต่อแรงดึงกับปริมาณของทลคัมที่เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลคัม 0-20 wt%

จากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 ที่มีการเติมทลคัมในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงในแนวทางเดียวกันเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของทลคัม ทั้งนี้แม้ว่าทลคัมจะเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมและเพิ่มแรงกระทำระหว่างผิวหน้าของ PLA, PBS และทลคัม แต่ทั้งนี้เนื่องจากทลคัมมิได้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน จึงทำให้ผลของการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม PLA และ PBS และทลคัมที่มีปริมาณมากมีผลมากกว่าแรงกระทำระหว่างผิวหน้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสารเชื่อมประสานจึงมีความจำเป็นในระบบพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS

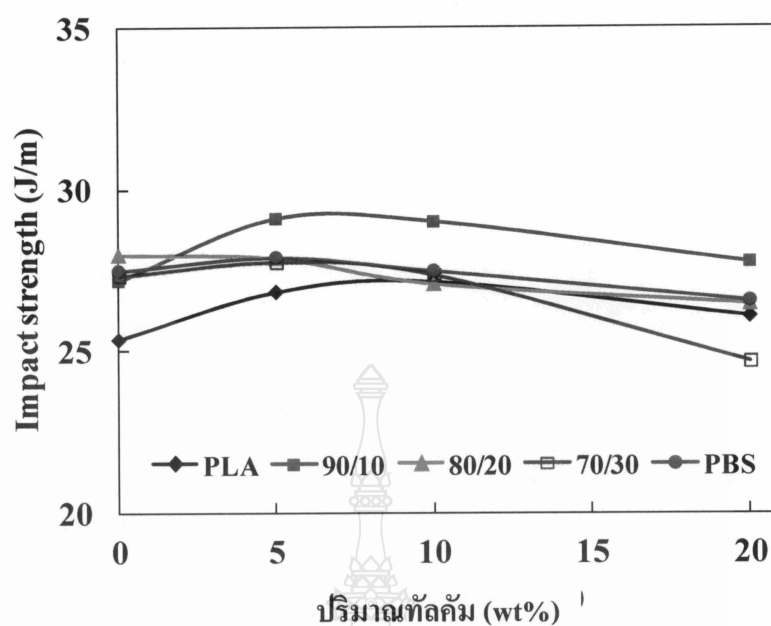
4.3.2 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength)

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลคัม 0, 5, 10 และ 20 wt% นั้น แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ปริมาณทลคัม 0-20 wt%

ค่าการทนแรงกระแทก (J/m^2)				
PLA:PBS (%wt)	ปริมาณทลคัม (%)			
	0	5	10	20
PLA	25.3 ± 1.86	26.8 ± 2.33	27.1 ± 1.70	26.1 ± 2.04
90:10	27.2 ± 1.30	29.1 ± 1.84	29.0 ± 1.43	27.7 ± 2.48
80:20	28.0 ± 1.69	27.9 ± 1.92	27.1 ± 1.98	26.5 ± 2.14
70:30	27.3 ± 2.22	27.8 ± 1.35	27.4 ± 2.35	24.7 ± 1.47
PBS	27.5 ± 2.06	27.9 ± 1.68	27.5 ± 1.80	26.6 ± 2.29

ผลที่ได้สามารถอธิบายในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงกระแทกกับปริมาณของทลคัมที่เติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทลคัม 0-20 wt%

จากผลของทลคัมที่ทำหน้าที่เป็น Nucleating Agent ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อแรงกระทำระหว่างผิวของ PLA และ PBS ที่เพิ่มขึ้น จึงมีผลต่อการเพิ่มความเหนียวให้พอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตาม การเติมทลคัมในปริมาณมากทำให้การแยกเฟสของพอลิเมอร์มาผลมากกว่าแรงกระทำระหว่างผิวหน้า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่ อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 เปรียบเทียบผลของการเติมทัลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) และเตรียมชิ้นงานทดสอบของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตทั้งที่ไม่เติมทัลคัมและเติมทัลคัม ได้แก่ ค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ (Melt Flow Index, MFI) ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) การวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ทดสอบการทนต่อแรงดึง และการทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

5.1.2 จากผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตในพอลิแลกติกแอซิดเมทริกซ์ ส่งผลต่อการไหลที่ดีในพอลิเมอร์หลอมเหลว และการเติมทัลคัมที่ปริมาณต่างๆ ในพอลิเมอร์ผสมไม่ทำให้ค่าดัชนีการไหลเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เกิดจากผลของการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมเมื่อมีปริมาณทัลคัมมากขึ้น

5.1.3 จากผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ และเมื่อนำพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต เมื่อเติมทัลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 % โดยน้ำหนัก ในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาในทุกตัวอย่างให้ผลเหมือนกัน คือผิวขรุขระ ไม่เรียบ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของทัลคัม ทั้งนี้เนื่องจากทัลคัมทำหน้าที่เป็น Nucleating Agent เพิ่มปริมาณความเป็นผลึกให้พอลิเมอร์ผสมทำให้แรงกระทำระหว่างผิวหน้าที่เป็นผลึกที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดย

เห็นทลคัมซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากทลคัมประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นบางๆ [25] เมื่อปริมาณทลคัมที่เติมในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS มากขึ้น จะเห็นลักษณะแผ่นบางๆ ของทลคัมชัดเจนขึ้น

5.1.4 จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) พบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีค อย่างชัดเจน และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทลคัมที่ปริมาณ 5, 10 และ 20 wt% พบว่าการเติมทลคัมที่ปริมาณต่างๆ ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลง

5.1.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (Crystallinity) จากการคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของพอลิแลคติกแอซิด พบว่ามีค่าความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของทลคัม ทั้งนี้เนื่องจากทลคัมทำหน้าที่ Nucleating Agent สำหรับ PLA นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม PBS ใน PLA ทำให้ค่าความเป็นผลึกของ PLA เพิ่มขึ้น จึงพิจารณาได้ว่าทั้ง PLA และทลคัมส่งเสริมซึ่งกันในการเกิดผลึกเพิ่มขึ้นของ PLA ในคอมโพสิต

5.1.6 จากผลการทดสอบค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength) จากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 ที่มีการเติมทลคัมในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงในแนวทางเดียวกันเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของทลคัม ทั้งนี้แม้ว่าทลคัมจะเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมและเพิ่มแรงกระทำระหว่างผิวหน้าของ PLA, PBS และทลคัม แต่ทั้งนี้เนื่องจากทลคัมมิได้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน จึงทำให้ผลของการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม PLA และ PBS และทลคัมที่มีปริมาณมากมีผลมากกว่าแรงกระทำระหว่างผิวหน้าที่เพิ่มขึ้นดังนั้นสารเชื่อมประสานจึงมีความจำเป็นในระบบพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS

5.1.7 จากผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength) จากผลของทลคัมที่ทำหน้าที่เป็น Nucleating Agent ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อแรงกระทำระหว่างผิวของ PLA และ PBS ที่เพิ่มขึ้น จึงมีผลต่อการเพิ่มความเหนียวให้พอลิเมอร์ แต่อย่างไรก็ตาม การเติมทลคัมในปริมาณมากทำให้การแยกเฟสของพอลิเมอร์มาผลมากกว่าแรงกระทำระหว่างผิวหน้า

5.1.8 จากผลการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ที่อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก และเติมทัลคัม 5 phr มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ขึ้นรูปโดยการบวกรีด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การปรับสภาพผิวของทัลคัมด้วยสารประกอบ Silane คาดว่าจะมีส่วนเพิ่มการเชื่อมประสานของทัลคัมต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีนซัคซิเนต

5.2.2 ควรศึกษาผลของขนาดอนุภาคของทัลคัมต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีนซัคซิเนต

5.2.3 ควรมีการทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นมา เน้นเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม นำมาแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาระยะเวลาการย่อยสลายของพลาสติกทั่วไป เพราะทั้งพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีนซัคซิเนตต่างก็เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่มีการนำผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ และมีการเติมสารเติมแต่ง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสม

5.2.4 ควรระวังเรื่องของความชื้นของวัตถุดิบ ควรมีการอบไล่ความชื้น และการจัดเก็บวัตถุดิบที่ดี ด้วย เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีนซัคซิเนตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อาจเกิดการไฮโดรไลซิส ขณะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ลดลงและสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม



รายการอ้างอิง

- [1] Longerey M. · Lopez cuesta J.-M. · Gaudon P. · Crespy A., "Talc and brominated trimethylphenyl indane/Sb₂O₃ blend in a PP-PE copolymer," **Polymer Degradation and Stability**, (Electronic), 1999, Vol. 64, No. 3, pp. 489-496. Available: Science Direct (20 April 2012).
- [2] Sangmook Lee and Jae Wook Lee., "Characterization and processing of Biodegradable polymer blends of poly(lactic acid) with poly(butylene succinate adipate)," **Korea-Australia Rheology**, (Electronic), 2005, Vol. 17, No. 2, pp. 71-77. Available: Science Direct (20 April 2012).
- [3] Bruno Rotzinger, "Talc-filled PP: A new concept to maintain long term heat stability," **Polymer Degradation and Stability**, (Electronic), 2006, Vol. 91, pp. 2884-2887. Available: Science Direct (20 April 2012).
- [4] Amita Bhatia, Rahul K. Gupta, Sati. N. Bhattacharya, and H.J. Choi., "Compatibility of biodegradable poly(lactic acid)(PLA) and poly(butylenes succinate)(PBS) blends for packaging application," **Korea-Australia Rheology**, (Electronic), 2007, Vol.19, No. 3, pp. 125-131. Available: Science Direct (5 May 2012).
- [5] M. S. Huda, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, M. Misra., "The effect of silane treated- and untreated-talc on the mechanical and physico-mechanical properties of poly(lactic acid)/newspaper fibers/talc hybrid composites," **Composites: Part B**, (Electronic), 2007, Vol. 38, 2007. pp. 367-379. Available: Science Direct (5 May 2012).
- [6] Yaming Wang, João F. Mano. "Biodegradable poly(L-lactic acid)/poly(butylenes succinate-co-adipate) blend : miscibility morphology and thermal behavior," **Applied Polymer Science**, (Electronic), 2007, Vol. 105, No. 6, pp. 3204-3210. Available: Science Direct (5 May 2012).
- [7] Y. Azuma, H. Takeda, S. Watanabe, H. Nakatani., "Outdoor and accelerated weathering tests for polypropylene and polypropylene/talc composites: A comparative study of their weathering behavior," **Polymer Degradation and Stability**, (Electronic), 2009, Vol. 94, pp. 2267-2274. Available: Science Direct (5 May 2012).

