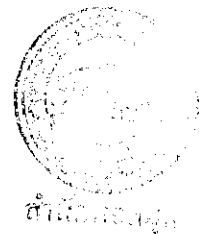


อธิการบดีมหาวิทยาลัย



การเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งดัดแปรผสมพอลิবিริลีนซัคซิเนต
PREPERATION OF BIODEGRADABLE FILM FROM THERMOPLASTIC STARCH
AND POLYBUTYLENE SUCCINATE BLENDS

นางสาวปวีณา	ถาดิบ	รหัสสถิติ	56364533
นางสาวภัทรา	สีบวงษา	รหัสสถิติ	56364564
นางสาวศุภนิดา	อินทร์จันทร์	รหัสสถิติ	56364694
นางสาวสุธีรา	งามขำ	รหัสสถิติ	56364724

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	
วันลงทะเบียน	02 ก.พ. 2559
เลขทะเบียน	19222518
เลขเรียกหนังสือ	15 446.ก

๒๕๕๙

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

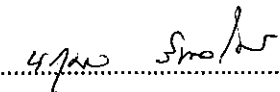
ปีการศึกษา 2559

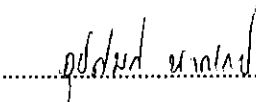


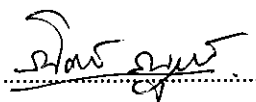
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งดัดแปรผสม พอลิবিธีลีนซัคซิเนต	
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นางสาวปวีณา ภาตธิ์	รหัสนิสิต 56364533
	นางสาวภัทรา สีวงษา	รหัสนิสิต 56364564
	นางสาวศุภนิดา อินทร์จันทร์	รหัสนิสิต 56364694
	นางสาวสุธีรา งามขำ	รหัสนิสิต 56364724
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร.นฤมล สีพลไกร	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2559	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ


.....ที่ปรึกษาโครงการงาน
(ดร.นฤมล สีพลไกร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุปถัมภ์ นาครักษ์)


.....กรรมการ
(ดร.ปิยนันท์ บุญยัคฆ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การเตรียมฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งดัดแปรผสม พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวปวีณา ภาติบ	รหัสสถิติ 56364533
	นางสาวภัทรา สีบวงษา	รหัสสถิติ 56364564
	นางสาวศุภนิดา อินทร์จันทร์	รหัสสถิติ 56364694
	นางสาวสุธีรา งามขำ	รหัสสถิติ 56364724
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นฤมล สีพลไกร	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2559	

บทคัดย่อ

พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate,PBS) ผสมกับแป้งดัดแปร (Thermoplastic starch,TPS) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลและลดการดูดน้ำของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งดัดแปรผสมกับพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต เพื่อดูความเข้ากันระหว่าง TPS กับ PBS โดยเตรียม TPS จากการผสมแป้งข้าวเจ้าต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70:30 (โดยน้ำหนัก) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว และทำการผสม PBS:TPS ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวและอัดขึ้นรูปฟิล์มโดยเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์ม 120-125 ไมโครเมตร จากผลการทดลองพบว่า การผสมทำให้สมบัติทางกลของ TPS ดีขึ้นการดูดน้ำและการละลายน้ำของฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มอัตราส่วน PBS อย่างไรก็ตามการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มมีค่าต่ำเนื่องจากความเข้ากันได้ของ PBS:TPS ลดลง โดย PBS:TPS ที่อัตราส่วน 40:60 มีสมบัติทางกลและความเข้ากันของฟิล์มให้ค่าดีที่สุด ผลการเติมกรดซิตริกเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ พบว่าให้สมบัติเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ฟิล์มผสมที่ได้อาจพัฒนาเพื่อใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

Project title	Perpetration of biodegradable film from thermoplastic starch and polybutylene succinate blends	
Name	Ms. Paweena Thatip	ID. 56364533
	Ms. Phatthra Suebwongsa	ID. 56364564
	Ms. Supanida Inchan	ID. 56364694
	Ms. Suteera ngamkham	ID. 56364724
Project advisor	Dr. Narumon Seeponkai	
Major	Materials Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2016	

Abstract

Poly(butylenes succinate)(PBS) was blended with thermoplastic starch (TPS) to improve the mechanical and reduce water absorption properties of the starch-base film. During to enhance the miscibility between TPS and PBS. TPS was prepared from mixing of mung bean starch and glycerol at ratio 70:30, by using single screw extruder. Difference ratios of PBS:TPS were mixed by using single screw extruder and compress to film by compression molding machine to obtained film thickness 120-125 μm . From the results it was found that, by blending with PBS the mechanical properties of TPS were improved, the water absorption and water soluble of the blend were significantly decreased with increasing PBS ratios. However, the elongation of the blend film was low due to the poor of compatibility of PBS:TPS. The ratios at 40:60 of PBS:TPS showed the good in mechanical properties and compatibility. By additive citric acid as a compatibilizer could be slightly changed in properties. The blend film might be developed to use as a green packaging film.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามความหวังของผู้เขียนได้ เนื่องมาจากความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณยิ่ง กราบขอบพระคุณ ดร.นฤมล สีพลไกร ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษา และเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการ และกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมอีกสองท่าน ท่านแรก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุปลัมภ์ นาครักษ์ ที่ช่วยชี้แนะแนวความคิดที่ลึกซึ้ง ตลอดจนประสบการณ์อันมีค่าของท่านมาใช้เป็นแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ อีกท่านกราบขอบพระคุณ ดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ช่วยสนับสนุนด้านการเรียนและคอยให้กำลังใจทุกเวลาที่เหนื่อยล้าจากการเรียนผ่านพ้นไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่าน และมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มอบวิชาความรู้ทั้งปวงให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งมีวันนี้ได้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวปวีณา ถาดิ๊บ

นางสาวภัทรา สืบวงษา

นางสาวศุภนิดา อินทร์จันทร์

นางสาวสุธีรา งามขำ

พฤษภาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
 บทที่ 1 บทนำ.....	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	2
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
 บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	 4
2.1 หลักการเกี่ยวกับพอลิเมอร์.....	4
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	7
2.3 แป้งดัดแปร.....	10
2.4 พอลิเมอร์ผสม.....	12
2.5 ถั่วเขียว.....	15
2.6 กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	18
2.7 กระบวนการขึ้นรูป.....	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 กาทดสอบ.....	23
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	29
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	29
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	29
3.3 วิธีการทดลอง.....	30
3.4 การทดสอบ.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 การผสม การขึ้นรูป และการกระจายตัว.....	36
4.2 การทดสอบการดูดน้ำและการทดสอบการละลายน้ำ.....	38
4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	41
4.4 การปรับปรุงความเข้ากันได้.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	53
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว และแป้งถั่วเขียว.....	16
(คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง)	
3.1 อัตราส่วนร้อยละของ PBS : TPS 0.....	30
3.2 อัตราส่วนร้อยละของ TPS : กลีเซอรอล : กรดซิตริก.....	30
3.3 อัตราส่วน PBS : TPS	31
3.4 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลีนซัคซิเนต (PBS).....	8
2.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพต้นแบบ 1) ชีทอ่อนตัว 2) จานรองแก้ว.....	12
3) ถาด 4) ถ้วย 5) กระป๋องพร้อมฝาเกลียว และ 6) ฟิล์มเป่าสำหรับผลิตถุง	
2.3 ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งผลึกของเม็ดแป้ง.....	17
2.4 โครงสร้างทางผลึกชนิด A และ B.....	17
2.5 วัฏจักรของพลาสติกชีวภาพ.....	18
2.6 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	21
2.7 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	21
2.8 เครื่องอัดขึ้นรูป.....	22
2.9 เครื่องทดสอบแรงดึง และรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ.....	23
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง.....	24
2.11 ลักษณะของชิ้นทดสอบบริเวณที่จับ และบริเวณการยึดออก.....	24
3.1 เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	31
3.2 เครื่อง Compression	32
3.3 แผนการดำเนินงานในโครงการ.....	33
3.4 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine.....	34
3.5 ตัวอย่างชิ้นงาน.....	34
3.6 การแช่น้ำเพื่อนำไปคำนวณหาค่าร้อยละการดูดน้ำและร้อยละการละลายน้ำ.....	35
4.1 แผ่นฟิล์มของพอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากแป้งถั่วเขียว (PBS : TPS).....	37
1) 0:100 2) 10:90 3) 20:80 4) 30:70 5) 40:60	
4.2 แผ่นฟิล์มของพอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากแป้งถั่วเขียว (PBS : TPS).....	38
6) 50:50 7) 60:40 8) 70:30 9) 80:20 10) 90:10 11)100:0	
4.3 กราฟเปรียบเทียบการดูดน้ำของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ	39
4.4 กราฟเปรียบเทียบการละลายน้ำของ PBS : TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ	40
4.5 กราฟ Tensile Strength ของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ	41

สารบัญ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟการยืดตัว ณ จุดขาด ของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ	42
4.7 แผ่นฟิล์มของพอลิবিวิธีสั่นชักขึ้นต่อแบ่งตัดแปรจากแบ่งถั่วเขียว (PBS:TPS).....	43
1) 40:60 2) 40:60 (กรดซิตริกร้อยละ 2)	
4.8 กราฟการทดสอบการดูดน้ำของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2.....	44
4.9 กราฟการทดสอบการละลายน้ำของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2.....	45
4.10 กราฟ Tensile Strength ของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2.....	46
4.11 กราฟการยืดตัว ณ จุดขาดของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลายและมีปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยดูได้จากปริมาณการผลิตพลาสติกของบริษัทชั้นนำต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเกษตร แม้ว่าพอลิเมอร์จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ไม่เกิดสนิม มีน้ำหนักเบา สามารถแต่งเติมสีส่นได้ และสามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น กระจกพลาสติกใช้ระยะเวลา 450 ปี ในการย่อยสลาย โฟมใช้ระยะเวลานานมากไม่สามารถระบุได้ [1] จึงเกิดการสะสมของขยะพอลิเมอร์ขึ้นถ้า นำขยะพอลิเมอร์ไปทำลายโดยการเผาจะได้แก๊สที่เป็นพิษซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นเหตุหนึ่งของการเกิดสภาวะโลกร้อน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้มาเป็นทางเลือกในการใช้งาน พลาสติกกลุ่มนี้จะสามารถย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมทางธรรมชาติ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์ [2]

โดยในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาพลาสติกย่อยสลายได้ของพอลิไวนิลซัคซิเนต (PBS) เนื่องจากมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอธิลีนและความเหนียว ความยืดหยุ่นที่ดี [2] โดยจะนำมาผสมกับแป้งดัดแปรจากแป้งถั่วเขียว และศึกษาความสามารถในการผสมกันของพอลิไวนิลซัคซิเนตและแป้งดัดแปรที่สัดส่วนต่าง ๆ พร้อมทั้งทำการศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการผสมกันของพอลิไวนิลซัคซิเนตและแป้งดัดแปร โดยทำการเติมกรดซิตริกและศึกษาสมบัติเชิงกลที่ได้หลังจากทำการขึ้นรูป เช่น ทดสอบสมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด ความแข็งแรง การดูดน้ำ และละลายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการเตรียมแบ่งตัดแปรจากแบ่งถั่วเขียว
- 1.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมพอลิวิธิลีนซัคซิเนตกับแบ่งตัดแปร
- 1.2.3 ศึกษาการขึ้นรูป และทดสอบสมบัติของฟิล์มพอลิวิธิลีนซัคซิเนตที่ผสมแบ่งตัดแปร
- 1.2.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มจากการผสมพอลิวิธิลีนซัคซิเนตกับแบ่งตัดแปร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถเตรียมแบ่งตัดแปรจากแบ่งถั่วเขียวได้
- 1.3.2 ทำการขึ้นรูปฟิล์มพอลิวิธิลีนซัคซิเนตที่ผสมแบ่งตัดแปรที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้
- 1.3.3 ได้ฟิล์มพอลิวิธิลีนซัคซิเนตที่ผสมกับแบ่งตัดแปรสมบัติที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 เตรียมแบ่งตัดแปรจากแบ่งถั่วเขียว
- 1.4.2 ทำการผสมแบ่งตัดแปรที่ได้กับพอลิวิธิลีนซัคซิเนตที่อัตราต่าง ๆ
- 1.4.3 ทำการขึ้นรูปฟิล์มและทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ได้ โดยการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดน้ำและละลายน้ำ

1.5 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ลำดับ ที่	การดำเนินงาน	ส.ค	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
		พ.ศ. 2559					พ.ศ. 2560				
1.7.1	ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
1.7.2	ออกแบบและวางแผนการทดลอง										
1.7.3	เตรียมแป้งตัดแปรจากถั่วเขียวและทำการผสมเข้ากับพอลิวิลิลีนซัคซิเนตที่สัดส่วนต่าง ๆ										
1.7.4	ทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม										
1.7.5	ทดสอบสมบัติของฟิล์มที่ขึ้นรูป										
1.7.6	วิเคราะห์ผลการทดลอง										
1.7.7	สรุปผลการทดลอง										
1.7.8	ทำรูปเล่มรายงาน										

บทที่ 2

หลักการ และ ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 หลักการเกี่ยวกับพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นมาจากรากศัพท์กรีกสำคัญ 2 คำ คือ Poly และ Meros พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ และประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอเมอร์หลาย ๆ หน่วยมาทำปฏิกิริยากัน มอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารโมเลกุลเล็ก (Micro molecule) ชนิดหนึ่งพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (Co-polymer)

พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ (Natural polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) ตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติได้แก่แป้ง เซลลูโลส โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาว พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เราต้องใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติต่างกันจึงทำหน้าที่หรือนำไปใช้งานที่ต่างกันได้ พอลิเมอร์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือพลาสติก ซึ่งเป็นคำที่ใช้อ้างถึงกลุ่มของวัสดุธรรมชาติและสังเคราะห์กลุ่มใหญ่ที่มีสมบัติ และการใช้งานต่างกัน พอลิเมอร์ธรรมชาติที่ใช้มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีน และกรดนิวคลีอิกที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพพอลิเมอร์ธรรมชาติอื่น ๆ เช่น เซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษและไม้ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ นีโอพรีน (Neoprene), ไนลอน (Nylon), พีวีซี (Polyvinyl chloride), พอลิสไตรีน (Polystyrene) และพอลิอะคริโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile) [3]

ประเภทของพลาสติกมี 2 ประเภท [4]

2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด ได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม ตัวอย่าง พอลิเอธิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน มี

สมบัติพิเศษคือเมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกใน ประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้แก่

- พอลิเอธิลีน (Polyethylene หรือ PE) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ท่อน้ำ ถัง ถู ขวด แผ่นรองรับสินค้า
- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene หรือ PP) เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอธิลีนทนต่อสารไขมันและความร้อนสูง ใช้ทำแผ่นพลาสติกถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน หลอดดูดพลาสติก เป็นต้น
- พอลิสไตรีน (Polystyrene หรือ PS) มีลักษณะโปร่งใส เปราะ ทนต่อการกัดต่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น
- เอบีเอส (Acrylonitrile-Butadiene-Styreness หรือ ABS) สมบัติคล้ายพอลิสไตรีน แต่ทนสารเคมีดีกว่า เหนียวกว่า โปร่งแสง ใช้ผลิตถ้วย ถาด เป็นต้น
- พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี (Polyvinylchloride หรือ PVC) ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้พอควร แต่ป้องกันไขมันได้ดีมีลักษณะใส ใช้ทำขวดบรรจุน้ำมันและไขมันปรุงอาหาร ขวดบรรจุเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์ ใช้ทำแผ่นพลาสติก ห่อเนยแข็ง ทำแผ่นแลมินेटชั้นในของถุงพลาสติก
- ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่มีความเหนียวมาก คงทนต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ทำแผ่นแลมินेटสำหรับทำถุงพลาสติกบรรจุอาหารแบบสุญญากาศ
- พอลิเอธิลีนเทเรฟทาเลต หรือเพท (Polyethylene Terephthalate หรือ PET) เหนียวมาก โปร่งใส ราคาแพง ใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ บรรจุอาหาร
- พอลิคาร์บอเนต หรือพีซี (Polycarbonate หรือ PC) มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยึดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง เป็นรอยหรือคราบอาหาร จับยาก ใช้ทำถ้วยจาน ชาม ขวดนมเด็ก และขวดบรรจุอาหารเด็ก

2.1.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดันไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถ

นำมาหลอมเหลวได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นตัวจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูง การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติกได้แก่

- เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) มีสมบัติทางเคมีทนแรงดันได้ 7,000-135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25-0.35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด ที่นิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบ และลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชูจะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่าง แต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติก
- ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) มีความต้านทานต่อตัวทำละลายสารละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาจากขวดและหม้อ
- อีพ็อกซี (Epoxy) ใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และท่อเก็บก๊าซ ใช้ในการเชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และเซรามิก ใช้ในการหล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะและเคลือบผิวอุปกรณ์ ใช้ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ใช้เคลือบผิวของพื้นและผนัง ใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน ซีเมนต์ และปูนขาว ใช้เคลือบผิวถนนเพื่อกันลื่น ใช้ทำโฟมแข็ง ใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว
- พอลิเอสเตอร์ (Polyester) กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ ($-O\cdot CO-$) ในหน่วยซ้ำเป็นพอลิเมอร์ที่นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ทำพลาสติกสำหรับเคลือบผิว ขวดน้ำ เส้นใย ฟิล์มและยาง เป็นต้น ตัวอย่างพอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น พอลิเอธิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) และพอลิเมอร์ผลึกเหลวบางชนิด
- ยูรีเทน (Urethane) ชื่อเรียกทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต มีสูตรทางเคมีคือ $NH_2COOC_2H_5$
- พอลิยูรีเทน (Polyurethane หรือ PU) พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน ($-NH\cdot CO\cdot O-$) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยานต (Di-isocyanates) กับไดออล (Diols) หรือไตรออล (Triols) ที่เหมาะสม ใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงา พลาสติกและยาง

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

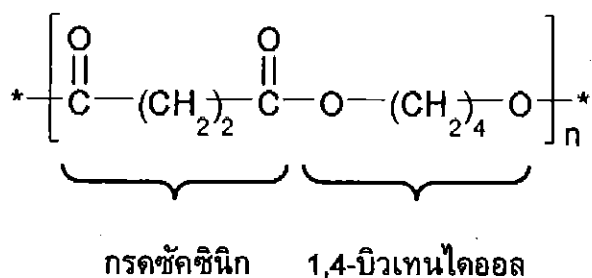
พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย

สำหรับคำว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradation) ย่อมาจาก Bioticdegradation ในมาตรฐานต่าง ๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือ เป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุ เป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทนและน้ำ พลาสติกย่อยสลายได้ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต กระบวนการกำจัด การค้นพบพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นี้ทำให้มนุษย์สามารถหาวัสดุทดแทนการใช้พลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม (Commodity plastics) มีคุณสมบัติในการใช้งานได้เทียบเคียงกัน หรือผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ และสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) และโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น ซึ่งแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุดเพราะหาได้ง่าย มีปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถผลิตแป้งได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ ข้าวโพดและมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก [5]

2.2.1 พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene Succinate หรือ PBS)

พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต เป็นพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นสารโซ่ตรงที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และผลิตจากปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดซัคซินิก และ 1,4-บิวเทนไดออล ซึ่งมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เตรียมได้จากทั้งผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมี และจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ โดยผ่านกระบวนการหมักแป้งและน้ำตาลได้เป็นกรดซัคซินิก เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต 1,4-บิวเทนไดออล ผ่านการเตรียมเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride)

พอลิবিริลีนซัคซิเนต มีคุณสมบัติคล้ายพอลิเอธิลีน (Polyethylene หรือ PE) มีลักษณะขุ่น สามารถขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลายกระบวนการโดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่ง PBS สามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 80 - 95 องศาเซลเซียส และมีความยืดหยุ่นที่ดี



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิবিริลีนซัคซิเนต (PBS) [6]

คุณสมบัติพอลิবিริลีนซัคซิเนต (PBS)

- ย่อยสลายเองได้
- เพิ่มความยืดหยุ่นได้
- ลดความเปราะ
- ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา

ข้อดีของพอลิবিริลีนซัคซิเนต (PBS)

- ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารในดิน (การเกษตร)
- สามารถใช้แทนพลาสติกทั่วไปที่มีอายุการย่อยสลายมาก
- มีความเป็นพิษหลังการย่อยสลายน้อยกว่าพลาสติกทั่วไป
- สามารถผลิตได้เองทางชีวภาพ โดยไม่ต้องอาศัยปิโตรเลียม
- มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าพลาสติกทั่วไป
- การใช้พลังงานในการสังเคราะห์ และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพน้อยกว่าการผลิตพลาสติกทั่วไป

ข้อเสียของพอลิবিวธีลีนซัคซิเนต (PBS)

- เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อม
- ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำจากการเพิ่มของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี
- อาจเกิดสารตกค้างหลังการย่อยสลายจากสารเติมแต่งในดิน

2.2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid หรือ PLA)

พอลิแลคติกแอซิดเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ผลิตจากกระบวนการหมักน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ผลิตเป็นเม็ดพลาสติก PLA ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับพอลิสไตรีน (Polystyrene หรือ PS) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate หรือ PET) มีลักษณะใส ถ่ายเทความร้อนและความชื้นได้ดีสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 60-120 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ทั้งการฉีด การอัด และการเป่าขึ้นรูป การอัดรีด และการผลิตเส้นใย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ฟิล์มสำหรับหุ้มอาหาร ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เส้นใยและสิ่งทอที่นำมาผลิตเสื้อผ้าและเบาะรถ เป็นต้น [7]

2.2.3 แป้งดัดแปร (Thermoplastic starch หรือ TPS)

แป้งดัดแปร คือ แป้งที่มีการนำมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมี โดยการใช้เอนไซม์ สารเคมี ให้ใช้ความร้อนความชื้น เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยนำเอาแป้งมันสำปะหลังมาดัดแปรเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น ทำให้แป้งทนกรดมากขึ้น ความหนืดลดลง คงตัวต่อความร้อน

2.2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol หรือ PVA)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว และการยึดติดที่ยอดเยี่ยม อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนา และตัวทำละลายได้ดี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความแข็งแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น

ด้วย หากความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น สามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว โดยมีจุดหลอมละลายที่ 230 องศาเซลเซียส และที่ 180-190 องศาเซลเซียส สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากมันย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูง ตัวอย่างวัสดุ เช่น กาว [8]

2.2.5 พอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone หรือ PCL)

พอลิคาโพรแลคโตนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วต่ำและไม่เป็นพิษ เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีพฤติกรรมของสมบัติเชิงกลคล้ายกับพอลิเอธิลีน ความหนาแน่นต่ำ และสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการเป่าได้ ตัวอย่างวัสดุ เช่น วัสดุทางการแพทย์

2.2.6 พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ (Polyhydroxyalkanoates หรือ PHAs)

พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ แป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) ซึ่งได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลังและอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือไม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ชนิดพิเศษชื่อ *Escherichia Coli* ซึ่งกินน้ำตาลเป็นอาหาร และสามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในตัวจุลินทรีย์เองเป็น PHAs ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยการกะเทาะแยกเปลือกนอกหุ้มจุลินทรีย์ออก เนื่องจาก PHAs มีช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) ที่กว้างตั้งแต่ 50–180 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีคุณสมบัติในการนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปเป็นฟิล์ม การฉีดยาและการเป่า [9]

2.3 แป้งดัดแปร (Thermoplastic starch หรือ TPS)

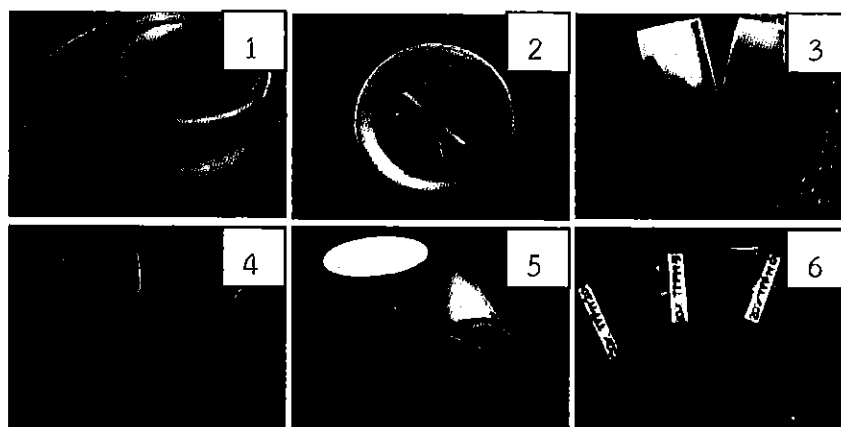
พลาสติกชีวภาพ (Bio-based plastic) เป็นพลาสติกที่มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น พืชและสัตว์ บางครั้งอาจเรียกพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ตัวอย่างของพลาสติกชีวภาพ เช่น เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือ TPS), พลาสติกจากโปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein plastic), พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid หรือ PLA) และพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ (Polyhydroxyalkanoate หรือ PHAs) เป็นต้น

พลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ จึงไม่ก่อให้เกิดการตกค้างของขยะพลาสติกภายหลังการใช้งาน นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสามารถหาใหม่ทดแทนได้ ปัจจุบันวัสดุชีวภาพได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นทั้งนี้เพื่อทดแทนวัสดุสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพลาสติกทั้งในรูปของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กันทั่วไป เพอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น

เทอร์โมพลาสติก หมายถึงพอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ภาชนะและชิ้นส่วนรูปทรงต่าง ๆ ได้ เทอร์โมพลาสติกสตาเรช (TPS) ผลิตมาจากวัตถุดิบเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพ

2.3.1 การผลิตแป้งดัดแปร (Thermoplastic starch หรือ TPS)

การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกมีข้อจำกัดคือโครงสร้างผลึกในแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก แกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมละลายได้ หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้น แทนที่จะหลอมเหลว แกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลาย อย่างไรก็ตามหากมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า Plasticizer จะช่วยให้แกรนูลแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกล (Mechanical energy) ได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาเรช หรือเม็ดพลาสติก TPS ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เอกซ์ทรูเดอร์ เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม เป็นต้น ถึงแม้ว่าจะทำหน้าที่เป็น Plasticizer ของแป้งได้ดี แต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะ จึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิต TPS สารที่นิยมใช้เป็น Plasticizer ในการผลิต TPS ได้แก่ กลีเซอรอล เนื่องจาก TPS สามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและแรงกลที่เหมาะสม จึงสามารถใช้ TPS เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตพลาสติก อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจาก TPS มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือมีสมบัติเชิงกลต่ำ และไม่ทนน้ำ งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของ TPS ให้ดีขึ้น ซึ่งแนวทางที่นิยมได้แก่การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วยกระบวนการทางเคมี และการผสม TPS กับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพต้นแบบ 1) ชีทอ่อนตัว 2) จานรองแก้ว
3) ถาด 4) ถ้วย 5) ครอบพร้อมฝาเกลียว และ 6) ฟิล์มเป่าสำหรับผลิตถุง [5]

2.4 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) เป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเพื่อแก้ไขสมบัติที่ไม่ดีของพอลิเมอร์เดิมซึ่งไม่สามารถใช้สารเติมแต่ง (Additives) ในการปรับปรุงสมบัติเหล่านั้นได้ โดยในปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น และมีการผลิตเป็นการค้ากันอย่างกว้างขวาง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการทำให้ได้สมบัติที่ต้องการของพอลิเมอร์ผสม คือ วิธีการผสม เครื่องมือ และเทคนิคในการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิด หรือมากกว่าให้ผสมเข้ากันได้ดี ซึ่งเป็นปัจจัยในการควบคุมสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม

- เพื่อให้สมบัติดีขึ้นแต่มีราคาถูกลง
- เพื่อพัฒนาสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ
- เพื่อให้สมบัติเด่นของพอลิเมอร์มีค่าสูงขึ้น
- เพื่อปรับปรุงส่วนประกอบของการผสมตามที่ถูกค้าต้องการ
- เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การนำเศษพลาสติก หลากๆ

ชนิด กลับมาขึ้นรูปใหม่

ในการเลือกพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียของพอลิเมอร์แต่ละชนิดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งต้องชดเชยข้อเสียของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง

2.4.2 กลไกสภาพเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำและความเข้มข้น (Stress concentration) จากดิสเพอร์สในเมทริกซ์ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสมหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (In-situ Chemical Reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างสัณฐานวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

2.4.3 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้ขึ้นกับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้คือ

- การพิจารณาสภาพผสมเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Miscibility)

ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นหลักการที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างเอนทาลปีและเอนโทรปีของการผสมที่มีต่อพลังงานเสรีของการผสม (Free energy of mixing) การเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของการผสม

- การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymers)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมี

ผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบสมบัติความทนแรงดึงสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1.บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
- 2.โอบล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
- 3.โอบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมามีประสิทธิภาพสูงกว่าโอบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

- การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Functional/Reactive Polymers)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมบ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจนกับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้ กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่าง เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอเลฟินส์ โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโอเลฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

- การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผลิต (In-situ Grafting Polymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผลิต หรือ Reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอนเตกับพอลิเอสเทอร์ แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ Reactive blending ได้ แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่องเช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-Screw Extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-Screw Extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิและสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่ากลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสมอาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมตัวริเริ่ม (Initiator) ในระหว่างการผลิต

2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (Interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ชนิดควบแน่น
3. เกิดการขาดและรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูง
4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [10]

2.5 ถั่วเขียว

ถั่วเขียวจัดเป็นพืชไร่ที่สำคัญชนิดหนึ่ง เป็นพืชอายุสั้นมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 85 วัน หน้างาม สามารถขึ้นได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่นมีการปลูกกันในหลายประเทศในเอเชีย นิยมรับประทานในรูปของถั่วต้มหรือทำเป็นแป้งเพื่อปรุงอาหารได้หลายรูปแบบ และเพราะเป็นถั่วออก ถั่วเขียวจึงเป็นพืชไร่ที่สำคัญชนิดหนึ่งในประเทศไทยนิยมปลูกกันในทุก ๆ ภาคของประเทศซึ่งอาจปลูกในฤดูปกติหรือปลูกเป็นพืชหมุนเวียนหลังเก็บเกี่ยวข้าว สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในแต่ละปี ปลูกกันประมาณ 1.8 ล้านไร่ นอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้วยังส่งเป็นสินค้าออกได้ปีละประมาณ 3000 ล้านบาท ถั่วเขียวเลาะเปลือกมีชื่อ เช่น ถั่วทอง ถั่วซีก ขนมหั้วที่ใช้ถั่วเลาะเปลือกมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งถั่วเขียวเลาะเปลือกที่มีขายกันอยู่ในปัจจุบันนี้จะไม่เหมือนกับสมัยก่อนเพราะจะมีการเคลือบสีให้เหลือ เนื่องจากถั่วยังไม่แก่เต็มที่ ถั่วเขียวก่อนนำมาทำขนมจะต้องคัด และล้างแล้วนำไปแช่น้ำค้างคืนแล้ว นำไปล้างอีกครั้งก่อนนำมาต้มหรือนึ่ง แต่ในปัจจุบันนี้ถั่วเขียวที่นำมาใช้มักจะยังไม่แก่เต็มที่จึงใช้เวลาแช่น้ำน้อยลงโดยใช้น้ำอุ่นซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ก็ใช้ได้แล้วถ้านำถั่วเขียวไปแช่น้ำค้างคืน มักจะเหม็นบูด และขึ้นฟองเพราะเมล็ดถั่วเขียวยังไม่แก่ และแข็งพอ