- [8] Sanjeev Singh, Amar K. Mohanty, Manju Misra., "Hybrid bio-composite from talc, wood fiber and bioplastic:Fabrication and characterization," **Composites: Part A**, (Electronic), 2010, Vol. 41, pp. 304–312. Available: Science Direct (12 June 2012).
- [9] Srikanth Pilla, Seong G. Kim, George K. Auer, Shaoqin Gong, Chul B. Park., "Microcellular extrusion foaming of poly(lactide)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends," **Materials Science and Engineering**, (Electronic), 2010, Vol. 30, pp. 255–262. Available: Science Direct (12 June 2012).
- [10] ธนาวดี ลีจากภักย์., พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (ออนไลน์), 2550. เข้าถึงได้จาก: www.foodindustrythailand.com (20 มิถุนายน 2555).
- [11] ธนาวดี ลีจากภักย์., พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (ออนไลน์), 2550. เข้าถึงได้จาก: www.2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.htm (13 สิงหาคม 2555).
- [12] ธนาวดี ลีจากภักย์., พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. บริษัท ไทยเอฟเฟคทสตูดิโอ จำกัด, 2549.
- [13] ธนาวดี ลีจากภักย์., การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (ออนไลน์), 2550. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mtec.or.th> (12 มิถุนายน 2555).
- [14] Nature work, **Biopolymer 3052D** (online), 2002. Available: <http://www.natureworksllc.com> (27 August 2012).
- [15] Showa Denko K.K., **Showa (Bionolle)** (online), 2012. Available: <http://showadenko.us/product/bionolle.php> (25 August 2012).
- [16] ชวลิต แสงสวัสดิ์, กระบวนการผลิตเทอร์โทพลาสติก 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [17] บรรณเลข ศรีนิล, เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.
- [18] Mondo Minerals B.V., **Talc in Plastics** (online), Available:<http://www.mondominerals.com>.
- [19] R. J. Crawford, **Plastic Engineering**, 3rd edition. Netherlands: Elaevier, 1998.
- [20] ปิ่นสุภา ปิติรักษัสกุล, การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2545.
- [21] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, การทดสอบแรงดึง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2550.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล



ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล ของพอลิแลกติกแอซิด

PLA-PBS-Tal	น้ำหนัก (g)	MFR (g/10min)	MVR (g/10min)	Density (g/cm ³)
100-0-0	0.3136	19.32	26.53	0.16
	0.3339			
	0.3480			
	0.3110			
	0.3036			
รวม	1.6101			
เฉลี่ย	0.3220			

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล ของพอลิแลกติกแอซิดที่เติมทัลคัมปริมาณ 5 wt%

PLA-PBS-Tal	น้ำหนัก (g)	MFR (g/10min)	MVR (g/10min)	Density (g/cm ³)
100-0-5	0.3252	19.92	17.62	1.13
	0.3439			
	0.3251			
	0.3286			
	0.3351			
รวม	1.6579			
เฉลี่ย	0.3316			

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล ของพอลิแลกติกแอซิดที่เติมทัลคัมปริมาณ 10 wt%

PLA-PBS-Tal	น้ำหนัก (g)	MFR (g/10min)	MVR (g/10min)	Density (g/cm ³)
100-0-10	0.3351	19.50	16.89	1.15
	0.3521			
	0.3191			
	0.3201			
	0.3010			
รวม	1.6274			
เฉลี่ย	0.3255			

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหล ของพอลิแลกติกแอซิดที่เติมทัลคัมปริมาณ 20 wt%

PLA-PBS-Tal	น้ำหนัก (g)	MFR (g/10min)	MVR (g/10min)	Density (g/cm ³)
100-0-20	0.3262	19.26	15.58	1.23
	0.3291			
	0.3158			
	0.3139			
	0.3219			
รวม	1.6069			
เฉลี่ย	0.3214			

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทก



ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทก

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิด

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.58	0.024	0.108	23.464
2	3.57	0.024	0.124	28.011
3	3.56	0.024	0.112	24.719
4	3.57	0.024	0.112	24.650
5	3.57	0.024	0.072	13.445
6	3.58	0.024	0.112	24.581
7	3.58	0.024	0.128	29.050
8	3.57	0.024	0.112	24.650
9	3.57	0.024	0.111	24.370
10	3.57	0.024	0.112	24.650

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิดที่เติมทัลคัม 5 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.81	0.024	0.112	23.097
2	3.67	0.024	0.156	35.967
3	3.79	0.024	0.112	23.219
4	3.69	0.024	0.124	27.100
5	3.76	0.024	0.072	12.766
6	3.83	0.024	0.080	14.621
7	3.65	0.024	0.112	24.110
8	3.69	0.024	0.112	23.848

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิดที่เติมทัลคัม 10 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.29	0.024	0.128	31.611
2	3.57	0.024	0.136	31.373
3	3.51	0.024	0.128	29.630
4	3.54	0.024	0.128	29.379
5	3.38	0.024	0.128	30.769
6	3.52	0.024	0.136	31.818
7	3.54	0.024	0.128	29.378
8	3.47	0.024	0.136	32.277
9	3.52	0.024	0.120	27.273
10	3.44	0.024	0.120	27.907
11	3.58	0.024	0.120	26.816

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิดที่เติมทัลคัม 20 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.57	0.024	0.104	22.409
2	3.63	0.024	0.108	23.140
3	3.56	0.024	0.128	29.213
4	3.59	0.024	0.124	27.855
5	3.62	0.024	0.128	28.729
6	3.65	0.024	0.108	23.014
7	3.56	0.024	0.124	28.090

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกดิกแอซิดและพอลิบิวทีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 และไม่เติมทัลคัม

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.47	0.024	0.136	32.277
2	3.52	0.024	0.120	27.273
3	3.44	0.024	0.120	27.907
4	3.58	0.024	0.120	26.816
5	3.47	0.024	0.136	32.277
6	3.52	0.024	0.120	27.273
7	3.44	0.024	0.120	27.907

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกดิกแอซิดและพอลิบิวทีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 และเติมทัลคัม 5 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.42	0.024	0.136	32.749
2	3.46	0.024	0.136	32.370
3	3.42	0.024	0.112	25.731
4	3.5	0.024	0.160	38.857
5	3.42	0.024	0.128	30.409
6	3.63	0.024	0.136	30.854
7	3.42	0.024	0.112	25.731
8	3.48	0.024	0.120	27.586
9	3.5	0.024	0.120	27.429

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 และเติมทัลคัม 10 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.46	0.024	0.128	30.058
2	3.59	0.024	0.152	35.655
3	3.61	0.024	0.128	28.809
4	3.49	0.024	0.12	27.507
5	3.63	0.024	0.128	28.650
6	3.46	0.024	0.208	53.179
7	3.64	0.024	0.168	39.560
8	3.45	0.024	0.176	44.058
9	3.46	0.024	0.12	27.746
10	3.58	0.024	0.136	31.285

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 90:10 และเติมทัลคัม 20 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.46	0.024	0.12	27.746
2	3.58	0.024	0.136	31.285
3	3.46	0.024	0.12	27.746
4	3.58	0.024	0.136	31.285
5	3.46	0.024	0.12	27.746
6	3.58	0.024	0.136	31.285
7	3.46	0.024	0.12	27.746
8	3.58	0.024	0.136	31.286

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 80:20 และไม้เติมทลั้ม

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.45	0.024	0.112	25.507
2	3.6	0.024	0.08	15.556
3	3.62	0.024	0.128	28.729
4	3.44	0.024	0.144	34.884
5	3.42	0.024	0.128	30.409
6	3.56	0.024	0.128	29.213
7	3.35	0.024	0.112	26.269
8	3.49	0.024	0.144	34.384
9	3.48	0.024	0.12	27.586
10	3.41	0.024	0.12	28.152
11	3.5	0.024	0.12	27.429
12	3.47	0.024	0.16	39.193

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิবিริลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 80:20 และเติมทัลคัม 5 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.49	0.024	0.112	25.215
2	3.52	0.024	0.144	34.091
3	3.48	0.024	0.112	25.287
4	3.42	0.024	0.160	39.767
5	3.47	0.024	0.136	32.277
6	3.45	0.024	0.136	32.464
7	3.48	0.024	0.120	27.586
8	3.53	0.024	0.120	27.195
9	3.52	0.024	0.120	27.273
10	3.42	0.024	0.112	25.731
11	3.49	0.024	0.176	43.553



ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และพอลิবিวรีลินซ้คชเเนตที่อัตราส่วน 80:20 และเติมทัลคัม 10 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.57	0.024	0.112	24.650
2	3.63	0.024	0.072	13.223
3	3.69	0.024	0.140	31.436
4	3.59	0.024	0.112	24.513
5	3.58	0.024	0.124	27.933
6	3.65	0.024	0.124	27.397
7	3.59	0.024	0.128	28.969
8	3.64	0.024	0.088	17.582
9	3.57	0.024	0.112	24.650
10	3.59	0.024	0.064	11.142



ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิবিวรีลินซ์คิเนตที่อัตราส่วน 80:20 และเติมทัลคัม 20 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.41	0.024	0.112	25.806
2	3.43	0.024	0.128	30.321
3	3.47	0.024	0.128	29.971
4	3.47	0.024	0.112	25.360
5	3.40	0.024	0.112	25.882
6	3.47	0.024	0.112	25.360
7	3.51	0.024	0.124	28.4909
8	3.44	0.024	0.124	29.070
9	3.53	0.024	0.088	18.130
10	3.49	0.024	0.112	25.215



ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 70:30 ที่ไม่เติมทัลคัม

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (before)	Energy (after)	Impact (J/m ²)
1	3.57	0.024	0.162	38.655
2	3.65	0.024	0.152	35.068
3	3.55	0.024	0.200	49.577
4	3.56	0.024	0.172	41.573
5	3.59	0.024	0.108	23.398
6	3.49	0.024	0.124	28.653
7	3.50	0.024	0.124	28.571
8	3.53	0.024	0.136	31.728
9	3.55	0.024	0.108	23.662
10	3.57	0.024	0.124	28.011
11	3.69	0.024	0.112	23.848
12	3.58	0.024	0.112	24.581

ตารางที่ ข.14 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิবিวิธินซักซิเนตที่อัตราส่วน 70:30 และเติมทัลคัม 5 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.42	0.024	0.120	28.070
2	3.44	0.024	0.120	27.907
3	3.42	0.024	0.120	28.070
4	3.33	0.024	0.120	28.829
5	3.47	0.024	0.120	27.666
6	3.57	0.024	0.120	26.891
7	3.34	0.024	0.128	31.138
8	3.38	0.024	0.112	26.036
9	3.34	0.024	0.120	28.743
10	3.47	0.024	0.120	27.666
11	3.60	0.024	0.128	28.889
12	3.56	0.024	0.136	31.461

ตารางที่ ข.15 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด และพอลิบิวทีเร็นซัคซินเนตที่อัตราส่วน 70:30 และเติมทัลคัม 10 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.60	0.024	0.128	28.889
2	3.56	0.024	0.136	31.461
3	3.60	0.024	0.128	28.889
4	3.56	0.024	0.136	31.461
5	3.60	0.024	0.128	28.889
6	3.56	0.024	0.136	31.461
7	3.60	0.024	0.128	28.889
8	3.56	0.024	0.136	31.461
9	3.60	0.024	0.128	28.889
10	3.56	0.024	0.136	31.461



ตารางที่ ข.16 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทีรีนซัดซิเนตที่อัตราส่วน 70:30 และเติมทัลคัม 20 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.46	0.024	0.072	13.873
2	3.44	0.024	0.112	25.581
3	3.42	0.024	0.104	23.392
4	3.35	0.024	0.080	16.716
5	3.43	0.024	0.104	23.324
6	3.38	0.024	0.080	16.5681
7	3.42	0.024	0.104	23.392
8	3.47	0.024	0.128	29.971
9	3.43	0.024	0.112	25.656
10	3.30	0.024	0.112	26.667



ตารางที่ ข.17 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมทัลคัม

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.47	0.024	0.156	38.040
2	3.47	0.024	0.112	25.360
3	3.55	0.024	0.200	49.577
4	3.51	0.024	0.128	29.630
5	3.32	0.024	0.188	49.398
6	3.49	0.024	0.124	28.653
7	3.57	0.024	0.172	41.457
8	3.49	0.024	0.124	28.653
9	3.49	0.024	0.112	25.215
10	3.52	0.024	0.16	38.636

ตารางที่ ข.18 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมทัลคัม 5 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.49	0.024	0.112	25.215
2	3.52	0.024	0.160	38.636
3	3.49	0.024	0.112	25.215
4	3.52	0.024	0.160	38.636
5	3.49	0.024	0.112	25.215
6	3.52	0.024	0.160	38.636
7	3.49	0.024	0.112	25.215
8	3.52	0.024	0.160	38.636

ตารางที่ ข.19 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซักซิเนตที่เติมทัลคัม 10 wt%

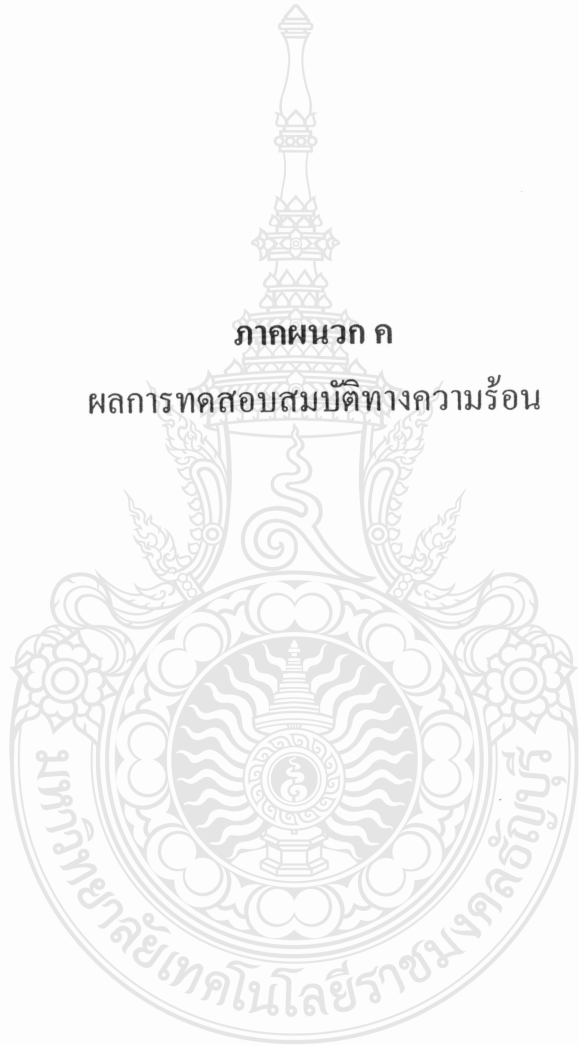
ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.48	0.024	0.156	37.931
2	3.49	0.024	0.108	24.069
3	3.51	0.024	0.144	34.188
4	3.42	0.024	0.192	49.123
5	3.52	0.024	0.192	47.727
6	3.47	0.024	0.108	24.207
7	3.42	0.024	0.200	51.462
8	3.46	0.024	0.156	38.150

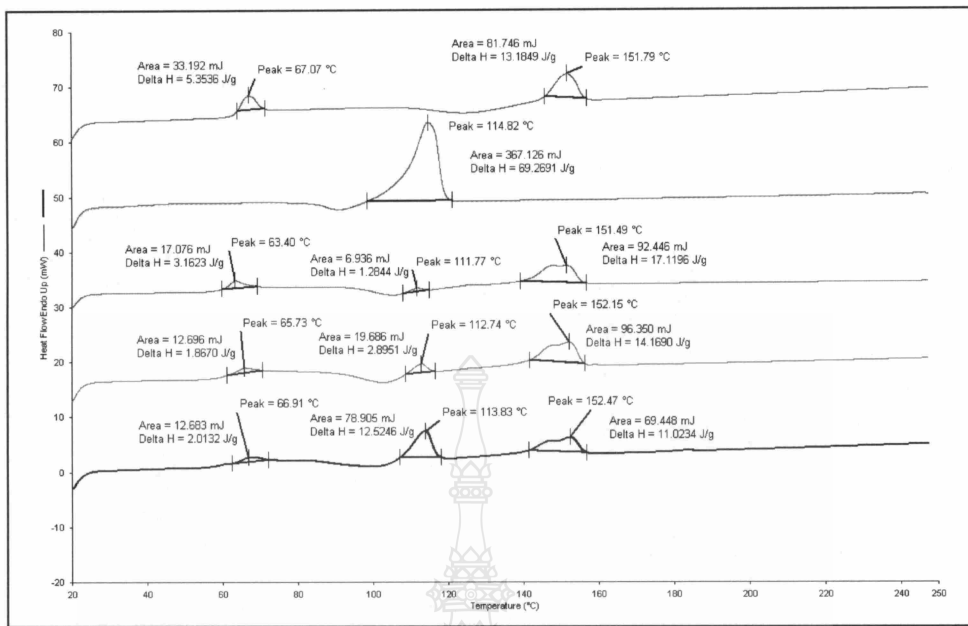
ตารางที่ ข.20 ผลการทดสอบค่าการทนแรงกระแทกของพอลิบิวทิลีนซักซิเนตที่เติมทัลคัม 20 wt%

ตัวอย่างที่	ความหนา (mm)	Energy (Before)	Energy (After)	Impact (J/m ²)
1	3.53	0.024	0.120	27.195
2	3.58	0.024	0.140	32.402
3	3.45	0.024	0.124	28.986
4	3.56	0.024	0.112	24.719
5	3.54	0.024	0.124	28.249
6	3.59	0.024	0.124	27.855
7	3.64	0.024	0.108	23.077
8	3.50	0.024	0.140	33.148
9	3.51	0.024	0.108	23.932
10	3.52	0.024	0.124	28.409
11	3.55	0.024	0.108	23.662
12	3.7	0.024	0.108	23.529