2.5.1 คุณค่าทางอาหารของถั่วเขียว

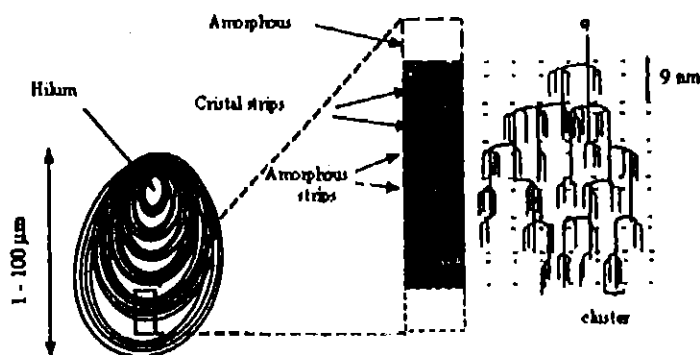
ถั่วเขียวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ ถั่วเขียวมีไขมันต่ำเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่น จึงไม่สามารถใช้กับพวกวัตถุดิบน้ำมันปรุงอาหารได้แต่เป็นแหล่งสำคัญของแป้งและแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ร่างกายคนเราต้องการโพแทสเซียมในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อให้แข็งแรง นอกจากนั้นเมล็ดถั่วเขียวยังอุดมไปด้วยวิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ในอาซิน และวิตามินซี เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวไปทำแป้งจะมีเส้นใยและคาร์โบไฮเดรตลดลงไปเล็กน้อยแต่คุณค่าทางอาหารอื่น ๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียวและแป้งถั่วเขียว
(คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง) [11]

สารอาหาร	เมล็ดถั่วเขียว (ร้อยละ)	แป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)
โปรตีน	25.98	25.40
ไขมัน	1.30	2.25
เถ้า	3.80	3.16
เส้นใย	4.79	1.01
คาร์โบไฮเดรต	64.12	58.77

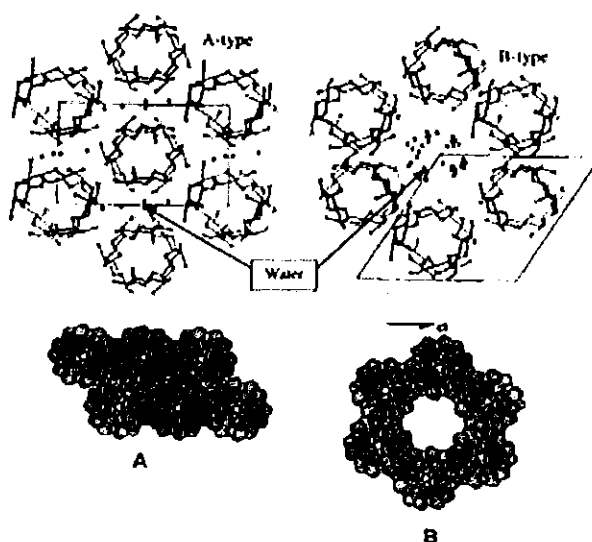
2.5.2 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีการจัดเรียงตัวกันในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) และ ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซ่ยาวของอะไมโลเพกติน ในขณะที่ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวกันของสายโซ่ในโมเลกุลของอะไมโลเพกตินในแนวรัศมีเป็นชั้น ๆ ต่อกันของคลัสเตอร์อะไมโลเพกติน (Series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์จะประกอบด้วยชั้นผลึก (Crystalline lamellae) ซึ่งเกิดจากสายโซ่สั้นของอะไมโลเพกตินที่จัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helix) อย่างเป็นระเบียบสลับกับชั้นสัณฐาน (Amorphous lamellae) ซึ่งเกิดจากบริเวณที่เป็นกิ่งของสายอะไมโลเพกตินที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ จะเห็นได้ว่าสายอะไมโลเพกตินจะเป็นส่วนประกอบทั้งในส่วนโครงสร้างผลึก ส่วนสัณฐานพบวาร้อยละ 80-90 ของจำนวนอะไมโลเพกติน จะอยู่ในส่วนของชั้นผลึกส่วนร้อยละ 10-20 ที่เหลือจะอยู่ในส่วนสัณฐาน โดยส่วนที่เป็นชั้นผลึกจะเป็นส่วนที่ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงคงรูปร่างของเม็ดแป้งไว้ได้ ส่วนสัณฐานจะเป็นส่วนที่ยืดเกาะชั้นผลึกไว้ด้วยกันและเป็นส่วนที่สร้างความยืดหยุ่นให้กับเม็ดแป้ง แสดงในโครงสร้างแบบกึ่งผลึกของเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างแบบกึ่งผลึกของเม็ดแป้ง [12]

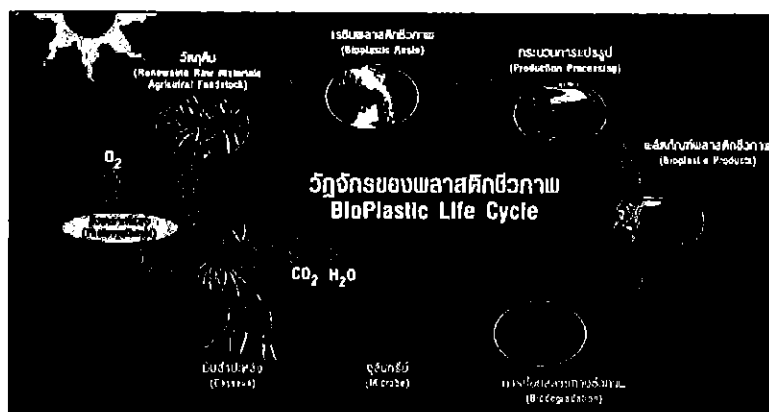
เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่าง ๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวม ๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) แสดงในโครงสร้างทางผลึกชนิด A และ B ดังรูปที่ 2.4 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางผลึกชนิด A และ B [12]

2.6 กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) หรือการสลายตัวทางชีวภาพ คือสารเคมีที่สลายตัวของวัสดุจากเชื้อแบคทีเรียหรือทางชีวภาพอื่น ๆ โดยมีความสัมพันธ์กับระบบนิเวศ การจัดการขยะ ชีวการแพทย์ และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สามารถย่อยสลายกลับไปเป็นธาตุตามธรรมชาติ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายด้วยออกซิเจน หรือไม่ใช้ออกซิเจน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรของพลาสติกชีวภาพ [13]

พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally degradable plastics หรือ EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อมและออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝน และแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และคำว่าพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบโดยรวมต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.6.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสถานะแวดล้อมอื่นที่มีด หรือแม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนาмаกบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.6.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

2.6.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้า ๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.6.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอมไนด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยา

ไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือคะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.6.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้การแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ

ขั้นตอนที่ 2 แบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่าง ๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

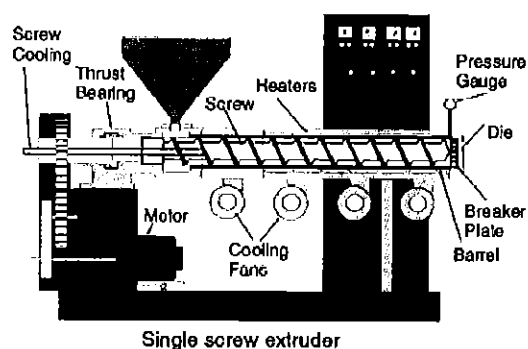
2.7 กระบวนการขึ้นรูป

2.7.1 การผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

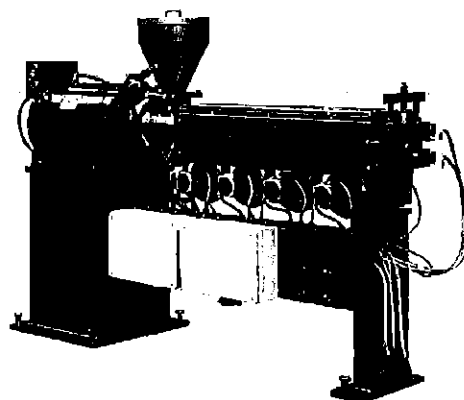
ในกระบวนการนี้เม็ดพลาสติกจะถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแล้วพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกบังคับให้ออกมาทางท่อเปิด หรือแม่พิมพ์ตามรูปร่างที่เราต้องการด้วยสกรูหมุนพลาสติกที่

ออกมา แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ตามรูปที่ 2.6 หลังจากนั้น
แล้วทำให้เย็นตัวลง โดยการทำให้พลาสติกเย็นตัวลงใช้ระบบน้ำเย็นหล่อก็ได้

หลักการทำงานของเครื่องนั้นต้องตั้งอุณหภูมิที่จะทำการฉีดพลาสติก เมื่ออุณหภูมิถึงที่
กำหนดจึงใส่เม็ดพลาสติกที่จะทำการฉีดลงไปในกรวยที่ใส่ จากนั้นจึงเริ่มเดินเครื่องฉีดพลาสติกสกรูจะ
เริ่มทำงานโดยสกรูจะนำเม็ดพลาสติกไหลไปตามช่วงต่าง ๆ ของเครื่อง โดยในแต่ละช่วงมีอุณหภูมิ
ตามที่เรากำหนดไว้ แล้วจะเริ่มถูกหลอมเหลวดันมารวมกันที่หัวฉีดเพื่อทำการฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลว
แล้วฉีดออกมาผ่าน ส่วนที่ทำให้เย็นตัวลงแล้วจากนั้นพลาสติกที่ไหลออกมาจะเป็นเส้น ๆ เพื่อสุดท้าย
นำเข้าเครื่องตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ลง แสดงเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [14]



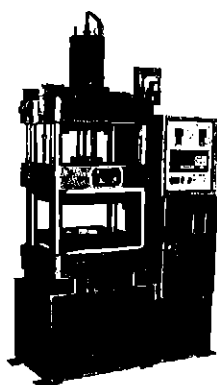
รูปที่ 2.7 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [15]

2.7.2 กระบวนการกดอัดขึ้นรูป

เป็นเทคนิคการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงานของกระบวนการกดอัด คือ การนำเม็ดหรือผงพลาสติกมาอัดในแม่แบบ (Mold) ภายใต้ความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกหลอมและไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่แบบ (Cavity) ดังรูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องกดอัด (Compression molding machine) คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถ เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ (Movable platen) ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ (Fixed platen) แม่แบบสำหรับการแปรรูปพลาสติกทั้งตัวผู้และตัวเมียจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่นนี้ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ รวมด้วย ได้แก่

ระบบการขับเคลื่อนในปัจจุบันเครื่องอัดส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานอัตโนมัติโดยใช้แรงขับเคลื่อนจากระบบไฮดรอลิกในการเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลง นอกจากนี้ระบบขับเคลื่อนยังทำหน้าที่ในการให้ความดันในการอัดอีกด้วย เครื่องกดอัดขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 5 ถึง 100 ตัน ส่วนเครื่องกดอัดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 10 ถึง 4,000 ตัน โดยขนาดของความดันจะขึ้นกับขนาดของแผ่นเหล็กอัดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต

ระบบให้ความร้อน และหล่อเย็น ระยะเวลาการทำงานต่อวัฏจักรของการกดอัดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของผนังผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตที่เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี และในการกดอัดต้องให้อุณหภูมิถึงจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้ (Curing) ซึ่งหากเติมเม็ดหรือผงพลาสติกลงในแม่แบบโดยตรงจะทำให้ระยะเวลาในการกดอัดนานมาก ดังนั้นจึงควรมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนนำเข้าแม่แบบ เพื่อให้พลาสติกสามารถไหลได้ดีขึ้น



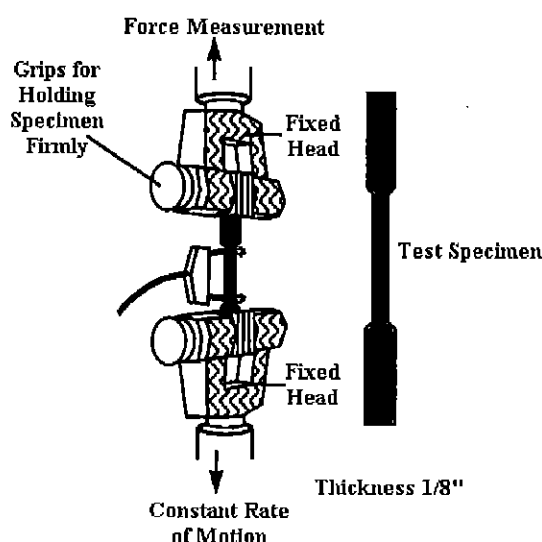
รูปที่ 2.8 เครื่องอัดขึ้นรูป [16]

2.8 การทดสอบ

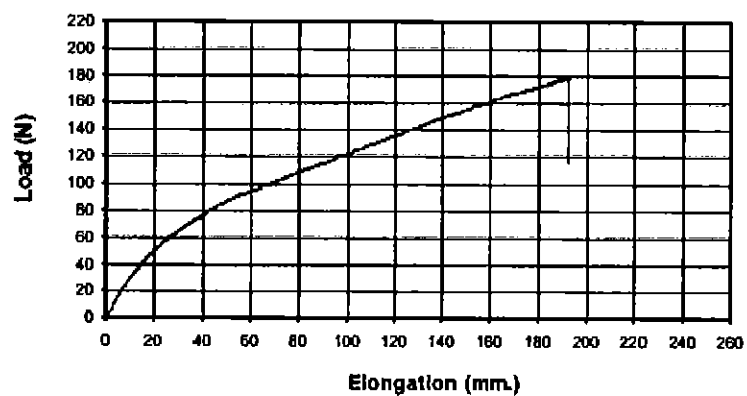
2.8.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile Strength) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine หรือ UTM) ในการทดสอบชิ้นงานดังรูปที่ 2.9

สิ่งที่สำคัญของการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ คือ ชิ้นงานทดสอบซึ่งส่วนใหญ่จะมีรูปทรงดัมเบล ซึ่งจะได้จากการเตรียมชิ้นงานแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ เช่น กรณีที่เป็นยางก็จะได้จากการตีแผ่นยางเป็นรูปดัมเบลด้วย Die (จากแผ่นยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ใน Compression mould) ส่วนในกรณีของพลาสติก อาจจะได้จากกระบวนการฉีด (Injection moulding) หรือได้จากการตัดแผ่น พลาสติกด้วย Die ในทำนองเดียวกันกับยาง ถ้าหากพลาสติกดังกล่าวมีความแข็งต่ำ เช่น Plasticized PVC ในขณะทดสอบจะใช้เครื่อง UTM โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ (ตามมาตรฐานกำหนด) แล้วทำการดึงยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรง และระยะยืดของชิ้นงานบริเวณตรงกลางตัวอย่างเครื่องทดสอบแรงดึง ผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง ซึ่งอาจจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์และสภาวะ (ความเร็วและอุณหภูมิ) ที่ทำการดึง แสดงในรูปที่ 2.10

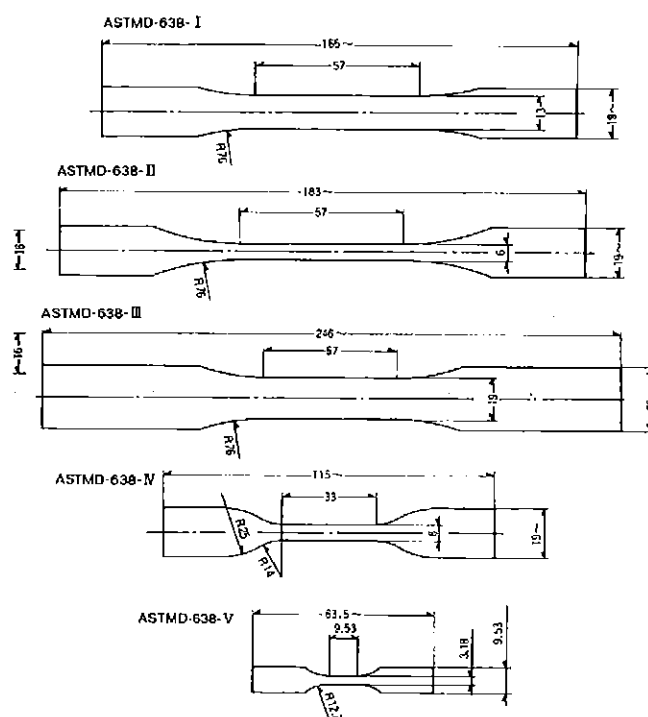


รูปที่ 2.9 เครื่องทดสอบแรงดึง และรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [17]



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง [18]

ASTM D638 TYPE I, II, III, IV, V



รูปที่ 2.11 ลักษณะของชิ้นทดสอบบริเวณที่จับ และบริเวณการยืดออก [18]

17222518

- ค่าการทนแรงดึงหรือค่าความแข็งแรงดึงในบางครั้งอาจจะรายงานผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงเป็นรูปของค่า Tensile Strength ซึ่งโดยปกติจะหมายถึงค่า Maximum tensile stress นอกจากนั้นบางกรณีอาจจะรายงานผลค่า Tensile Strength ที่จุดใด ๆ ก็ได้ เช่นที่จุดคราก (Yield point) จะได้ Tensile strength at yield หรือที่จุดขาดจะได้ Tensile strength at break ส่วนคำว่า Ultimate tensile stress หรือ Strength จะหมายถึงค่า Strength หรือ Stress ที่จุดสูงสุดของกราฟ ซึ่งอาจจะเป็นที่ Break point หรือ Yield point ก็ได้ โดยจะแทนในสมการ 2.1

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ = ความเค้น มีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa)
 P = แรงที่ใช้ในการยืดชิ้นงาน ณ จุดสูงสุด มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
 A = พื้นที่ตัดขวางที่แรงกระทำมีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2)

- ค่าการยืดตัวแสดงลักษณะทั่วไปของชิ้นงานรูปดัมเบลสำหรับการทดสอบแรงดึง โดยในการคำนวณค่าความเครียด (Strain) จะใช้ค่า ΔL ต่อ L_0 ซึ่งต้องระวังด้วยว่าค่าที่ใช้ต้องเป็นค่าที่มาตรฐาน กล่าวคือ ΔL ควรวัดโดยใช้ Extensometer จะแม่นยำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัสดุทดสอบเป็นยางที่จะยืดตัวได้มากจนเข้าสู่บริเวณรอยคอดของชิ้นงานดังสมการ 2.2 อย่างไรก็ตามกรณีที่เป็นพลาสติกแข็งอาจจะอนุโลมให้ใช้ระยะเดินทางของมือจับ (Grip) เป็น ΔL แทนได้ เนื่องจากพลาสติกแข็งมักจะยืดตัวได้น้อยและฉีกขาดก่อนจะเกิดการยืดบริเวณรอยคอด ส่วนค่า L_0 นั้นต้องดูตามมาตรฐานของ Standard Method ที่ใช้ทดสอบ (ASTM D638, JIS 2000 ISO, DIN) ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีขนาดชิ้นงานไม่เท่ากันและมีระยะ Gauge ไม่เท่ากันและที่สำคัญต้องไม่เข้าใจผิดว่า L_0 คือระยะระหว่าง Grip หรือ ระยะระหว่างรอยคอดซึ่งถ้าใช้ค่า L_0 ในการคำนวณ Strain ไม่ถูกต้องจะทำให้ค่า Strain และ Modulus ที่ได้คลาดเคลื่อนและอาจมีปัญหาในการนำไปใช้อ้างอิงกับตัวอย่างข้างนอก

$$\%EI = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ $\%EI$ = ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด
 L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 L_0 = ความยาวของเกจเริ่มต้น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

2.8.2 การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Analyses)

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry หรือ DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และความสามารถในการให้การวิเคราะห์ทดสอบ

- วิเคราะห์จุดหลอมเหลว (Melting points)
- วิเคราะห์ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)
- วิเคราะห์ค่าพลศาสตร์ (Kinetics)
- วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของวัสดุ (Purity of materials)
- วิเคราะห์ความเสถียรต่ออุณหภูมิ (Thermal stability)
- วิเคราะห์การเปลี่ยนสถานะ (Phase transition)
- วิเคราะห์สภาพเป็นผลึก (Crystallinity)
- วิเคราะห์สารที่มีหลายโครงสร้าง (Polymorphism)
- การดูด หรือคายพลังงาน (Desorption/Adsorption)
- การระเหย (Vaporization)

2.8.3 การทดสอบการละลายน้ำและการดูดน้ำ

โดยตัดฟิล์มที่จะทำการทดลองให้มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร ตัดตัวอย่างชิ้นงานโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ นำแผ่นฟิล์มแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ แล้วหาร้อยละการดูดน้ำดังสมการที่ 2.3 หลังจากนั้นนำไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มดังสมการที่ 2.4

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (2.3)$$

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (2.4)$$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

In Sub Yun และคณะ (2014) [19] ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของพอลิ บิวทีลีนซัคซิเนต Polybutylene Succinate หรือ PBS ผสมกับแป้งดัดแปร (Thermoplastic Starch) จากแป้งข้าวโพด โดยทำการศึกษาการผสม PBS กับ TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ และใช้พลาสติก ไซเชอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กลีเซอรอล และเอทิลีนไกลคอล โดยผลการทดลองพบว่า พลาสติก ไซเชอร์ชนิดกลีเซอรอลจะมีความสามารถในการผสมกับพอลิ บิวทีลีนซัคซิเนตได้ดีกว่าเอทิลีนไกลคอล โดยพิจารณาจากการทดสอบสมบัติเชิงกล โดยเมื่อผสมเอทิลีนไกลคอล จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรง ของแผ่นฟิล์มลดลงเล็กน้อย แต่ยังให้ค่าความยืดตัวที่สูงเมื่อเทียบกับเอทิลีนไกลคอล

ยศธร และ คณะ (2014) [20] ได้ศึกษาสมบัติของแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งเท้ายายม่อม (TPAS) แป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และแป้งถั่วเขียว (TPMS) ที่นำมาผ่านกระบวนการให้กลายเป็น เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากการทดสอบพบว่าชนิดของแป้งมีผลต่อสมบัติการย่อยสลาย ขึ้นอยู่กับ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งแป้งดัดแปรจากแป้งถั่วเขียวมีอะไมโลสสูง จะมีระดับของการตกผลึก และมีสมบัติทางกลต่ำกว่าแป้งดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง และนอกจากนี้แป้งดัดแปรจากแป้ง ถั่วเขียวยังมีการดูดซึมน้ำต่ำ มีการย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วกว่าแป้งชนิดอื่น

Narendra Reddy และคณะ (2015) [21] ได้ศึกษาการเชื่อมโยง (Cross-linking) ระหว่าง กรดซิตริกกับฟิล์มแป้ง จากงานวิจัยพบว่ากรดซิตริกสามารถสร้างพันธะเชื่อมโยงกับแป้งได้ และยังทำ หน้าที่ในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงดึง การละลายน้ำ โดยการละลายของฟิล์มแป้ง ในน้ำและกรดฟอริกจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลไม่ดี โดยทำการทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ แรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 882-02 ตัดตัวอย่างฟิล์มขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าฟิล์มแป้งที่ Cross-linked กับกรดซิตริกจะมีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์ม Non-Cross-linked และนำไปทดสอบการละลายน้ำของฟิล์มในน้ำและกรดฟอริก ฟิล์มแป้งที่เติมกรดซิ ตริก ร้อยละ 5 เมื่อนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 35 วัน พบว่าฟิล์มแป้งที่

Cross-linked กับกรดซิตริก มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 25 ส่วนฟิล์มแบ่งที่ไม่ได้ Cross-linked สูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 75 และฟิล์มแบ่งที่แช่ในกรดฟอร์มิกเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส น้ำหนักของฟิล์มจะหายไปเพียงร้อยละ 35 ในขณะที่ฟิล์มที่ไม่ผ่านการ Cross-linking จะละลายทันที

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

ในการทดลองนี้จะศึกษาการทดลองการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว เพื่อนำไปใช้งานในการขึ้นรูปฟิล์มสำหรับปิดบรรจุภัณฑ์อาหาร หรือถุงพลาสติกใสของอุปโภคและบริโภค จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบการดูดน้ำของแผ่นฟิล์ม ทดสอบการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม และศึกษาความเป็นไปได้ของสัดส่วนในการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว แล้วสรุปผลการทดลอง

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ

- 3.1.1 แป้งถั่วเขียว ตราต้นสน บริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด
- 3.1.2 พอลิবিวธิลินซัคซิเนต (Polybutylene Succinate หรือ PBS)
- 3.1.3 กลีเซอรอล (Glycerol) บริษัท Ajax Finechem
- 3.1.4 กรดซิตริก (Citric acid) บริษัท Ajax Finechem
- 3.1.5 น้ำ
- 3.1.6 หลอดทดลอง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ

- 3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)
- 3.2.2 เครื่องตัดเม็ดพลาสติก
- 3.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression)
- 3.2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)
- 3.2.5 ตู้อบไฟฟ้า
- 3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแป้งตัดแปรจากถั่วเขียว

3.3.1.1 แป้งที่นำมาใช้ คือ แป้งจากถั่วเขียว ตราต้นสน

3.3.1.2 ทำการผสมสูตร TPS 0 โดยผสมแป้งถั่วเขียวกับกลีเซอรอลร้อยละ 70:30 ในถุงซิปล็อคให้เข้ากัน

3.3.2 เตรียมการผสมแป้งตัดแปรกับพอลิวินิลซัคซิเนตที่สูตรต่าง ๆ

ทำการผสมโดยนำ TPS 0 มาผสมกับ PBS ตามอัตราส่วนตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) แสดงในรูปที่ 3.1 จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression) แสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนร้อยละ ของ PBS : TPS 0

สูตรที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PBS	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
TPS	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

3.3.3 การทดสอบสมบัติความแข็งแรง (Tensile Strength)

เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดโดยเปรียบเทียบจากค่าสมบัติความแข็งแรง การยืดตัว ณ จุดขาด การดูดน้ำและการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม

3.3.4 การปรับปรุงการผสมด้วยการเติมกรดซิตริก

เมื่อได้อัตราส่วนที่มีค่าสมบัติความแข็งแรงแล้วจึงทำการเตรียมแป้งตัดแปรจากถั่วเขียวตราต้นสน กลีเซอรอลและกรดซิตริก ผสมตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนร้อยละของ TPS : กลีเซอรอล : กรดซิตริก

สูตร	TPS	กรดซิตริก	รวม
TPS 2	100	2	100

3.3.5 สูตรการผสมพอลิবিวิธีลีนซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรในสัดส่วนต่าง ๆ

ทำการผสมโดยนำ TPS มาผสมกับ PBS ตามอัตราส่วนตารางที่ 3.3 ด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) แสดงในรูปที่ 3.1 จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression) แสดงในรูปที่ 3.2 และนำไปทดสอบสมบัติความแข็งแรง (Tensile Strength) ทดสอบการดูดน้ำและละลายน้ำของแผ่นฟิล์มเพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วน PBS : TPS

PBS	TPS
40	60

3.3.6 การเตรียมแผ่นฟิล์มจากการผสมพอลิবিวิธีลีนซัคซิเนตกับแป้งดัดแปร

3.3.6.1 พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ที่นำมาใช้คือพอลิবিวิธีลีนซัคซิเนต

3.3.6.2 ทำการผสมระหว่างพอลิবিวิธีลีนซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว

3.3.7 การผสมพอลิবিวิธีลีนซัคซิเนตกับแป้งดัดแปร และการขึ้นรูป

3.3.7.1 ทำการผสมอัตราส่วนเบื้องต้นด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) แสดงในรูปที่ 3.1 ที่ช่วงอุณหภูมิที่สถานะต่าง ๆ กับ 4 โซน แสดงดังตารางที่ 3.4

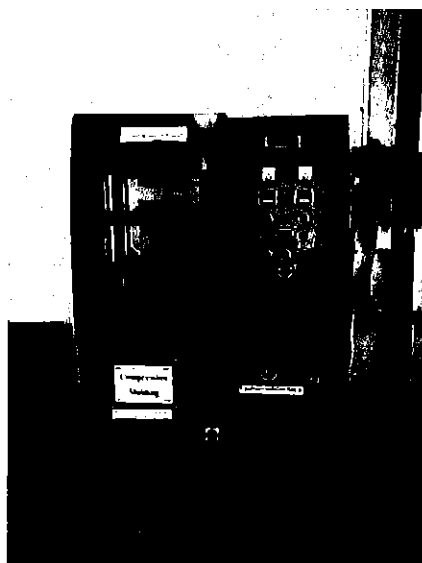


รูปที่ 3.1 เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ตารางที่ 3.4 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [22]

ช่วงสภาวะ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Screw zone	60
Heaters zone	120
Barrel zone	125
Nozzle zone	130

3.3.7.2 พอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว นำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression) แสดงในรูปที่ 3.2 ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยเริ่มแรกต้องให้แผ่นพลาสติกร้อนก่อนเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นจึงอัดขึ้นรูปเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำไปหล่อเย็นเป็นระยะเวลา 5 นาที



รูปที่ 3.2 เครื่อง Compression

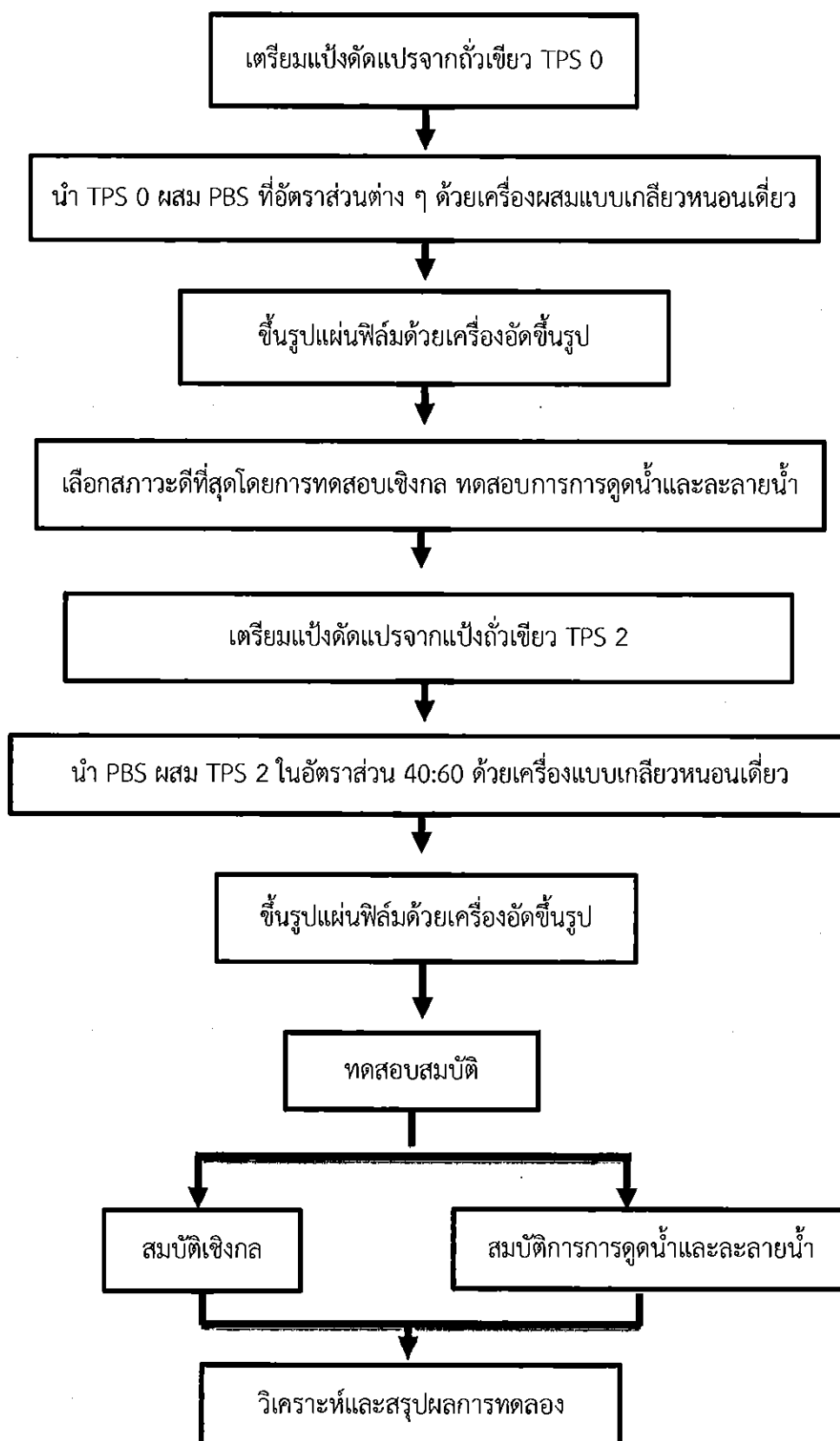
3.3.7.3 จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปไปทดสอบสมบัติเชิงกล

ก. สมบัติเชิงกล

ก.1 สมบัติความแข็งแรง

ก.2 สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด

ข. ทดสอบการดูดน้ำและละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 3.3 แผนการดำเนินงานในโครงการ

3.4 การทดสอบ

3.4.1 ทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติความแข็งแรง (Tensile Strength) สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type IV จำนวน 5 ชิ้น โดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ดังรูปที่ 3.4 ในการทดสอบชิ้นงานดัมเบลขนาดยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 33 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine



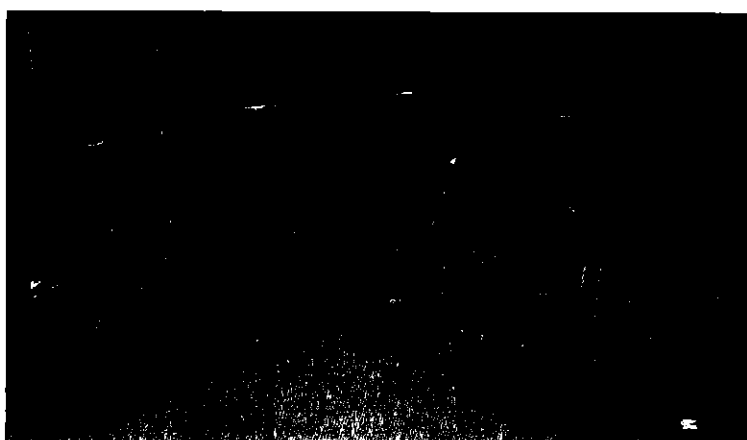
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างชิ้นงาน

3.4.2 การวิเคราะห์การทดสอบการดูดน้ำและการละลายน้ำ

โดยตัดฟิล์มที่จะทำการทดลองให้มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร ตัดตัวอย่างชิ้นงานโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ นำแผ่นฟิล์มแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ ดังรูปที่ 3.6 แล้วหาร้อยละการดูดน้ำดังสมการที่ 2.3 โดยการ หลังจากนั้นนำไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มดังสมการที่ 2.4

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (2.3)$$

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (2.4)$$



รูปที่ 3.6 การแช่น้ำเพื่อนำไปคำนวณหาค่าร้อยละการดูดน้ำและร้อยละการละลายน้ำ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว โดยในขั้นแรกทำการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ทั้งหมด 11 สูตร สัดส่วน 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบการละลายน้ำและดูน้ำของแผ่นฟิล์ม โดยเลือกค่าอัตราที่ดีที่สุด คือ สัดส่วน PBS:TPS ที่ 40:60

เตรียมแป้งดัดแปรจากถั่วเขียวต่อกรดซิตริก มีสัดส่วนสูตร TPS 2 คือ 100:2 จากนั้นนำไปผสม PBS:TPS2 ในสัดส่วน 40:60 และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบการละลายน้ำและการดูน้ำของแผ่นฟิล์ม โดยเลือกค่าอัตราที่ดีที่สุด

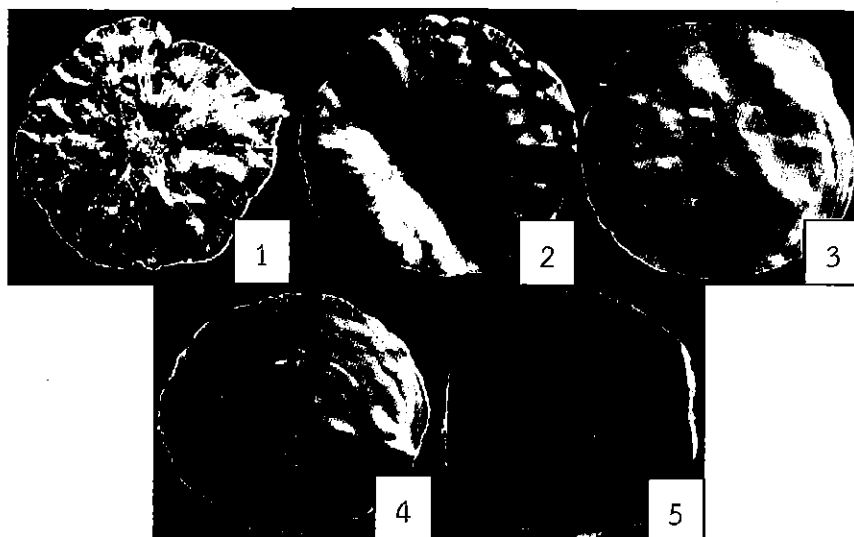
4.1 การเตรียมแป้งดัดแปร

เตรียมแป้งดัดแปรจากถั่วเขียวทำการผสมสูตร TPS 0 โดยผสมแป้งถั่วเขียวกับกลีเซอรอล ร้อยละ 70:30 ในถุงซิปล็อคผสมให้เข้ากัน และนำไปเข้าเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) สภาวะที่ทำการทดลองโซน 1,2,3และ4 คือ 60,120,125,130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของสกรู 235 r.p.m

จากกระบวนการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรจากถั่วเขียวโดยในขั้นแรกทำการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ทั้งหมด 11 สูตร สัดส่วน 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0

จากรูปที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนการผสมพอลิবিวธิลินซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) เมื่อมีสัดส่วนของแป้งดัดแปรจากถั่วเขียวมากกว่าสัดส่วนของพอลิবিวธิลินซัคซิเนตนั้น มีอัตราการไหลที่มีความสม่ำเสมอแต่ไหลได้ช้ากว่าสัดส่วนที่มีพอลิবিวธิลินซัคซิเนตมากกว่าแป้งดัดแปร เพราะเมื่อมีแป้งมากกว่าแป้งจะมีมวลโมเลกุลที่ใหญ่กว่าพอลิবিวธิลินซัคซิเนตทำให้มีผลต่ออัตราการไหล แต่เมื่อนำไปอัดขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม ได้แก่ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 จะพบว่าแผ่นฟิล์มจะมีความหนาเพราะแป้งมีสัดส่วนที่มากกว่าพอลิবিวธิลินซัคซิเนต พบการขาดของแผ่นฟิล์มที่น้อยจนไม่พบเลยเมื่อมีสัดส่วนที่แป้งเพิ่มมากขึ้น พอลิবিวธิลินซัคซิเนตกับแป้งดัดแปรนั้นมีการ

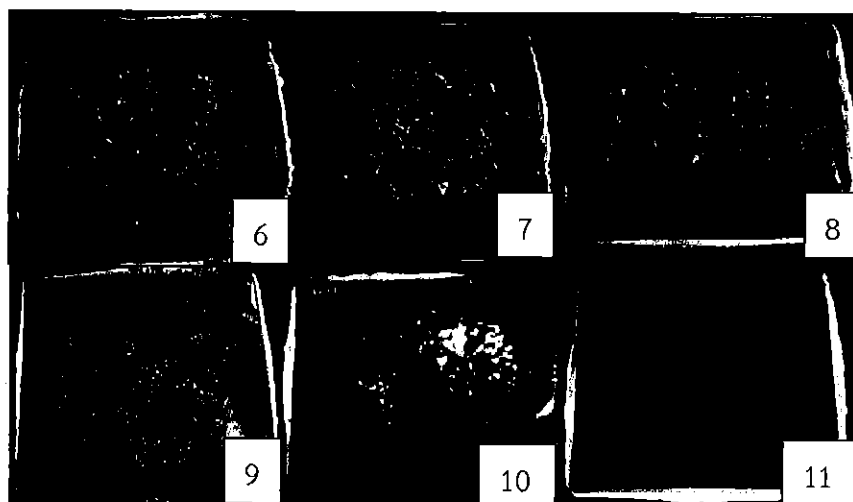
กระจายตัวที่ดี ทำให้เมื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจึงมีความหนาและเมื่อแกะออกมาทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่อแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 4.1 แผ่นฟิล์มของพอลิบิวทีเร็นซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS)

1) 0:100 2) 10:90 3) 20:80 4) 30:70 5) 40:60

จากรูปที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนการผสมพอลิบิวทีเร็นซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) เมื่อมีสัดส่วนของพอลิบิวทีเร็นซัคซิเนตมากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป พบว่าอัตราการไหลสม่ำเสมอและเร็วกว่าสัดส่วนที่มีแป้งดัดแปรมาก เมื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจึงมีความบางและเมื่อแกะออกมาทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นฟิล์มมีลักษณะขาดเป็นรูกว้างจนสังเกตได้ เพราะเกิดจากการกระจายตัวของแป้งดัดแปรที่ไม่ดี จากรูปในสูตรที่ 6 จะสังเกตเห็นรูขนาดใหญ่ได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อใส่พอลิบิวทีเร็นซัคซิเนตในปริมาณที่มากขึ้น ปริมาณแป้งดัดแปรจะลดลงส่งผลให้มีการกระจายตัวที่ดี



รูปที่ 4.2 แผ่นฟิล์มของพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) ต่อแบ่งตัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS)

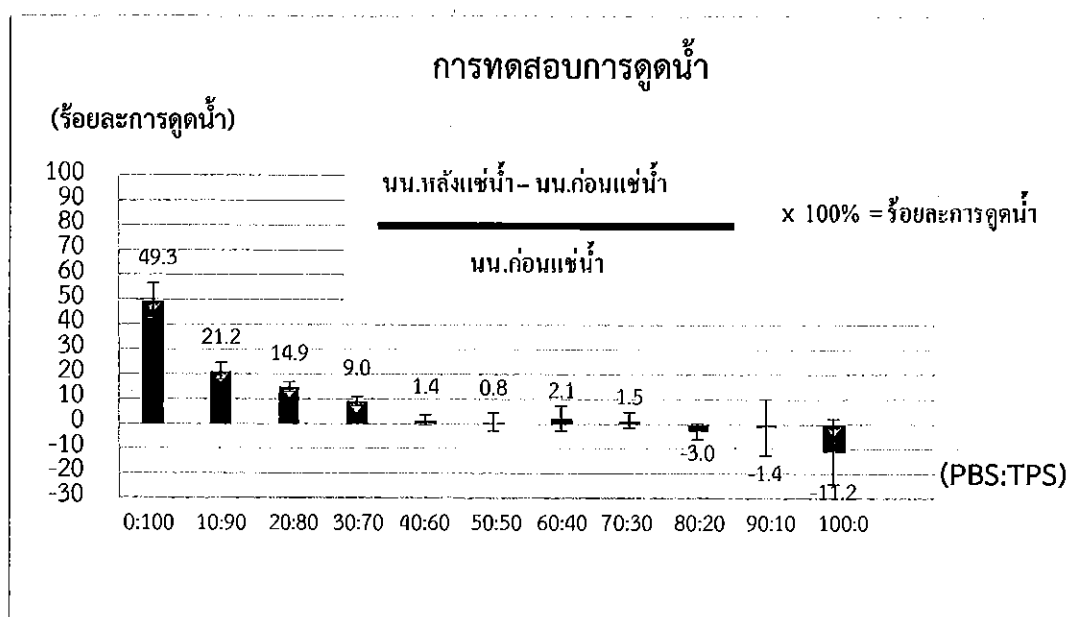
6) 50:50 7) 60:40 8) 70:30 9) 80:20 10) 90:10 11) 100:0

ดังนั้นสัดส่วนที่มีแบ่งตัดแปรมากกว่าพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) จะมีอัตราการไหลสม่ำเสมอ มีการผสมกันดีแผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น และมีการกระจายตัวที่ดี สัดส่วนของพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) ต่อแบ่งตัดแปรที่ดีทั้งกระบวนการผสม การขึ้นรูป และการกระจายตัว คือ 40:60

4.2 การทดสอบการดูดน้ำและการละลายน้ำ

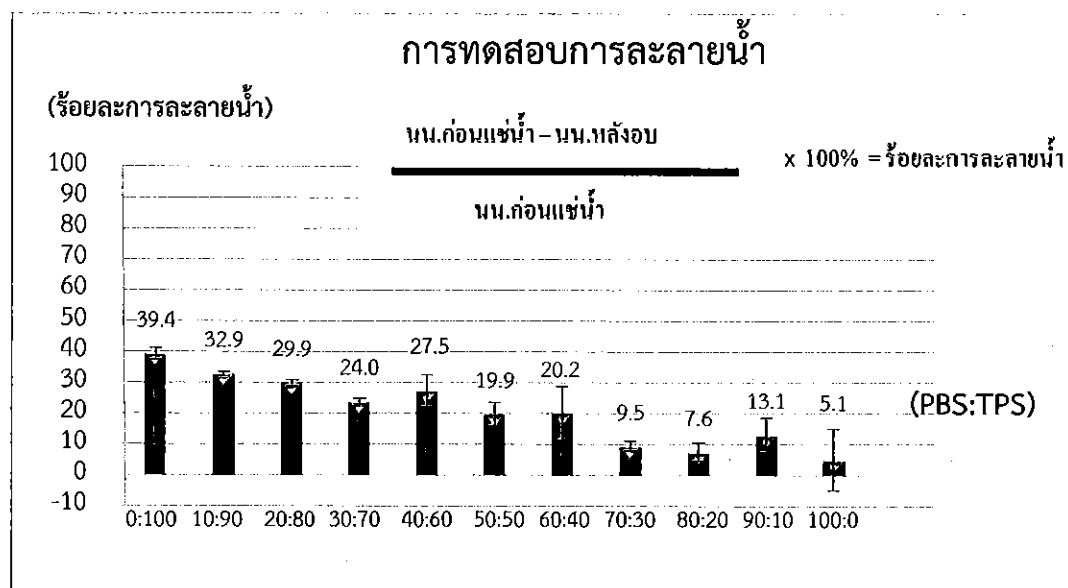
โดยตัดฟิล์มที่จะทำการทดลองให้มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร ตัดตัวอย่างชิ้นงานโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ นำแผ่นฟิล์มแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงการทดสอบการดูดน้ำของแบ่งตัดแปรผสมพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) ทั้ง 11 สูตร ในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าหลังการทดสอบแบ่งตัดแปร (TPS) ที่ไม่ผสมพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) จะให้ค่าการดูดน้ำร้อยละ 49.3 เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) ขึ้นค่าการดูดน้ำจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อสัดส่วนของพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) ที่ร้อยละ 80 ขึ้นไปจะพบว่าค่าการดูดน้ำติดลบ หมายถึงจะมีความสามารถในการดูดน้ำลดลง นั่นเพราะพอลิ(bisphenol A-co-phenylene) มีสมบัติที่ดูดน้ำได้น้อย



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการดูดน้ำของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงการทดสอบการละลายน้ำของแป้งดัดแปรผสมพอลิবিธิลีนซัคซิเนตที่มีสัดส่วนต่าง ๆ แป้งดัดแปรที่ไม่มีการเติมพอลิবিธิลีนซัคซิเนตน้ำหนักของฟิล์มจะหายไปและมีการละลายน้ำที่สูง เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิবিธิลีนซัคซิเนตเข้าไปจะทำให้การละลายลดลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณของพอลิবিธิลีนซัคซิเนตมีผลให้ฟิล์มทนการละลายน้ำได้มากขึ้น