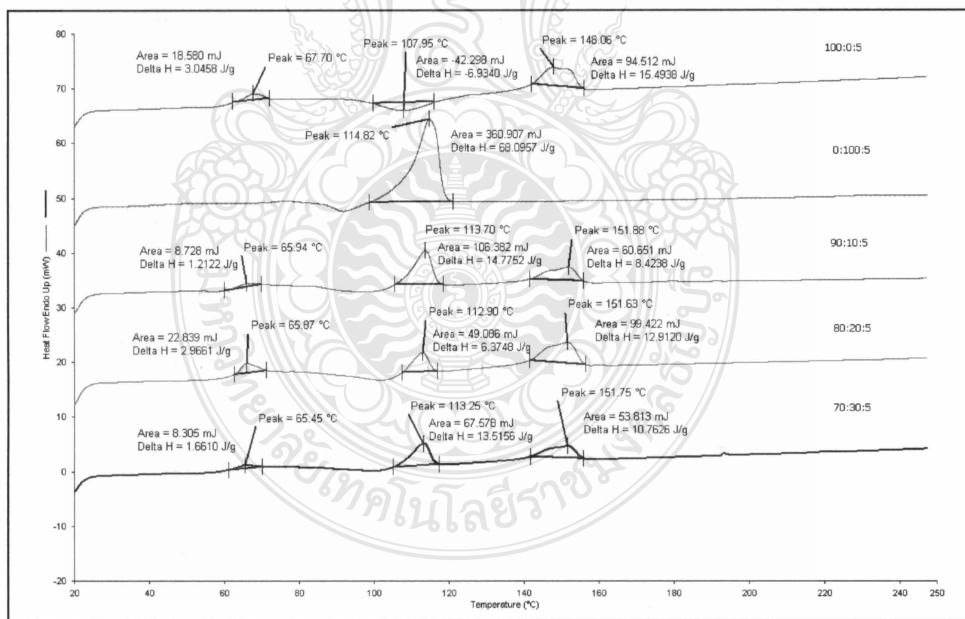
ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

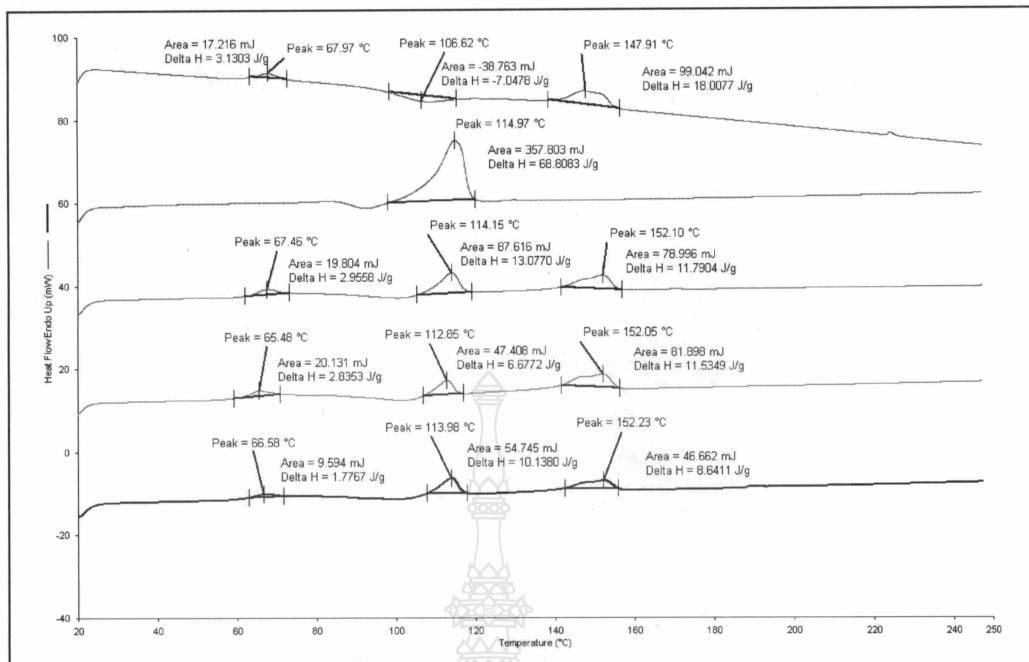




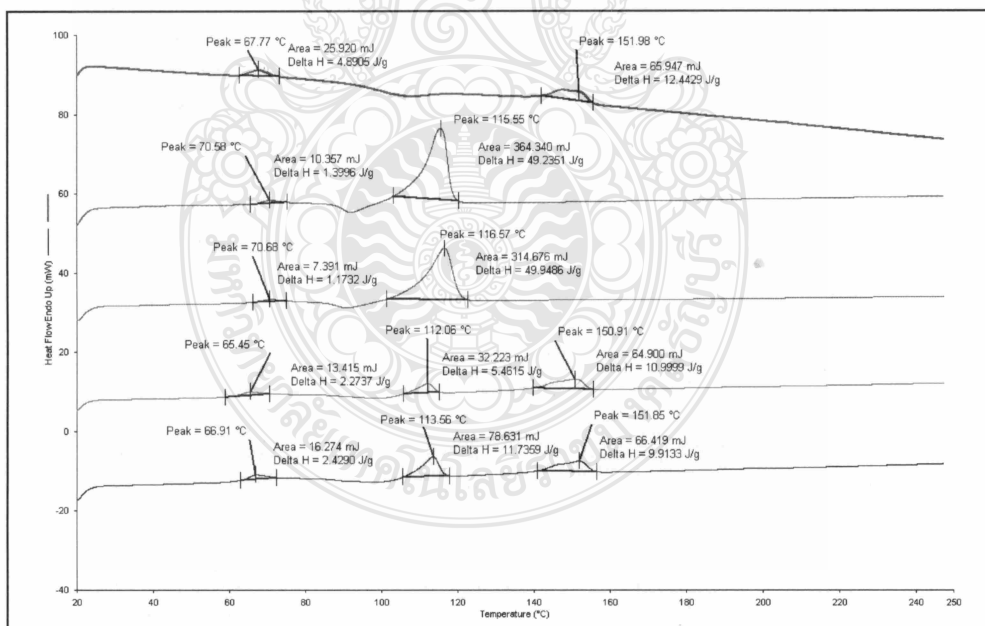
ภาพที่ ค.1 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมทาลค์ัม



ภาพที่ ค.2 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์ัมปริมาณ 5 wt%



ภาพที่ ค.3 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทีลคัมปริมาณ 10 wt%



ภาพที่ ค.4 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทีลคัมปริมาณ 20 wt%

ภาคผนวก ง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการทดสอบ

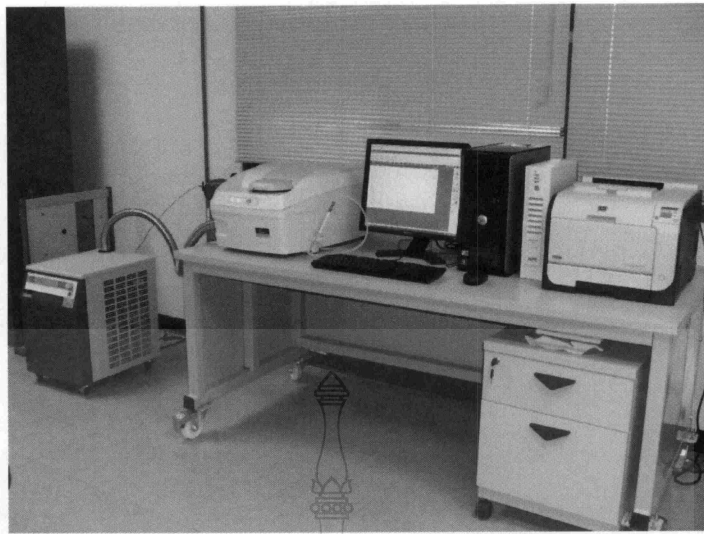




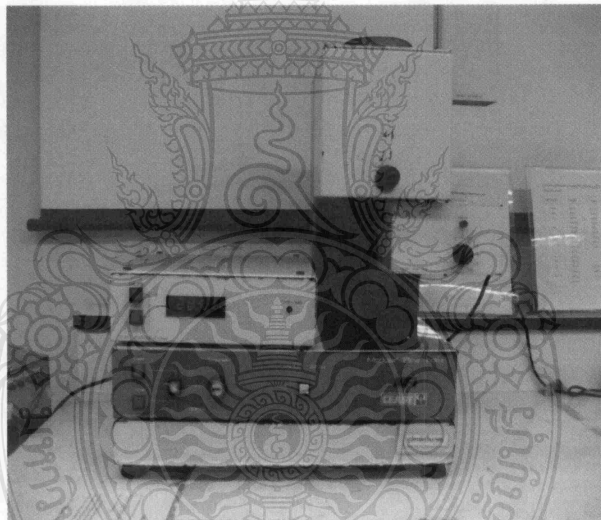
ภาพที่ ง.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder)



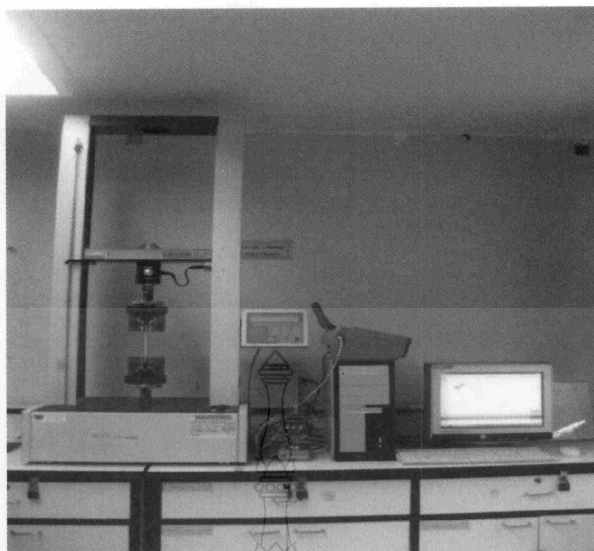
ภาพที่ ง.2 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine)



ภาพที่ ง.3 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)