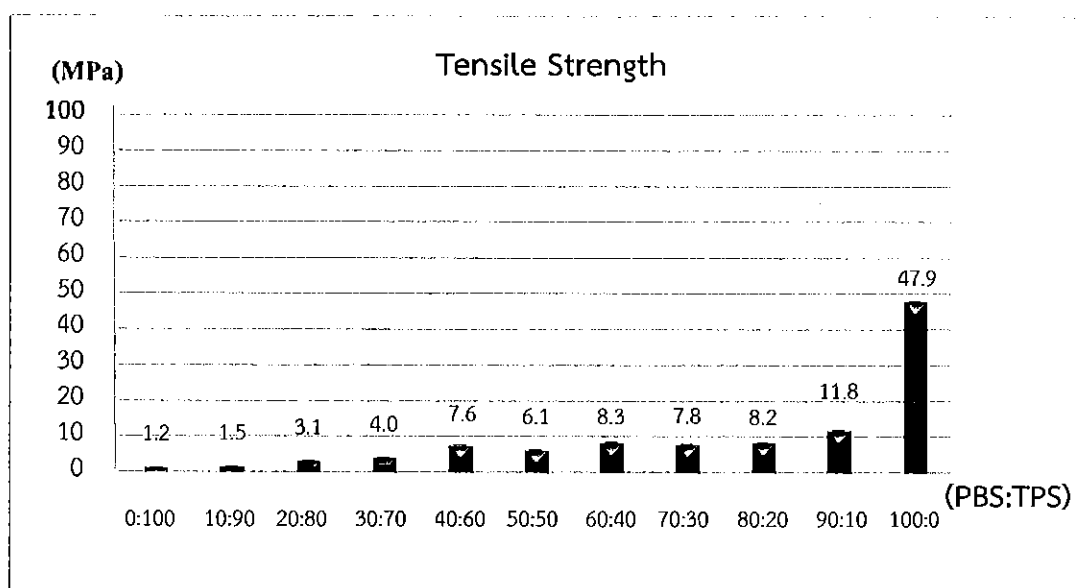


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการละลายน้ำของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ

เนื่องจากแป้งมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยอยู่ในประเภทของไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ซึ่งมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) มีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้กันเชื่อมต่อกันอยู่ ปริมาณอะไมโลสสูงจะส่งผลให้มีการพองตัวและการละลายต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟการทดสอบการดูดน้ำโดยในสัดส่วนที่แป้งดัดแปรปริมาณมากกว่าพอลิবিวิธินซัคซิเนต จะมีการดูดน้ำได้ดีกว่าและเมื่อเติมพอลิবিวิธินซัคซิเนตลงไปจะช่วยลดอัตราการดูดน้ำลง และการทดสอบการละลายน้ำโดยในสัดส่วนที่แป้งดัดแปรปริมาณมากกว่าพอลิবিวิธินซัคซิเนตจะมีการละลายน้ำที่สูง เมื่อเติมพอลิবিวิธินซัคซิเนตลงไปจะช่วยลดอัตราการละลายน้ำ

4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

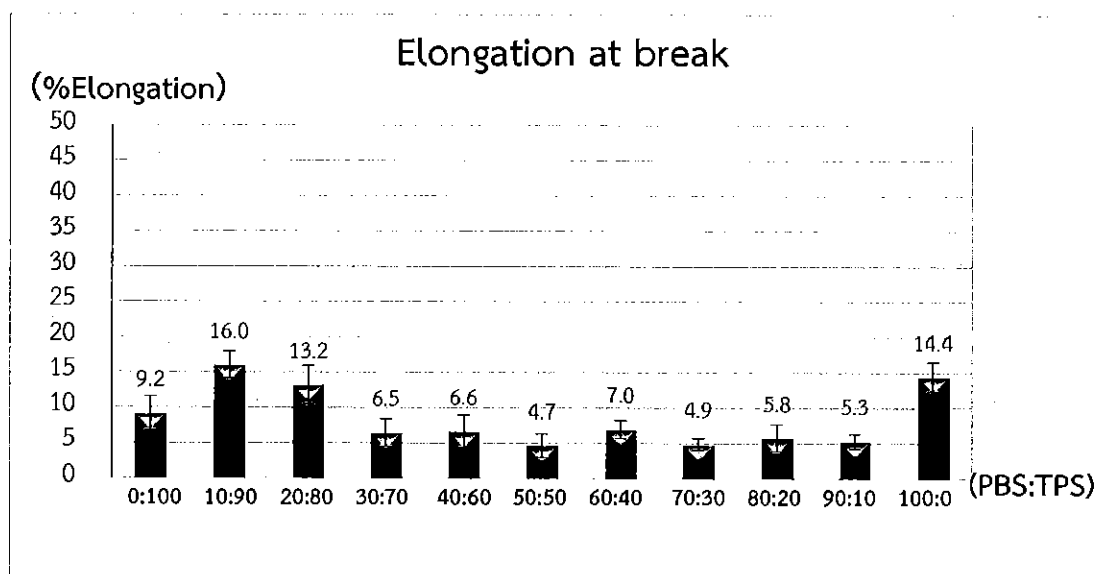
จากรูปที่ 4.5 การทดสอบความแข็งแรงของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วนต่าง ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตพบว่าทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มขึ้น เนื่องจากกราฟเมื่อมีการผสมกันของ PBS:TPS จะเกิดความเข้ากันได้มากกว่า หากมีการเติมพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ ค่า Tensile Strength มีแนวโน้มสูงขึ้น และมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดี



รูปที่ 4.5 กราฟ Tensile Strength ของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ

เมื่อพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตเพิ่มขึ้น ปริมาณของแป้งดัดแปรจะลดลง ส่งผลให้แป้งดัดแปรมีการกระจายตัวได้ดีในพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต การกระจายตัวที่ดีจะช่วยให้ฟิล์มทนต่อแรงดึงได้มากขึ้น โดยทั่วไปแล้วแป้งดัดแปรจะมีโครงสร้างแบบร่างแหและมีปริมาณอะไมโลสสูง มีผลทำให้ไปเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างของพอลิเมอร์

จากรูปที่ 4.6 จากการยืดตัวของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วนต่าง ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตพบว่าทำให้ค่าการยืดตัวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแป้งดัดแปรที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์มีปริมาณลดลง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเข้าไปจับกับพอลิเมอร์ จึงเข้าไปลดความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้ฟิล์มยืดหยุ่นได้ลดลง



รูปที่ 4.6 กราฟการยืดตัว ณ จุดขาด ของ PBS:TPS ที่สัดส่วนต่าง ๆ

จากการทดลองพบว่าสัดส่วนโดยให้ค่าความแข็งแรงและค่าการยืดตัวรวมทั้งสถานะของฟิล์มที่ดีที่สุด PBS:TPS ที่สัดส่วน 40:60 เนื่องจากที่สัดส่วนนี้ พอลิবিธิลีนซัคซิเนตและแป้งดัดแปรที่มีปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้มีความสามารถในการผสมเข้ากันได้ดี โดยความเข้ากันได้ของแป้งดัดแปรกับพอลิবিธิลีนซัคซิเนต จะทำให้ฟิล์มมีสมบัติในด้านต่าง ๆ ดีขึ้น

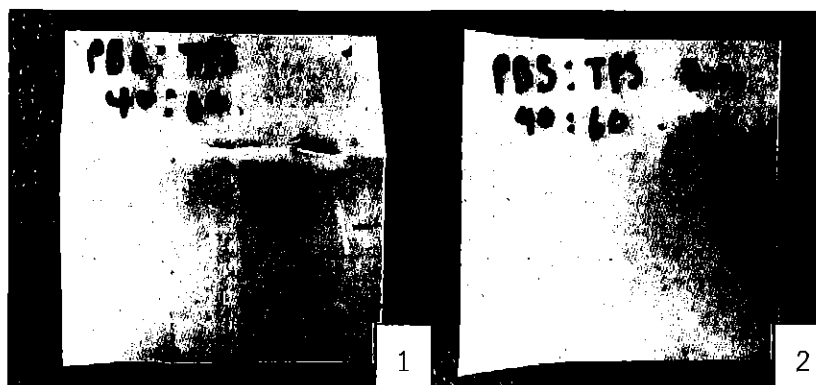
4.4 การปรับปรุงความเข้ากันได้

4.4.1 การเปรียบเทียบแผ่นฟิล์ม

หลังจากที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ จึงนำสูตรที่เราเลือกมาพัฒนาต่อโดยการนำไปปรับปรุงความเข้ากันได้โดยผสมด้วยการเติมกรดซิตริก เตรียมแป้งดัดแปรต่อกรดซิตริก สูตรTPS 2 โดยมีกรดซิตริกร้อยละ 2 นำไปผสมด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) PBS:TPS 2 ในสัดส่วน 40:60 จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression)

จากรูปที่ 4.7 พบว่าอัตราส่วนการผสมพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว เมื่อนำมาผสมกรดซิตริกที่ 40:60:2 (กรดซิตริกร้อยละ 2) จะพบว่าแผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น พื้นผิวมัน การกระจายตัวของพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรที่มีกรดซิตริกนั้นมีการกระจายตัวที่ดีกว่าสัดส่วนพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรที่ 40:60 ที่ไม่มีกรดซิตริก เพราะกรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการ Cross-links กับแป้งปรับปรุงสมบัติในการช่วยผสมและการละลายเข้ากันเพิ่ม

มากขึ้น ทำให้พอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว เมื่อนำมาผสมกรดซิตริกที่ 40:60:2 (กรดซิตริกร้อยละ 2) มีความเข้ากันมากขึ้น

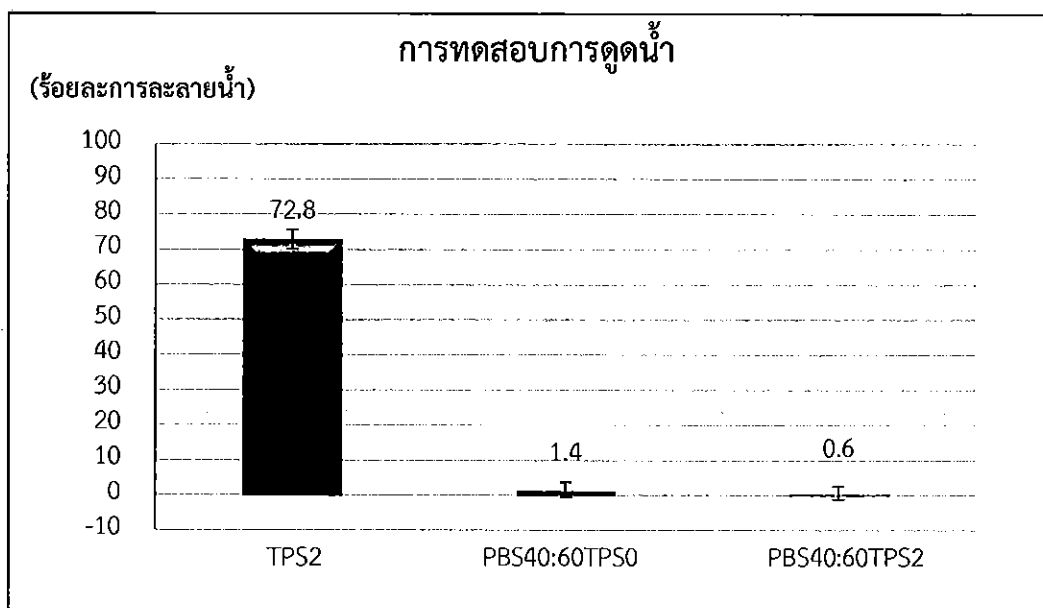


รูปที่ 4.7 แผ่นฟิล์มของพอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS)

1) 40:60 2) 40:60 (กรดซิตริกร้อยละ 2)

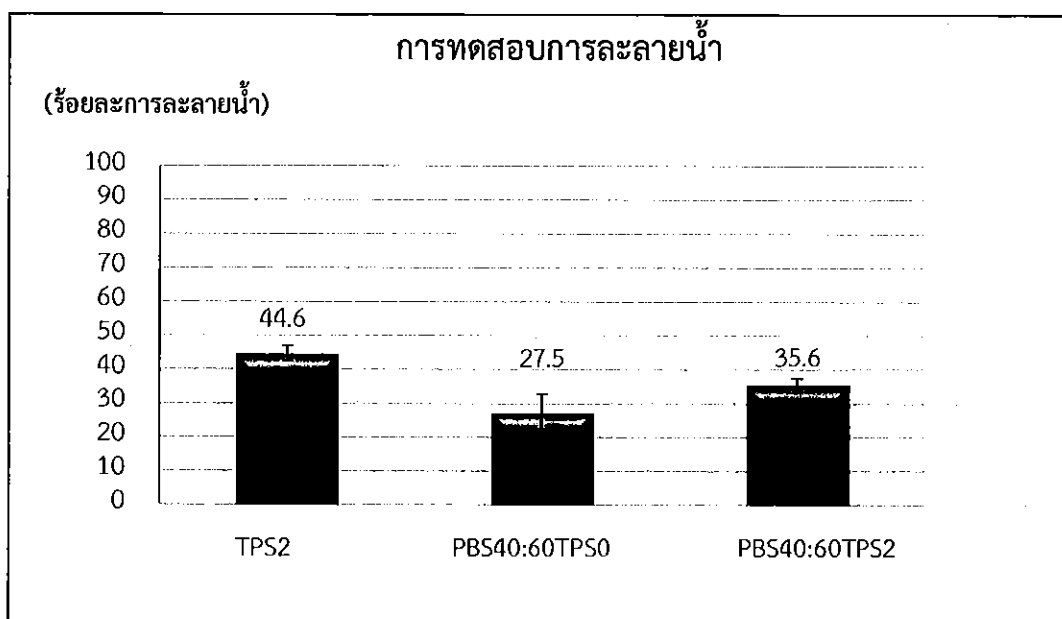
4.4.2 การทดสอบการดูดน้ำและการละลายน้ำ

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบการดูดน้ำของแป้งดัดแปร 100 พอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 และ 40:60 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 จะพบว่าในสัดส่วนของแป้งดัดแปร 100 จะมีปริมาณการดูดน้ำมากเนื่องจากแป้งอยู่ในประเภทของ ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ซึ่งมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) ส่วนพอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรที่สัดส่วน 40:60 ที่ไม่มีการเติมกรดซิตริกจะมีร้อยละการดูดน้ำมากกว่าในสัดส่วนที่มีการเติมกรดซิตริกลงไป แสดงให้เห็นว่าถ้าเติมกรดซิตริกจะทำให้มีการดูดน้ำได้น้อย



รูปที่ 4.8 กราฟการทดสอบการดูดน้ำของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2

จากรูปที่ 4.9 การทดสอบการดูดน้ำของแป้งดัดแปร 100 พอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 และ 40:60 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 จะพบว่าในสัดส่วนของแป้งดัดแปร 100 จะมีปริมาณการละลายน้ำมาก ส่วนพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรที่สัดส่วน 40:60 ที่ไม่มีการเติมกรดซิตริกจะมีร้อยละการละลายน้ำต่ำ สัดส่วนที่มีการเติมกรดซิตริกลงไปร้อยละ 2 แสดงให้เห็นว่าถ้าเติมกรดซิตริกจะทำให้มีการละลายน้ำสูงกว่า เนื่องจากกรดซิตริกเกิดการ Cross-linked กับแป้ง การละลายน้ำแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ค่าการละลายของพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 และ 40:60 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 มีความใกล้เคียงกันมาก

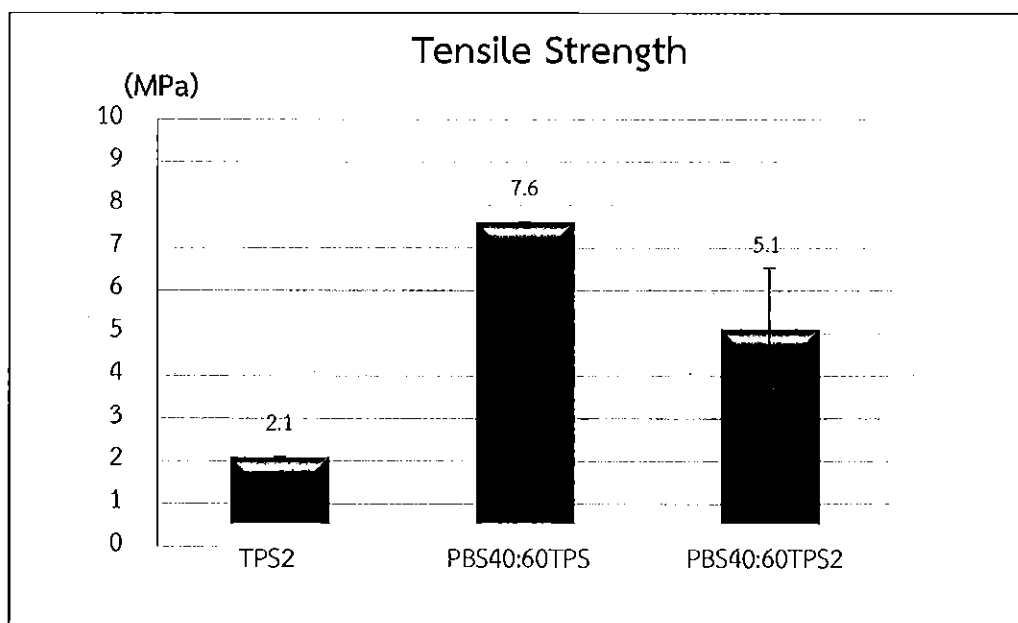


จากรูปที่ 4.9 กราฟการทดสอบการละลายน้ำของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2

จากการทดสอบการดูดน้ำและการละลายน้ำได้ทำการทดสอบแค่ PBS:TPS ที่สัดส่วน 40:60 ซึ่งผสมชนิดรีร้อยละ 2 ในสัดส่วน 40:60 สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ดังนั้นจะพบว่า PBS:TPS ที่สัดส่วน 40:60 ผสมกรดชนิดรีร้อยละ 2 จะมีสมบัติที่ดีกว่า สัดส่วน 40:60 เพราะเมื่อผสมกรดชนิดรีลงไปมีผลทำให้ค่าการทดสอบการละลายน้ำมีความใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการทดสอบการดูดน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติที่ต้องการก็คือแผ่นฟิล์มที่ได้เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาจสัมผัสกับความชื้นหรือของเหลว จึงต้องการให้มีสมบัติในการดูดน้ำและละลายน้ำที่ลดลง เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการใช้งาน

4.4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

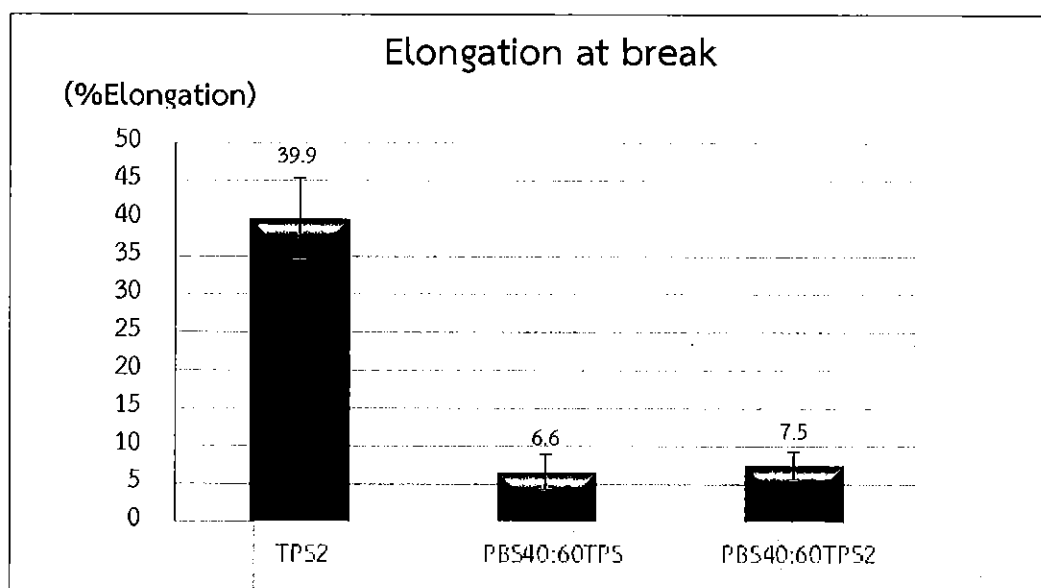
จากรูปที่ 4.10 การทดสอบความแข็งแรงของแป้งดัดแปรที่ 100 ผสมกรดชนิดรีร้อยละ 2 พอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 และ 40:60 ผสมกรดชนิดรีร้อยละ 2 จะพบว่าในสัดส่วนของแป้งดัดแปร 100 ผสมกรดชนิดรีร้อยละ 2 จะพบว่าให้ค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด ส่วนพอลิไวนิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 จะได้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่าสัดส่วน 40:60 ผสมกรดชนิดรีร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการเติมกรดชนิดรีจะทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง



รูปที่ 4.10 กราฟ Tensile Strength ของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2

เมื่อเทียบค่าความแข็งแรงของ PBS:TPS ที่ใส่กรดซิตริกและไม่ใส่กรดซิตริกนั้น พบว่า สัดส่วนที่ไม่ใส่กรดซิตริกมีค่าที่ต่ำกว่า ดูจากกราฟการละลายน้ำที่ 4.9 จะบ่งบอกว่า เมื่อเติม กรดซิตริกแล้วนำชิ้นงานไปทดสอบการละลายน้ำ แต่ชิ้นงานกลับไม่ละลายเกิดจากการกรดซิตริกเกิดการ Cross-linked กับแป้งแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำให้ทนแรงได้น้อย ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมี ค่าที่น้อยกว่าสัดส่วนที่ไม่เติมกรดซิตริก

จากรูปที่ 4.11 จากกราฟการยืดตัวของแป้งดัดแปรที่ 100 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 พอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 และ 40:60 ผสม กรดซิตริกร้อยละ 2 พบว่าแป้งดัดแปรที่ 100 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 ให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่สูง ส่วนพอลิবিธิลีนซัคซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 จะได้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่น้อยกว่าสัดส่วน 40:60 ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 0.9 แสดงให้เห็นว่ากรดซิตริก มีแนวโน้มทำให้ค่าการยืดตัวดีขึ้นเมื่อเติมกรดซิตริก



รูปที่ 4.11 กราฟการยืดตัว ณ จุดขาด ของ TPS2, PBS40:60TPS0, PBS40:60TPS2

จากการทดสอบพบว่าแป้งดัดแปรผสมพอลิไบวทีลีนซัคซิเนต (PBS:TPS) ที่สัดส่วน 40:60 จะมีค่าของความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มค่าสมบัติการยืดตัว ณ จุดขาดที่ดีขึ้นในสัดส่วน 40:60 ที่ผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 เนื่องจากกรดซิตริกมีประสิทธิภาพโดยสามารถ Cross-linked กับ แป้ง ซึ่งสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติที่ต้องการก็คือแผ่นฟิล์มที่ได้เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์บางอย่างต้องการทนแรงดึงฉีกขาด เช่น ในการใส่ของหนักไม่ทำให้ของภายในทะลุแผ่นฟิล์ม หรือความปลอดภัยระหว่างการขนส่ง เราจึงต้องการให้มีสมบัติทางด้านการทนแรงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งดัดแปรผสมพอลิบิวทีลีนซักซิเนตซึ่งทำการศึกษาวิเคราะห์หามาทั้งหมด ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 สามารถเตรียมแป้งดัดแปรได้

จากการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการเตรียมแป้งดัดแปรผสมระหว่าง แป้งถั่วเขียวต่อกลีเซอรอล พบว่าที่สภาวะการเตรียมแป้งดัดแปรที่สภาวะอุณหภูมิแต่ละโซนที่ 1,2,3 และ 4 คือ 60,120,125,130 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่แป้งไม่เกิดการสลายตัว โดยสัดส่วนผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวต่อกลีเซอรอลที่ 70:30

5.1.2 ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากพอลิบิวทีลีนซักซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากแป้งถั่วเขียว

จากการศึกษาคุณสมบัติการทดสอบความแข็งแรง การยืดตัว ณ จุดขาด การดูดน้ำ และการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม พบว่าสัดส่วน PBS:TPS ที่ 40:60 ตรงตามวัตถุประสงค์

5.1.3 การผสมกรดซิตริก 2 % เพิ่มไปในสัดส่วนของพอลิบิวทีลีนซักซิเนตต่อแป้งดัดแปรจากถั่วเขียว

จากการศึกษานำไปผสมกรดซิตริกร้อยละ 2 พบว่า จากการศึกษาทดสอบสมบัติการทดสอบความแข็งแรงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ในการทดลองเราใช้เครื่อง Single Screw Extruder ในการผสม TPS 0 จะพบว่าในการผสมนั้นก่อให้เกิดความล้าช้าเนื่องจากแป้งถั่วเขียวมีการผสมกับกลีเซอรอล ทำให้เกิดความชื้นและเหนียว ส่งผลให้เมื่ออยู่ในเครื่อง แป้งจะติดที่สกรู ควรที่จะเปลี่ยนไปใช้เครื่อง Spinder mixer ในขั้นตอนการผสม จะทำให้การผสมเข้ากันมากขึ้น

5.2.2. ในการ Compression พบว่าแผ่นชิ้นงานที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอ ควรที่จะใช้โมลที่ออกแบบมาโดยเฉพาะในการ Compression

เอกสารอ้างอิง

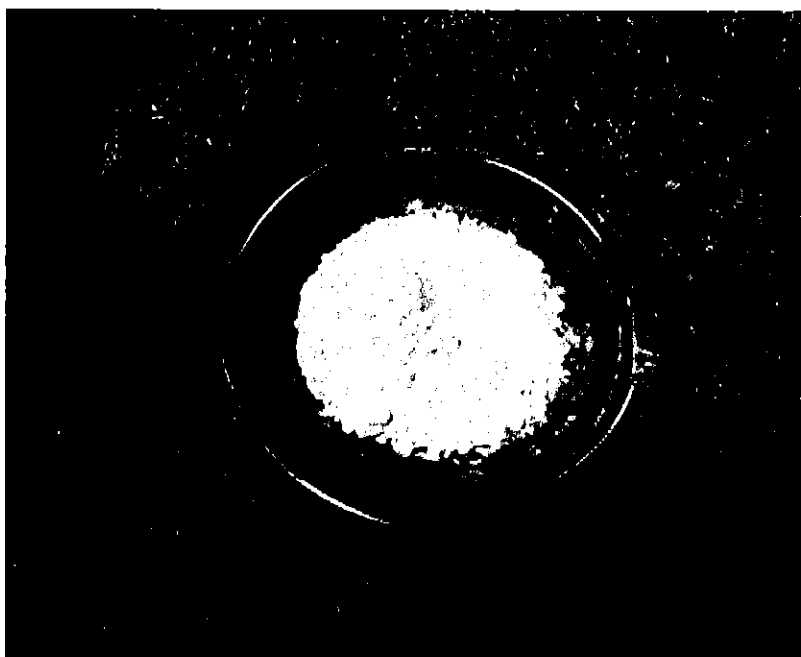
- [1] (23 มิถุนายน 2559) ระยะเวลาการย่อยสลาย (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2559,
จาก : http://region1.prd.go.th/ewt_news.php?nid=29244,
- [2] ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้(ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2559, จาก :
http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html,
- [3] พอลิเมอร์(ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2559, จาก :
http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/4/11/polymer/how_ispolymer.html
- [4] (2558). สารเกี่ยวกับพลาสติก(ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2559, จาก :
<http://www.xn--12c1bd9an0a9a1dua6i8c.net>
- [5] (2554). พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559, จาก :
<http://biology.ipst.ac.th/?p=927>
- [6] ดร.รังรอง ยกสำน,ดร.อำพร เสน่ห์ และ ผศ.ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์.นวัตกรรมวัสดุชีวฐาน เพื่อ
อุตสาหกรรมการบรรจุ(Bioplastics) (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก :
http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch53/group04/rangroung_y/Bio-based.html
- [7] (2553). พลาสติกย่อยสลายได้นวัตกรรมเพื่อโลก(ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559,
จาก : <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/39.pdf>
- [8] โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ / พีวีเอ (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559, จาก :
<http://www.vessel-chemical.com/Default.aspx?pageid=25>
- [9] รัชชัย สุขบำเพ็ญ (29 กรกฎาคม 2554). พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (BIODEGRADABLE
PLASTICS) (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559, จาก :
http://km.reo15.net/index.php?option=com_content&view=article&catid=9%3Arecycle&id=106%3A-biodegradable-plastics
- [10] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา (6 พฤษภาคม 2548). พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) (ออนไลน์).
สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2560, จาก : http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_5_2548_polymer_blend.pdf

- [11] ผศ. ดร. ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย(2557). Chemical Properties of Grain (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://slideplayer.in.th/slide/2100770/>
- [12] รศ.ดร.ดุษฎี อดุทภาพ(2530). เคมีและสมบัติของแป้ง (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2560, จาก : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/refer.html>
- [13] (9 ตุลาคม 2554) พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://xn--12cl6bpz6b9ayddw.com/page/8/>
- [14] (2555). What is Extrusion (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://www.plastics.com/extrusion-equipment/extrusion-what-is-pg2.html>
- [15] (2555). single-screw extruder for thermoplastics (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://www.directindustry.com/prod/dexsen/product-75630-759001.html>
- [16] (2556). เทคโนโลยีการขึ้นรูปยาง (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://rubber.oie.go.th/Article.aspx?aid=3404>
- [17] V. Costanzo. (2015). Solar Energy Materials and Solar Cells. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092702481600012X>
- [18] (2550). Civil Engineering Portal of Lectures & Training Material (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2559 , จาก : <http://www.aboutcivil.org/tension-test-tensile-strength-test.html>
- [19] In Sub Yun และคณะ(2557). A study on the Thermal and Mechanical Properties of (PolyButylenesuccinate)/Thermoplastic starch Binary Blends (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://link.springer.com/article/10.1007/s40684-016-0037-z>
- [20] Yossathorn Tanetrungroj และคณะ (2557). Effect of starch types on properties of biodegradable polymer based on thermoplastic starch process by injection molding technique (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2559, จาก : <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/37-2/37-2-10.pdf>

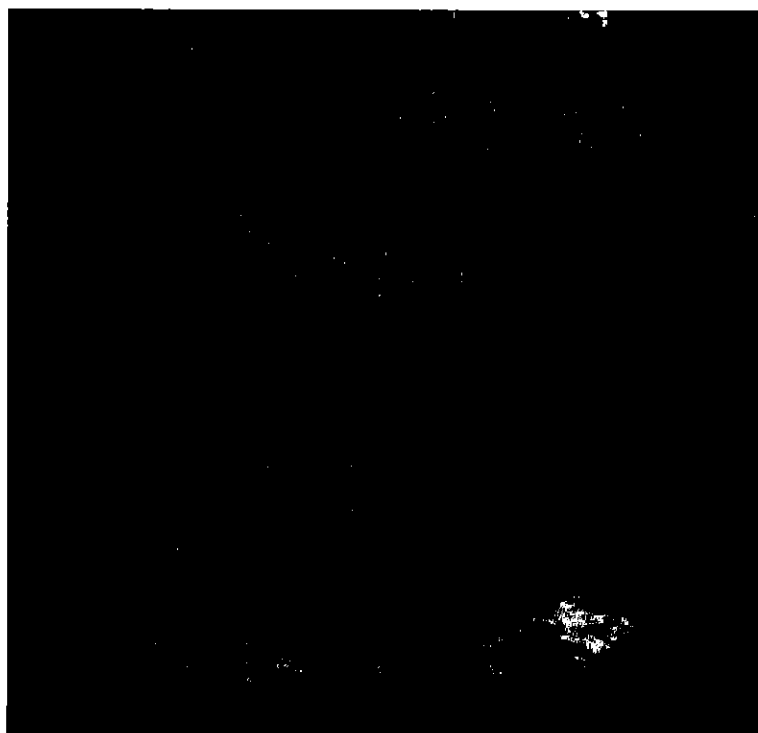
- [21] Narendra Reddy และคณะ (2015). Citric acid cross-linking of starch films (ออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2560,
จาก : file:///C:/Users/User/Downloads/Citric_acid_cross-linking_of_starch_films-1-1.pdf
- [22] นายกฤษณ์ขจร ผลภาค,นายจิรวุฒิ จงเจตน์สุข,และนายฐากร นิลคำเมือง(2558). การเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิเพื่อการใช้งานบอกอุณหภูมิความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.จังหวัดพิษณุโลก:มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองที่ใช้ในการทดลอง