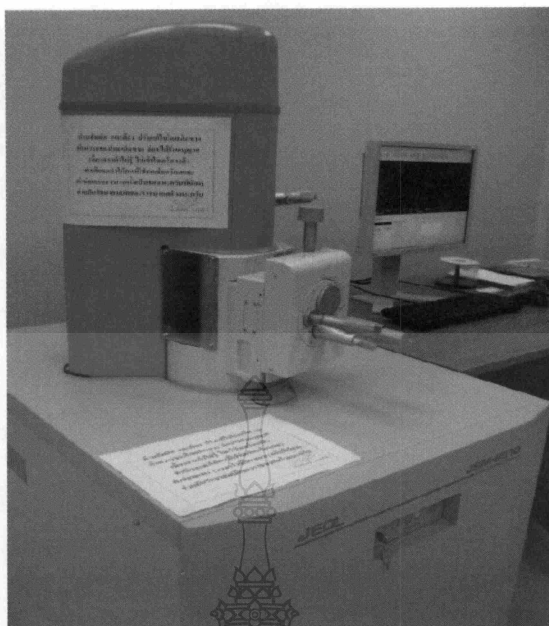
ภาพที่ ง.4 เครื่องทดสอบหาค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)



ภาพที่ ง.5 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Testing Machine)



ภาพที่ ง.6 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength)



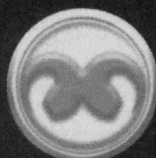
ภาพที่ ๗.๗ เครื่องทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electronic Microscopy, SEM)



ภาคผนวก จ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



Abstract Book



**The 28th International Conference of
Polymer Processing Society
(PPS-28)**

December 11-15, 2012

Pattaya Exhibition and Convention Hall

Royal Cliff Beach Resort

Pattaya, Thailand

Co-organized by

MTEC
a member of NSTDA



ptt
GLOBAL CHEMICAL



◆ Welcoming Remarks by the PPS-28 Chairman ◆

Dear Colleagues,

On behalf of the Organizing Committee, I would like to welcome you all to the 28th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-28) held from December 11 to 15, 2012 in Pattaya, Thailand. As one of the highly acclaimed meetings in the field of polymer processing, the PPS Conference takes place annually in different countries all over the world, with the most recent ones being held in Banff, Canada (2010) and Marrakech, Morocco (2011). It is an honor for Thailand to host the PPS-28 again after 13 years when the Regional Meeting of the PPS was organized in Bangkok during 1-3 December 1999.



Regarding the Conference activities, we are proud to present 2 Honorary Symposia for Professor Musa Kamal and Professor Masuda, 10 General Symposia and 4 Special Symposia. There are also 7 plenary lectures and 25 keynote lectures given by distinguished researchers in the field of polymer processing and rheology. Furthermore, visits to natural rubber plantation and processor and a petrochemical plant are organized for the interests of our guests from overseas. We are also delighted to announce the number of participants to the PPS-28 to be over 500 from around the world. The Organizing Committee is putting in its best effort to organize this event and make it a memorable one.

Lastly, I would like to thank all the sponsors of the PPS-28, without whom it would be difficult to organize a successful international conference. Their contributions are greatly appreciated.

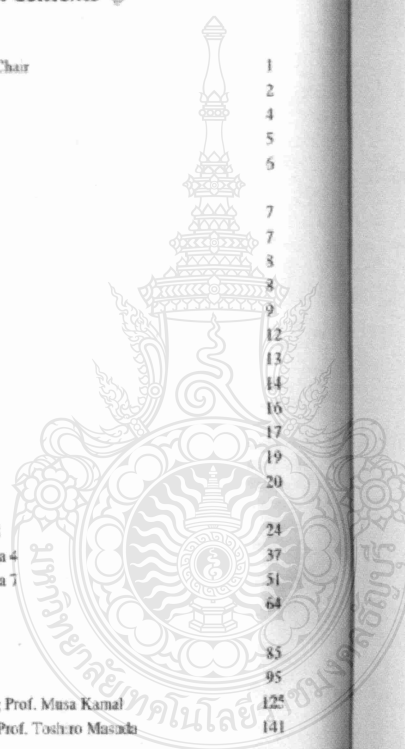
Yours sincerely,

KRISDA SUCHIVA
Chairman of PPS-28

Table of Contents

Welcoming Remarks by the Conference Chair	1
Table of Contents	2
PPS-28 Organizing Committees	4
Polymer Processing Society	5
General and Special Symposia	6
General Information	
❖ Registration	7
❖ Oral Presentation Guideline	7
❖ Poster Presentation Guideline	8
❖ Instruction to the Session Chairs	8
Summary of Events	9
The PPS-28 Venue	12
Exhibitor List	13
Honoring Prof. Musa R. Kamal	14
In Memory of Prof. Toshiro Masuda	16
James L. White Innovation Award	17
Morand Lamba Award	19
Plenary and Keynote Lectures	20
Technical Program Schedule	
❖ Room: Hall A1, Hall A3, Pattaya 1	24
❖ Room: Pattaya 2, Pattaya 3, Pattaya 4	37
❖ Room: Pattaya 5, Pattaya 6, Pattaya 7	51
Poster Session Program	64
Abstracts of PPS-28	
❖ Abstracts of Plenary Lectures	85
❖ Abstracts of Keynote Lectures	95
❖ Abstracts of Symposium Honoring Prof. Musa Kamal	125
❖ Abstracts of Memorial Session of Prof. Toshiro Masuda	141
❖ Abstracts of Oral Presentations	
▪ Session 01: Extrusion and Extrusion Processes	151
▪ Session 02: Blow Molding, Rotomolding and Thermoforming	170
▪ Session 03: Fibers, Films and Foams	177
▪ Session 04: Injection and Microinjection Molding and Molds	203
▪ Session 05: Mixing and Compounding	225
▪ Session 06: Reactive Processing, Polymer Blends and Alloys	239
▪ Session 07: Polymer Composites and Nanocomposites	256

▪ Session 08: Rheology and Rheometry	331
▪ Session 09: Morphology and Structure Development	351
▪ Session 10: Process Modeling and Simulation	376
▪ Session 11: Bio-Based & Biodegradable Polymers and Polymer Recycling	390
▪ Session 12: Food Rheology & Processing	416
▪ Session 13: Natural Rubber & Rubber Processing	420
▪ Session 14: Frontier Processing Technology	437
❖ Abstracts of Poster Presentations	
▪ Session 01: Extrusion and Extrusion Processes	445
▪ Session 02: Blow Molding, Rotomolding and Thermoforming	452
▪ Session 03: Fibers, Films and Foams	464
▪ Session 04: Injection and Microinjection Molding and Molds	491
▪ Session 05: Mixing and Compounding	505
▪ Session 06: Reactive Processing, Polymer Blends and Alloys	510
▪ Session 07: Polymer Composites and Nanocomposites	528
▪ Session 08: Rheology and Rheometry	598
▪ Session 09: Morphology and Structure Development	610
▪ Session 10: Process Modeling and Simulation	625
▪ Session 11: Bio-Based & Biodegradable Polymers and Polymer Recycling	633
▪ Session 13: Natural Rubber & Rubber Processing	654
▪ Session 14: Frontier Processing Technology	668



◆ **PPS-28 Organizing Committees** ◆

Chairman: Krisda Suchiva
Technical Program Chair: Wannee Chinsirikul
Secretariat:

- Witchuda Daud
- Patcharee Larpsuriyakul

Committee Members:

- Asira Fuongfuchat
- Chaiwut Gamonpilas
- Chakrit Sirisinha
- Charoen Nakasan
- Chureerat Prahsarn
- Daranee Aussawasathien
- Ittipol Jangchud
- Nukul Euaphantasate
- Rathawan Magaraphan
- Rittirong Pruthikul
- Surat Areerat
- Suwabun Chirachanchai
- Taweechai Amornsakchai
- Utai Meekum
- Varawut Tangpasuthadol
- Wuttipong Rungseesantivanon

Advisory Members:

- Pailin Chuchottaworn
- John Thomas Harry Pearce

Working Group Members:

- Akrapol Soisungval
- Boonrak Kanjanawarawanich
- Kobkul Amonmongkol
- Ponlathorn Wenunun
- Peerapong Pinwanich
- Thanakorn Chaipotar
- Wangam Weeraphasuk

Webmaster:

- Chompoonud Kanjana
- Sutiwat Khamhaeng
- Sriwan Nuanchan
- Surasit Manlikanin

◆ **Polymer Processing Society** ◆

The Polymer Processing Society was founded in March 1985 at the University of Akron, Ohio, USA; the intent was to provide a mechanism and format for interaction and presentation of research results in the international polymer processing community; the goals are to foster scientific understanding and technical innovation in polymer processing by providing a discussion forum for the worldwide community of Engineers and Scientists in the field. The thematic range encompasses all formulations, conversion and shaping operations applied to polymeric systems in the transformation from their monomeric forms to commercial products.

Membership for the PPS is open to all researchers in the field and to all persons who feel the activities of the society advance their professional development.

PPS website: www.ipps.org

◆ **Executive and International Representatives (2011-2013)** ◆

Executive Officers

- **President:** Ica Manas-Zloczower (USA)
- **Past President:** Takeshi Kikutani (Japan)
- **President-Elect:** Giuseppe Titomanlio (Italy)
- **Secretary:** Evan Mitsoulis (Greece)
- **Treasurer:** M. Cengiz Altan (USA)
- **Member-at-Large:** Sati Bhattacharya (Australia)
- **Member-at-Large:** Mosto Bousmina (Morocco)
- **IPP-Chief Editor:** Andrew Hrymak (Canada)
- **PPP-Chief Editor:** Musa Kamal (Canada)

International Representatives (2011 - 2016, alphabetically)

- | | |
|------------------------------|--|
| • Volker Altstaedt (Germany) | • Shih-Jung Liu (Taiwan) |
| • Phil Coates (UK) | • Y. Menceoglu (Turkey) |
| • Jose Covas (Portugal) | • Paula Moldaneers (Belgium) |
| • Anup K. Ghosh (India) | • Hossein Nazeckdast (Iran) |
| • Elias Hage (Brazil) | • Luiz Antonio Pessan (Brazil) |
| • Laszlo Halasz (Hungary) | • Gerrit W.M. Peters (The Netherlands) |
| • Jean-Marc Haudin (France) | • Hans-Joachim Radusch (Germany) |
| • Clemens Holzer (Austria) | • Petr Saha (Czech Republic) |
| • I. A. Hussein (S. Arabia) | • Krisda Suchiva (Thailand) |
| • Toshitaka Kanai (Japan) | • Uttandaraman Sundararaj (Canada) |
| • Samuel Kenig (Israel) | • Qi Wang (China) |
| • Jin Kon Kim (Korea) | • Marino Xanthos (USA) |
| • Kiyohito Koyama (Japan) | • Xi Xu (China) |

Membership Chair

John Vlachopoulos (Canada)

Webmaster

Miko Cakmak (USA)

Chair of Morand Lambla and James L. White Awards

Mosto Bousmina (Morocco)



General and Special Symposia

General Symposia	Symposium Organizers
Extrusion and Extrusion Processes	J. Vlachopoulos (Canada), J. Covas (Portugal), H. Nazockdast (Iran), N. Euaphantassate (Thailand)
Blow Molding, Rotomolding and Thermoforming	E. Mitsoulis (Greece), S. Kenig (Israel), P. Koombhongse (Thailand)
Fibers, Films and Foams	V. Alstaedt (Germany), C. B. Park (Canada), T. Kanai (Japan), S. Areerat (Thailand)
Injection and Microinjection Molding and Molds	S.-J. Liu (Taiwan), H. Ito (Japan), H. Yokoi (Japan), W. Rungseesantivanon (Thailand)
Mixing and Compounding	I. Manas-Zloczower (USA), A. Isayev (USA), A. Aji (Canada), P. Laokijcharoen (Thailand)
Reactive Processing, Polymer Blends and Alloys	H.-J. Radusch (Germany), J. K. Kim (Korea), R. Magaraphan (Thailand)
Polymer Composites and Nanocomposites	M.C. Altan (USA), P. Pötschke (Germany), M. Okamoto (Japan), S. S. Ray (South Africa), S.C. Jana (USA), UT Sundararaj (Canada), E. Thostenson (USA), A.-M. Sahar (UK), D. Aussawasathein (Thailand), R. Pruthikul (Thailand), B. Mai-ngam (Thailand)
Rheology and Rheometry	P. Moldaneers (Belgium), M. Bousmina (Morocco), J. Maia (USA), A. Fuongfuchat (Thailand)
Morphology and Structure Development	M. Cakmak (USA), G.W.M. Peters (Netherlands), C. Prabsarn (Thailand), G. Tjomenlio (Italy)
Process Modeling and Simulation	A.N. Hrymak (Canada), J.-F. Agassant (France), P. Anderson (Netherlands), P. Larpsuriyakul (Thailand)
Special Symposia	Symposium Organizers
Bio-Based & Biodegradable Polymers and Polymer Recycling	M. Huneault (Canada), L. A. Pessan (Brazil), P. Saha (Czech Republic), M. Yamaguchi (Japan), V. Tangpasuthadol (Thailand)
Food Rheology & Processing	T. Sajiinantakul (Thailand), P. Hongsrabhas (Thailand), C. Gamonpilas (Thailand)
Natural Rubber & Rubber Processing	A.K. Ghosh (India), C. Sirisinha (Thailand), K. Suchiva (Thailand), C. Nakasan (Thailand), P. Sea-oui (Thailand)
Frontier Processing Technology	M. Kamal (Canada), S. Bhattacharya (Australia)
Symposium Honoring Prof. Musa Kamal	UT Sundararaj (Canada), D. Kalyon (Canada)
Memorial Session of Prof. Toshiro Masuda	T. Takigawai (Japan)

General Information

Registration

The conference registration desk is located in the west foyer on the third floor of the Pattaya Exhibition and Convention Hall (PEACH). The service hours are:

Tuesday, December 11 th	From 15:00 to 18:00
Wednesday, December 12 th	From 08:00 to 18:00
Thursday, December 13 th	From 08:00 to 18:00
Friday, December 14 th	From 08:00 to 18:00
Saturday, December 15 th	From 08:00 to 12:30

Oral Presentation Guideline

I. Presentation Time:

- Oral Presentation Time : 20 min. (Including Q&A)
- Keynote Presentation Time : 30 min. (Including Q&A)
- Plenary Presentation Time : 45 min. (Including Q&A)

II. Presentation Equipment:

- Each presentation room will be equipped with a notebook (PC only, no MAC) connected to LCD projector, laser pointer and microphones. If you require other audio visual equipment, please contact conference secretariat.
- Presentation slides should be made in MS Power point file for smooth operation.
 - If you use your own laptop of Macintosh computer, please inform the secretariat in advance by email (PPS28-secretariat@mtc.or.th) or at least 4 hours before your presentation.
- Internet access will not be provided in session rooms.

III. Submitting the Presentation File:

Presenters are requested to directly submit the final presentation files stored in a standard media (USB or CD-ROM) to the PPS-28 staff in the designated session room before the session begins. Our staff will assist you to load your file on the conference computer. For those who wish to use their own notebook computers, please verify the compatibility before their sessions.

Poster Presentation Guideline

I. Poster Guideline:

The poster title, author(s)'s name(s) and affiliation(s) should be placed at the top of the poster. The recommended printed size for title is 2.5 - 5 cm. (1 - 2 inches) in height. All illustrations, charts and pictures should be visible from a distance of 1.5 m. The poster dimensions are 90 cm. (~ 36 inches) width 120 cm. (~ 48 inches) height.

II. Poster Area:

Poster session will be held in **Terrace A & B of the Pattaya Exhibition and Convention Hall (PEACH)**. Each display board will be identified by a poster number assigned to each presentation according to the conference program. Poster presenters are responsible for mounting and removing their posters themselves. Equipment to fix the posters on the boards will be provided at the poster area. Posters should be placed on the display board in the morning of 12 December 2012 (08:00 - 12:00).

III Presentation Time:

Posters will be available for viewing throughout the conference and must be taken down by 10:00 on 15 December 2012. Formal poster viewing will take place on **December 12, 2012 from 16:30 - 18:30** (after afternoon break). Poster presenters are asked to be available for discussion at their posters during the formal poster session. All delegates are encouraged to attend. There will be no audio-visual equipment for Poster Session.

Instruction to the Session Chairs

- The Chair of the Session will obtain a short CV OF THE SPEAKER before the session starts from the conference staff at the session room or from secretariat.
- Introduce yourself (name and affiliation) & then introduce shortly the speaker.
- Time of the presentation are as follows:
 - Oral Presentation Time : 20 min. (Including 5 min. Q&A)
 - Keynote Presentation Time : 30 min. (Including 5 min. Q&A)
 - Plenary Presentation Time : 45 min. (Including 5 min. Q&A)
- Members of the support team will be in the room to help the Chair with all the tasks.
- Each presentation room will be equipped with a notebook (PC only, no MAC) connected to LCD projector, laser pointer and microphones.
- All presentations will be uploaded by the supporting team before the session.

IMPORTANT!!

- Please respect strictly the timing as indicated on the program.
- If a speaker is not present to give his/her lecture, please do not change the time order of the next presentation. Do strictly keep the schedule as printed on the program.

Summary of Events

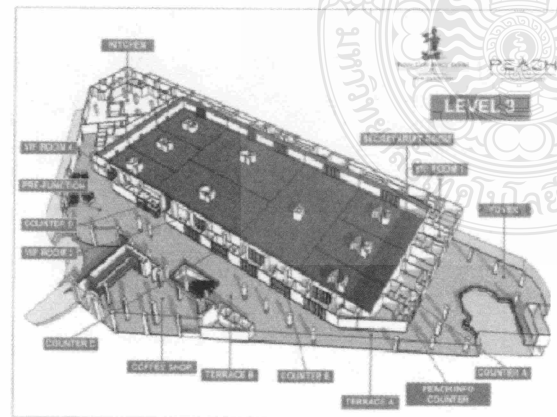
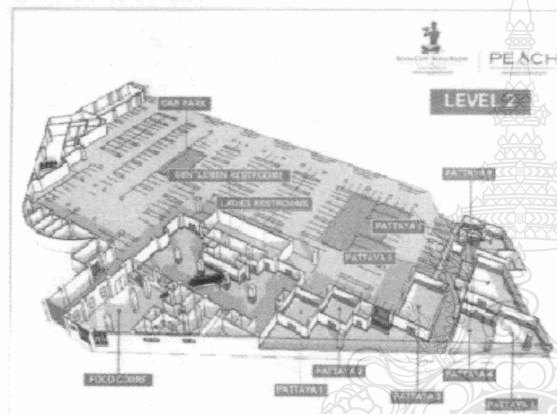
Date	Time	Event	Location
Tuesday, December 11	10:00-17:00	Executive Committee Meeting	Orchid Room A Royal Cliff Grand Hotel & Spa
	15:00-18:00	Registration	West Foyer, PEACH
	18:30-20:30	Welcome Reception	Roof Top Cliff Terrace Royal Cliff Grand Hotel & Spa
	08:00-18:00	Registration	West Foyer, PEACH
	08:30-08:50	Opening Ceremony	Hall A, PEACH
	08:50-09:40	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
Wednesday, December 12	09:40-10:30	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
	10:30-10:50	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	10:50-12:20	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	12:20-13:30	Lunch	Coffee Shop & Food Court, PEACH
	13:30-14:20	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
	14:30-16:10	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
Thursday, December 13	16:10-16:30	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	16:30-18:30	Poster Session	Terrace A & B, PEACH
	08:00-18:00	Registration	West Foyer, PEACH
	08:30-09:20	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
	09:30-10:40	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	10:40-11:00	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	11:00-12:20	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	12:20-13:30	Lunch	Coffee Shop & Food Court, PEACH