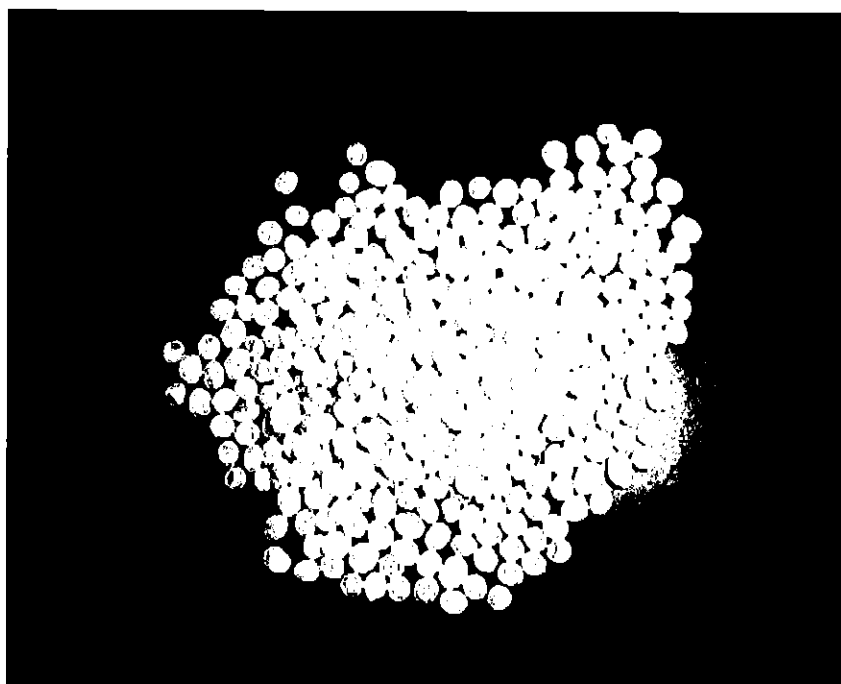
รูปที่ ก.1 ลักษณะของแป้งข้าวเหนียว



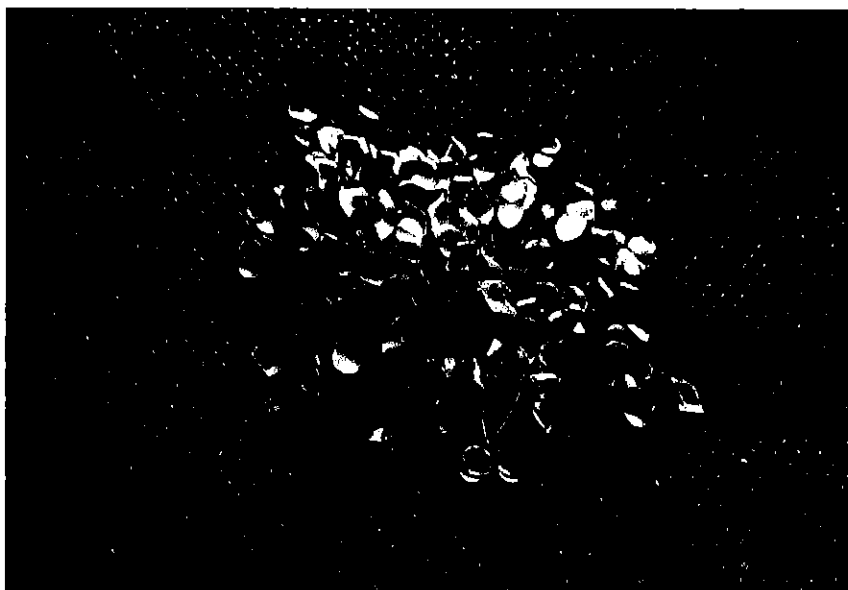
รูปที่ ก.2 การผสมแป้งดัดแปรที่เตรียมได้จากแป้งข้าวเหนียวผสมกลีเซอรอลที่สัดส่วน
70:30 แล้วเติมกรดซิตริก 2 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ ก.3 การผสมแป้งดัดแปรที่เตรียมได้จากแป้งข้าวผสมกลีเซอรอลที่สัดส่วน 70:30 ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว



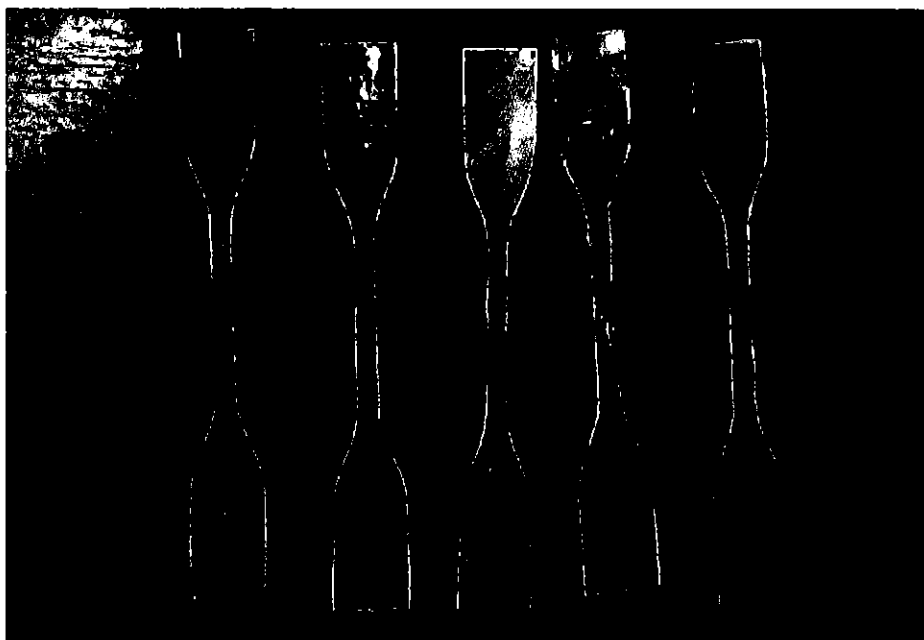
รูปที่ ก.4 ลักษณะของเม็ดพอลิবিവിਲින්ซักซิเนต



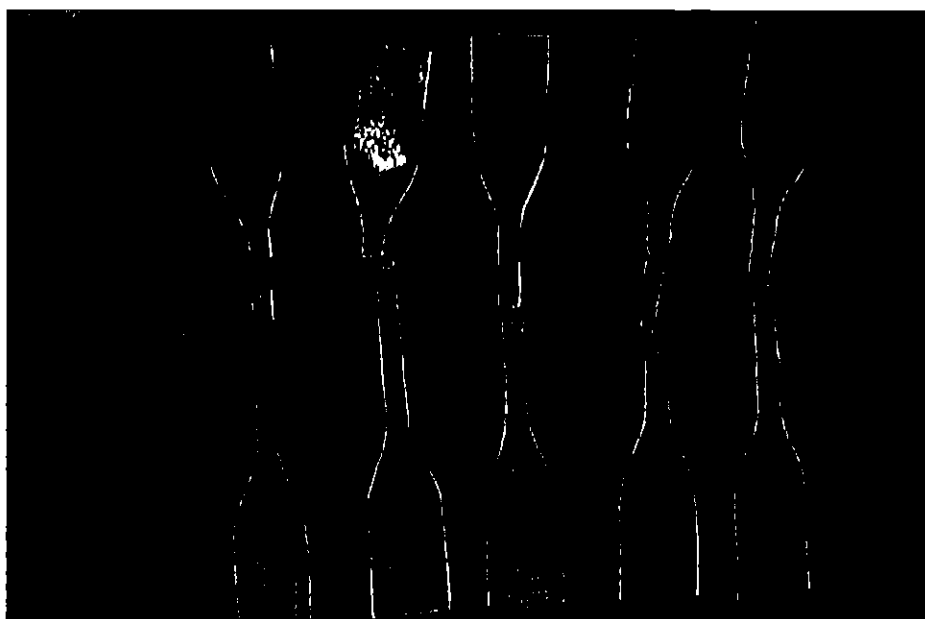
รูปที่ ก.5 การผสมแบ่งตัดแปรที่เตรียมได้จากแบ่งถั่วเขียวผสมกลีเซอรอลที่สัดส่วน 70:30 ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวและตัดเป็นเม็ด



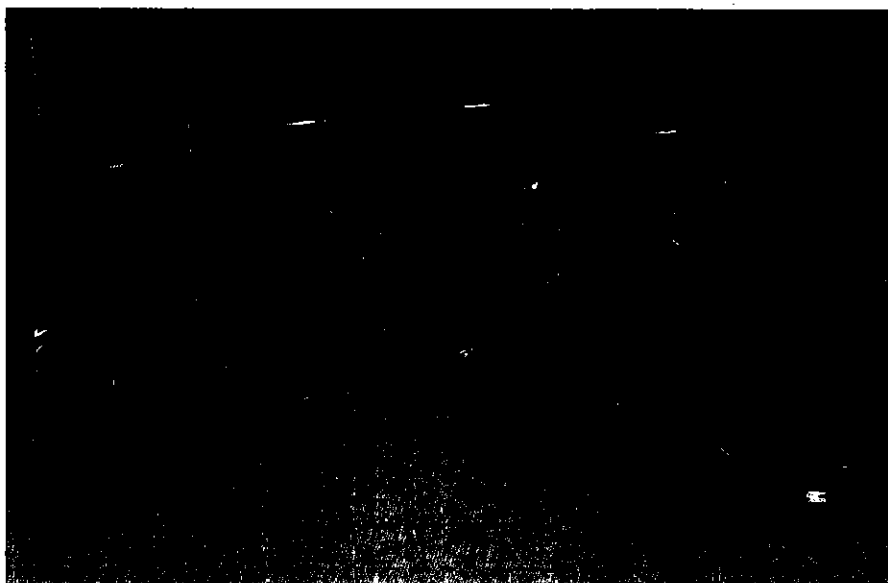
รูปที่ ก.6 แบ่งตัดแปรผสมพอลิবিวธิสินซักซิเนตที่สัดส่วน PBS40:60TPS ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวและตัดเป็นเม็ด



รูปที่ ก.7 ตัวอย่างขนาดของแผ่น PBS:TPS ก่อนนำไปทดสอบแรงดึง



รูปที่ ก.8 ตัวอย่างขนาดของแผ่น PBS:TPS หลังผ่านการทดสอบแรงดึง



รูปที่ ก.9 ตัวอย่างการแช่น้ำเพื่อนำไปคำนวณหาค่าร้อยละการละลายน้ำและร้อยละการดูดน้ำ

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 สมบัติเชิงกลเชิงของแผ่น PBS:TPS ที่สัดส่วนต่างๆ

Composition %		Tensile strength (MPa)	Elongation at break
PBS	TPS	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
0	100	1.2	9.2
10	90	1.5	16.0
20	80	3.1	13.2
30	70	4.0	6.5
40	60	7.6	6.6
50	50	6.1	4.7
60	40	8.3	7.0
70	30	7.8	4.9
80	20	8.2	5.8
90	10	11.8	5.3
100	0	49.9	14.4
กรดซิตริก 2%			
40	60	5.1	7.5

ตารางที่ ข.2 ค่าการแช่น้ำเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง และค่าหลังอบที่อุณหภูมิ 80 องศา ของแผ่น

PBS:TPS ในสัดส่วนต่าง ๆ

Composition %		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	หลังอบ
PBS	TPS			
0	100	0.117	0.172	0.072
		0.107	0.171	0.062
		0.177	0.096	0.082
		0.123	0.177	0.075
		0.153	0.224	0.095
เฉลี่ย		0.1354	0.168	0.0772
10	90	0.111	0.140	0.075
		0.123	0.168	0.081
		0.126	0.150	0.085
		0.125	0.149	0.084
		0.127	0.153	0.084
เฉลี่ย		0.1224	0.152	0.0818
20	80	0.148	0.169	0.106
		0.137	0.154	0.095
		0.141	0.138	0.100
		0.129	0.150	0.092
		0.138	0.161	0.096
เฉลี่ย		0.1386	0.1544	0.0978
30	70	0.102	0.110	0.077
		0.105	0.113	0.079
		0.106	0.118	0.080
		0.115	0.128	0.089
		0.107	0.115	0.082
เฉลี่ย		0.107	0.1168	0.0814

Composition %		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	หลังอบ
PBS	TPS			
40	60	0.068	0.07	0.049
		0.06	0.062	0.062
		0.072	0.073	0.051
		0.071	0.072	0.055
		0.053	0.052	0.041
เฉลี่ย		0.0648	0.0658	0.047
50	50	0.055	0.055	0.046
		0.061	0.062	0.046
		0.062	0.060	0.048
		0.063	0.063	0.053
		0.055	0.058	0.044
เฉลี่ย		0.0592	0.0596	0.0474
60	40	0.055	0.055	0.049
		0.045	0.040	0.034
		0.053	0.047	0.042
		0.051	0.047	0.040
		0.064	0.063	0.046
เฉลี่ย		0.0536	0.0504	0.0422
70	30	0.043	0.047	0.042
		0.049	0.050	0.044
		0.043	0.046	0.037
		0.047	0.049	0.042
		0.052	0.051	0.048
เฉลี่ย		0.0468	0.0486	0.0426

80	20	0.045	0.045	0.043
		0.040	0.040	0.036
		0.045	0.044	0.043
		0.042	0.039	0.038
		0.053	0.050	0.048
เฉลี่ย		0.045	0.0436	0.0416
90	10	0.035	0.035	0.032
		0.045	0.050	0.039
		0.040	0.052	0.048
		0.048	0.040	0.038
		0.052	0.052	0.047
เฉลี่ย		0.044	0.0458	0.0408
100	0	0.041	0.03	0.033
		0.039	0.041	0.04
		0.03	0.027	0.029
		0.038	0.033	0.038
		0.032	0.05	0.033
เฉลี่ย		0.036	0.0362	0.0346
40	60	0.046	0.046	0.029
เพิ่มกรดซิดริก 2 %		0.056	0.057	0.036
		0.053	0.054	0.034
		0.058	0.059	0.039
		0.076	0.074	0.048
เฉลี่ย		0.0578	0.058	0.0372

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดน้ำ และละลายน้ำหลังการคำนวณ

Composition %		ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดน้ำ	ค่าเฉลี่ยร้อยละการละลายน้ำ
PBS	TPS		
0	100	49.3	34.8
10	90	21.2	32.9
20	80	14.9	29.9
30	70	9.0	24.0
40	60	1.4	24.0
50	50	0.8	19.9
60	40	2.1	20.2
70	30	1.5	9.5
80	20	-3.0	7.6
90	10	-1.4	13.1
100	0	-11.2	15.3
กรดซิตริก 2%			
40	60	0.6	35.6

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวปรีณา ถาดี้บ

ภูมิลำเนา 52 หมู่ 11 ต. ร่มจิต อ. ท่าปลา จ. อุตรดิตถ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
น้อมเกล้าอุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: paweenath56@email.nu.ac.th



ชื่อ นางสาวภัทรา สืบวงษา

ภูมิลำเนา 343/5 หมู่ 5 ต.อ่างทอง อ.เมือง จ.กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: meaw_friendly@hotmail.com



ชื่อ นางสาวศุภนิดา อินทร์จันทร์

ภูมิลำเนา 57/7 ม.4 ต.ไทยवास อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม

ประวัติการศึกษา

- จบระดับชั้นมัธยมศึกษาโรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: gibsupanida@hotmail.com



ชื่อ นางสาวสุธีรา งามขำ

ภูมิลำเนา 32 หมู่ 3 ต.หนองหญ้า อ.เมือง จ.กาญจนบุรี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนกาญจนาอนุเคราะห์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: suteera.ngamkham@gmail.com