Date	Time	Event	Location
Thursday, December 13	13:30-14:20	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
	14:30-15:50	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	15:50-16:10	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	16:10-17:50	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	19:00-22:00	Dinner Banquet	Infini Pool, Royal Cliff Beach Hotel
Friday, December 14	08:00-18:00	Registration	West Foyer, PEACH
	08:30-09:20	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
	09:30-11:00	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	11:00-11:20	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	11:20-12:40	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	12:40-13:30	Lunch	Coffee Shop & Food Court, PEACH
	13:30-18:00	Site Visits	Thai Eastern Rubber Plant PTT Global Chemical Plant
	08:00-12:30	Registration	West Foyer, PEACH
	08:30-09:20	Plenary Lecture	Hall A, PEACH
Saturday, December 15	09:30-10:50	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	10:50-11:10	Coffee Break	West Foyer and Level 2 Hall, PEACH
	11:10-12:30	Technical Program	Various Conference Rooms, PEACH
	12:30-13:00	Closing Ceremony	Hall A, PEACH
	13:00-14:00	Lunch	Coffee Shop & Food Court, PEACH

◆ Parallel Sessions ◆

Room	Symposia
Hall A1	MK - Symposium Honoring Prof. Musa Kamal
	07 - Polymer Composites and Nanocomposites
Hall A3	07 - Polymer Composites and Nanocomposites
	06 - Reactive Processing, Polymer Blends and Alloys
Pattaya 1	07 - Polymer Composites and Nanocomposites
	10 - Process Modeling and Simulation
Pattaya 2	01 - Extrusion and Extrusion Processes
	02 - Blow Molding, Rotomolding and Thermoforming
Pattaya 3	14 - Frontier Processing Technology
	TM - Memorial Session of Prof. Toshiro Masuda
Pattaya 4	03 - Fibers, Films and Foams
	07 - Polymer Composites and Nanocomposites
Pattaya 5	07 - Polymer Composites and Nanocomposites
	09 - Morphology and Structure Development
Pattaya 6	13 - Natural Rubber & Rubber Processing
	08 - Rheology and Rheometry
Pattaya 7	13 - Natural Rubber & Rubber Processing
	05 - Mixing and Compounding
	11 - Bio-Based & Biodegradable Polymers and Polymer Recycling
	04 - Injection and Microinjection Molding and Molds
	05 - Mixing and Compounding
	12 - Food Rheology & Processing

The PPS-28 Venue
Pattaya Exhibition and Convention Hall (PEACH)



Exhibitor List



Booth Number	Company Name
1	Total Inology Co., Ltd
2	Plastics Institute of Thailand
3	TA Instruments
4	Core Tech System Co., Ltd.
5	DSM Xplore
6	Mettler-Toledo (Thailand) Limited
7	BLT /RTP (SG)
8	Polyplastics Marketing (T) Limited
9	LMS Instruments Co., Ltd.
10 - 11	Salee Industry Public Company Limited
12	Tosoh Asia Pte Ltd
13	TechnoBiz Communications Co., Ltd.
14 - 15	PTT Global Chemical Public Company Limited
16 - 17	IRPC Public Company Limited
18	National Metal and Materials Technology Center & Polymer Society of Thailand

11: Bio-Based & Biodegradable Polymers and Polymer Recycling

O-11-638

Development of Polymer Blends of Poly(Lactic Acid) and Poly(Butylene Succinate) Using Talcum as Additive for Injection Molding Applications

Weraporn Pivsa-Art^{a*}, Supaphorn Thumsorn^b, Juraivan Ratanapisit^a, Hideki Yamane^c and Hitomi Ohara^c

^a Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering,

^b Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand

^c Department of Biobased Materials Science, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan

Polymer blends of poly(lactic acid) (PLA) and poly(butylene succinate) (PBS) were prepared and subjected to injection molding process. However, the hinge of the packaging was still one of the main problem for packaging. Talcum ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) was added to the blends as additive to increase the toughness of the polymer blends with amount of 1, 2, 4, and 6 wt%. The blending process was carried out using a twin-screw extruder at 170-190 °C and screw speed of 80 rpm. The polymers were blended with ratio of PLA:PBS of 100:0, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, and 0:100 by weight. The blends were subjected to thermal, mechanical, and physical properties investigation. The morphology and thermal properties of the blend were studied using scanning electron microscopy (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC) techniques, respectively. The blend of PLA and PBS with ratio 80:20 and 4 wt% of talcum showed highest tensile strength, elongation at break, impact strength and melt flow index. The DSC results showed separation peaks of each melting temperatures of two polymers. The scanning electron microscopy analysis showed increasing of dispersion of PBS phase into the PLA matrix. It was found that talcum was a good toughener for polymer blends of PLA and PBS. The polymer blends were subjected to injection molding to compare the hinge of packaging product fabrication process.

Keywords: Poly(lactic acid), poly(butylene succinate), Talcum, injection molding process, biodegradable polymer

*Corresponding Author: Weraporn Pivsa-Art, weraporn.p@en.rmutt.ac.th

O-11-638

DEVELOPMENT OF POLYMER BLENDS OF POLY(LACTIC ACID) AND POLY(BUTYLENE SUCCINATE) USING TALCUM AS ADDITIVE FOR INJECTION MOLDING APPLICATIONS

W. Pivsa-Art¹, S. Thumsorn², J. Ratanapisit¹, H. Yamane³ and H. Ohara³

¹Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand - weraporn.p@en.rmutt.ac.th, juravivan.r@en.rmutt.ac.th

²Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand - supaphorn.t@rmutt.ac.th

³Department of Biobased Materials Science, Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan - hyamane@kit.ac.jp, ohara@kit.ac.jp

Abstract - Polymer blends of poly(lactic acid) (PLA)/poly(butylene succinate) (PBS) were prepared via the twin screw extrusion process with ratios of PLA/PBS of 90:10, 80:20 and 70:30. Talc has been added to improve mechanical properties and reduce production cost. The amount of talc was varied from 5 to 20 wt% of the polymer matrix. The blends with talc additives were compressed at 220°C and samples were subjected to physical and mechanical property analysis. Addition of talc had no significant effect to melt flow of PLA/PBS blend systems. Morphology investigation revealed well distribution of talc in the polymer matrix. Modulus of the blends increased while increasing the amount of talc additives. The impact strength of the blends was not significantly reduced with addition of talc but slightly increased with 5wt% of the mineral additive. The results of physical and mechanical investigation confirmed adequate properties for injection molding applications.

Keywords Poly(lactic acid), poly(butylene succinate), talcum, additive, injection molding

Introduction

Recently, poly(lactic acid) (PLA) has become a polymer of large interest not only in the traditional areas of biomedical and pharmaceutical applications but also in the commodity area, i.e. mainly packaging applications. Indeed PLA has biodegradability, annually renewable availability, and process ability following standard melt processes such as injection moulding, film blowing or melt spinning [1,2]. However, application of PLA is limited due to its brittleness and melt viscosity for processing. Therefore, blending of PLA with higher toughness biodegradable polymer will overcome the problems and may enhance process ability of the polymer blends. Poly(butylene succinate) (PBS) is one of the aliphatic polyesters having good potential to blend with PLA.

Poly(butylene succinate) (PBS) is known under the trade name 'Bionolle', synthesized through the polycondensation reaction of 1,4-butanediol, and succinic acid [3-5]. This white crystalline thermoplastic polymer exhibits not only a melting point similar to that of low-density polyethylene (LDPE), but also glass transition temperature (T_g) and tensile strength between those of polyethylene (PE) and poly(propylene) (PP), and stiffness between that of LDPE and high density polyethylene (HDPE). In addition, this biodegradable polymer possesses satisfactory strength and toughness, close to those of LDPE, which is considered highly promising as a commercial commodity polymer [6-7].

However, the polymer blends of PLA and PBS still show insufficient mechanical and thermal properties as well as high production cost of biodegradable polymer components. Therefore,

addition of inorganic additive is considered to be one of the most effective methods.

Talc or talcum is an organophilic inorganic filler, water repellent and chemically inert mineral, which is widely used as polymer additive including biodegradable polymer. Lamellar talc with high aspect ratio improves the deflection temperature of polyolefins to a greater extent than talc with a lower aspect ratio. Moreover, talc is water repellent and chemically inert which is very important for the direct contact of mineral filled packaging material with food-stuffs [8]. We have studied the addition of talcum to the polymer blends of PLA and PBS to improve various properties and lower the production cost. Talcum will not only enhance the polymer properties but also acting as the nucleating agent.

Experimental

Materials

Poly(lactic acid) (3052D) and Poly(butylene succinate) (1020MD, Bionolle™) were commercial grades supplied by Nature Works LLC, and Showa Denko K.K., respectively. Fine talc powder (Micro ACE series P-3) with an average particle size of 5 μm was purchased from Nippon Talc CO., Ltd.

Methods

Prior to mixing, PLA and PBS were dried at 80 °C under vacuum for 12 h and talcum was dried at 100 °C under vacuum for 6 h. The polymer blend according to Table 1 were compounded by simultaneous addition of all components to twin-screw extruder. PLA and PBS blends were prepared with weight percentage ratios and talcum was added to the

blends. The temperature profile during compounding of all blends was 170-190 °C. The screw rotation speed was fixed at 70 rpm. The extruded materials were prepared into standard tensile, hardness and impact specimens by compression moulding using compression mould of 20 x 20 x 0.03 cm and a hot-plate hydraulic press at 220°C and allowed to cool to room temperature under pressure.

Table 1 Compositions of PLA/PBS blends

PLA	100	90	80	70	0
PBS	0	10	20	30	100
Talcum		5, 10, 20			

Analysis

1. Rheology

The PLA, PBS and polymer blend samples with specified amount are preheated for 5 min at 210°C before analysis. The standard compress weight was 2.16 kg.

2. Morphology

The morphology of samples from impact tests were analyzed by a scanning electron microscopy (SEM) (JEOL JSM-6510).

3. Mechanical property

Tensile Testing

The tensile test was carried out at a rate of 10 mm/min according to ASTM D638. The samples were compression molded Standard type I dumbbell-shaped samples with a thickness of 3.0 mm.

Impact Strength Testing

The samples were compression molded Standard shaped samples (ASTM D256) with a thickness of 3.2 mm. A pendulum swings on its track and strikes at a notched, cantilevered plastic sample. The energy lost (required to break the sample) as the pendulum continues on its path is measured from the distance of its follow through.

Results and Discussion

Melt flow Index

Melt flow index (ASTM D256) of PLA, PBS, polymer blends and polymer blends with talcum additives are shown in Fig 1.

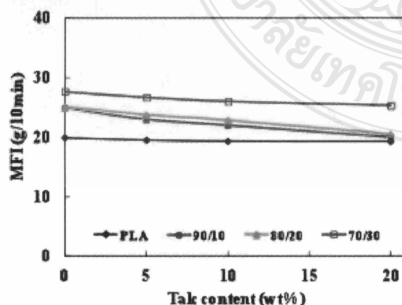


Figure 1 Melt Flow Index

The addition of talc in PLA, and PLA/PBS polymer blends did not change the melt flow of polymer significantly. Although PLA is easily degraded at high temperature but the results confirmed that talc stabilized the thermal stability of polymers. The melt flow of PBS was too high compared with PLA and polymer blends.

Morphology

The morphology of the polymer blends were investigated using scanning electron microscopy (SEM) [7, 9]. Figure 2 shows the SEM photo of PLA/PBS blends without talc. PLA and PBS pure is clear. As the PBS wt% increases, the phase separation is quite evident in these blends.

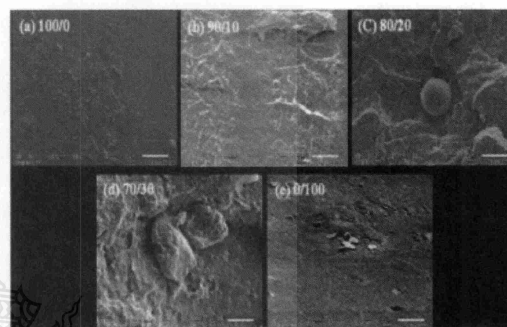


Figure 2 SEM photographs of PLA/PBS blends (a) PLA, (b) 90/10, (c) 80/20, (d) 70/30, (e) PBS (scale bar is 10 µm)

Figure 3, 4 and 5 show morphology and dispersion of talc with 5, 10 and 20%wt in PLA/PBS polymer blend matrix, respectively.

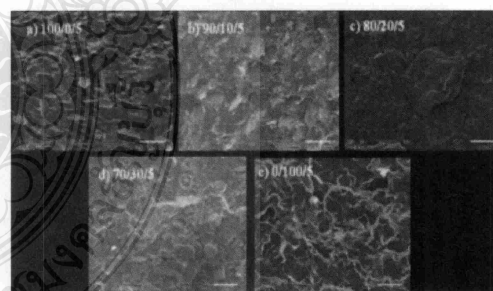


Figure 3 SEM photographs of PLA/PBS blends (a) PLA, (b) 90/10, (c) 80/20, (d) 70/30, (e) PBS with talc 5 wt% (scale bar is 10 µm).

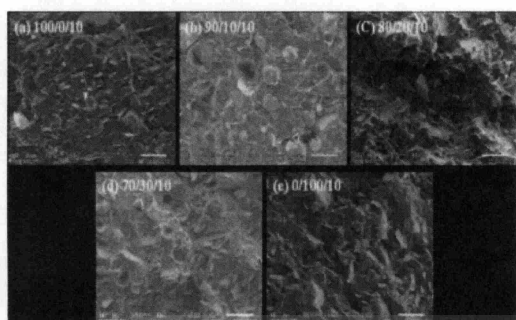


Figure 4 SEM photographs of PLA/PBS blends (a) PLA, (b) 90/10, (c) 80/20, (d) 70/30, (e) PBS with talc 10 wt% (scale bar is 10 μm).

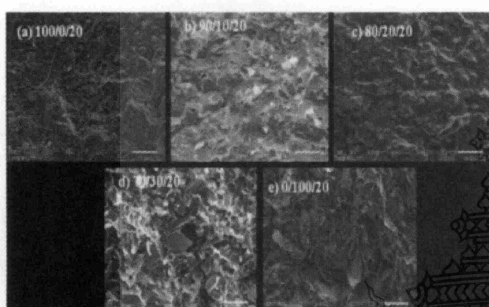


Figure 5 SEM photographs of PLA/PBS blends (a) PLA, (b) 90/10, (c) 80/20, (d) 70/30, (e) PBS with talc 20 wt% (scale bar is 10 μm).

The SEM photographs show similar morphology of distribution of talc 5 to 20 wt%. The structure of talc was well dispersed in the polymer blend matrix in all samples. Talc consists of a layer or sheet of brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) sandwiched between two sheets of silica (SiO_2) [5]. The lamellar structure of talc improves the strength of polymer more than the particle fillers [10].

Tensile tests

Tensile strength analysis were performed at 25°C (room temperature) to study tensile strength and tensile modulus of the polymer blends with talc additives. All tests were done according to ASTM D638 standard. Tests of neat PLA, neat PBS and polymer blends were carried out with a crosshead speed of 10 mm/min. Property values reported here represent an average of the results for tests run on ten specimens.

The addition of PBS in PLA decreases the tensile modulus of the blends because PBS is a soft polymer having lower modulus. It was found that addition of talc increased the tensile modulus of the polymer blends clearly.

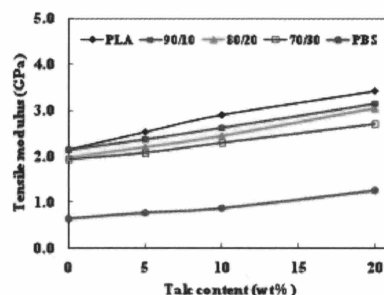


Figure 6 Tensile modulus of PLA/PBS blends with addition of talc 5, 10, 15 and 20 wt%.

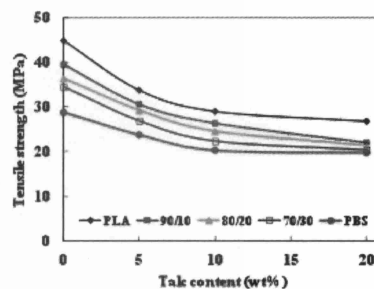


Figure 7 Tensile Strength of PLA/PBS blends with addition of talc 5, 10, 15 and 20 wt%.

Figure 7 shows tensile strength of PLA/PBS blends and PLA/PBS blends with talc 5, 10, 15 and 20 wt%. It was found that the strength decreased with increasing amounts of talc. The phenomena may due to weak adhesion of talc to the polymer matrix as can be seen from the SEM pictures. The addition of PBS to PLA formed the phase separation of two polymers.

Izod Impact Strength

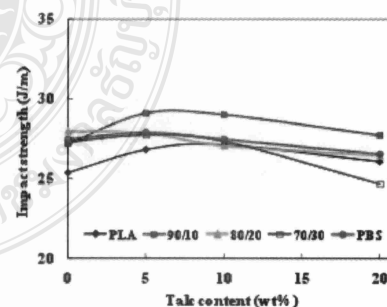


Figure 8 Izod impact strength tests of PLA/PBS blends with talc additive.

Figure 8 shows impact strength of PLA, PBS and PLA/PBS blends with talc. Higher PBS contents polymer show increase of impact strength due to flexibility of PBS. The addition of talc did not reduce the impact property of the blend but slightly increased with 5 and 10 wt% of talc. The results may be due to the lamella structure of talc distributed in the polymer matrix absorbed and dispersed the impact force.

Conclusions

The effect of talc additive to the physical and mechanical properties of polymer blends of poly(lactic acid) (PLA)/poly(butylene succinate) (PBS) were investigated. The amount of talc studied was 5 to 20 wt% respected to the polymer weight. Melt flow of polymer blend was unchanged significantly with the amount of talc additions which can be implied with the stabilization of polymer of talc. Morphology investigation showed well distribution of talc in the polymer matrix. Modulus of the blends increased while increasing the amount of talc additives. The impact strength of the blends was not significantly reduced with increasing amounts of talc. The physical and mechanical investigation confirmed adequate properties for injection molding applications.

Acknowledgements

Department of Chemical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, THAILAND

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, THAILAND

Department of Biobase Materials Science, Kyoto Institute of Technology, JAPAN

References

1. R. Auras, B. Harte, S. Selke *J. Mac. Bio.* 2004, 9, 835-64.
2. F. Signori, M. B. Coltelli, S. Bronco *J. Polymer Degradation and Stability.* 2009, 94, 74-82.
3. Bhari, K, H. Mitomo, T. Enjoji, F. Yoshii and K. Makuuchi *J. Polymer Degradation Stability.* 1998, 62, 551-557
4. Doi, Y, K. Kasuya, H. Abe, N. Koyama, S. Ishiwatara, K. Takagi and Y. Yoshida. *J. Polymer Degradation Stability.* 1996, 51, 281-286.
5. A. Bhatia, R. K. Gupta, Sati. N. Bhattacharya and H. J. Choi *J. Korea-Australia Rheology.* 2007, 19, 125-131.
6. T. Ujimaki. *J. Polym Degrad Stab.* 1998, 59, 209.
7. Y.F. Shih, L.S. Chen, R.J. Jeng. *J. Polymer.* 2008, 49, 4602-4611
8. <http://www.mondominerals.com>. Technical Bulletin 1301. *Talc in Plastics.* Mondo Minerals B.V.
9. L. Bokobza. *J. Polymer.* 2007, 48, 4907

10. B. Sornil. *Plastic Technology.* Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2003.



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ,

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางวีราภรณ์ ผิวสอาด
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 1 เมษายน 2522
ที่อยู่	31/400 หมู่ 1 ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2539	สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2545 - 2546	ตำแหน่งอาจารย์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเชียงราย
พ.ศ. 2546 - 2547	ตำแหน่งอาจารย์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตหันตรา
พ.ศ. 2548 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

