สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่ใช้แล้ว

T 0 3 7 6 4 9

นางสาวณัฐติอร ธัญญูประกอบ
นางสาววิภา ลีลาเอกเลิศ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่........................
เลขทะเบียน....37649....
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Processing of Recycled Polyolefins and Poly(ethylene terephthalate) Blends

Miss Nuttiorn Thunyaprakob

Miss Wipa Leelaeaklert

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กระบวนการผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่ใช้แล้ว
นักศึกษา	นางสาวณัฐติอร ธัญญประกอบ
	นางสาววิภา ลีลาเอกเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วนผสมต่างๆกันโดยใช้สารช่วยผสม จากนั้นทำการศึกษาหาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของพอลิโอลิฟินส์ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเป็น 0:100 50:50 และ100:0 ตามลำดับ โดยใช้กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับมาลิอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสมเติมในปริมาณ 1 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

จากการวิจัยพบว่า การเติมสารช่วยผสมทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น แต่ลดลงเมื่อปริมาณมากเกินไป ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมนี้ใช้กระบวนการอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 230°C ปริมาณสารช่วยผสม 1% ของน้ำหนักทั้งหมด และจากผลการศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาพบว่า พอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 50:50 สามารถเข้ากันได้ดีและมีบทบาทสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่เป็นสารตั้งต้นในการผสม พบว่า ค่าความโค้งงอสูงขึ้น ความทนทานต่อแรงกระแทกและความแข็งมีค่าอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ตั้งต้นทั้งสอง ส่วนค่ามอดุลัสและความแข็งแรงดึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กระบวนการผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่ใช้แล้ว
นักศึกษา	นางสาวณัฐติอร ธัญญประกอบ รหัส 39054213
	นางสาววิภา ลีลาเอกเลิศ รหัส 39054246
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

.... หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.... ประธานกรรมการ

(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

.... กรรมการ

(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

.... กรรมการ

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Processing of Recycled Polyolefins and Poly(ethylene terephthalate) Blends
Name	Miss Nuttiorn Thunyaprakob
	Miss Wipa Leelaeaklert
Special Project Advisor	Asst.Prof.Somsak Woramongconchai
Department	Chemistry
Academic Year	1999

Abstract

This special project aimed to study the optimum condition for processing of polyolefins and poly(ethylene terephthalate) blends using a compatibilizer. Polymer blends were prepared by using the two-roll mill and single-screw extruder techniques and then were investigated the mechanical and morphological properties. The blends ratio between polyolefins and poly(ethylene terephthalate) were varied from 0:100, 50:50 and 100:0, respectively. The polypropylene and maleic anhydride grafted copolymer as a compatibilizer was varied from 1, 3 and 5 percent by weight for comparison.

The research showed that the adding of compatibilizer increased the mechanical properties and then decreased when exceeded compatibilizer was added to polymer blends. The optimum condition of polymer blends from single-screw extruder used screw speed of 50 rpm, temperature of 230^{0}C and added 1% by weight of compatibilizer. From studying the morphological properties, we found that the ratio of 50:50 between polyolefins and poly (ethylene terephthalate)was blended well. Polymer blends from the optimum condition gave better flexural strength but lower modulus and tensile strength whereas impact strength and hardness values were between both starting polymers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ สั่งสอนและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุภารัตน์ จำปา และดร.ชลลดา ฤตวิรูพห์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดมา ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

สุดท้ายขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี บุคคลที่ให้การช่วยเหลือทุกท่านและขอบคุณเพื่อนๆรุ่นพี่รุ่นน้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นางสาวณัฐติอร ธัญญประกอบ
นางสาววิภา ลีลาเอกเลิศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2. พอลิเมอร์ผสม	5
2.3. ความสามารถในการเข้ากันได้	7
2.4. สารช่วยในการผสม	9
2.5. พอลิโอลิฟินส์	10
2.5.1. พอลิเอทิลีน	10
2.5.1.1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	10
2.5.1.2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	12
2.5.2. พอลิโพรพิลีน	15
2.6. พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท	16
2.7. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	19
2.7.1. เครื่องย่อยพลาสติก	19
2.7.2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	20
2.7.3. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	21
2.7.4. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน 30
3.1. สารเคมี 30
3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ 30
3.3. วิธีการทดลอง 31
3.3.1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) 31
3.3.1.1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์ 31
3.3.1.2. การเตรียมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท 31
3.3.2. การผสมพอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) 32
3.3.2.1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 32
3.3.2.2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 34
3.3.3. การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป 36
3.3.4. การทดสอบสมบัติต่างๆ 42
3.3.4.1. สมบัติเชิงกล 42
3.3.4.1.1. ทดสอบค่าความแข็งแรงดึง 42
3.3.4.1.2. ทดสอบค่าความยืดหยุ่น 42
3.3.4.1.3. ทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก 42
3.3.4.1.4. ทดสอบความแข็ง 43
3.3.4.2. สมบัติทางสัณฐานวิทยา 43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 44
4.1. การศึกษาหาผลของสารช่วยผสม 44
4.2. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 61
4.3. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 65
4.4. การศึกษาเปรียบเทียบหาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมจากสมบัติเชิงกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยา 69
4.5. เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม 74
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 75
5.1. อัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์หลักและสารช่วยผสม 75
5.2. สภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท 75
5.3. ความเป็นไปได้ในการนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งาน 76
5.4. ข้อเสนอแนะ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 78

เอกสารอ้างอิง 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีน 14

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 100:0 32

ตารางที่ 3.2 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 50:50 33

ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 0:100 33

ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 100:0 34

ตารางที่ 3.5 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 50:50 35

ตารางที่ 3.6 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 0:100 35

ตารางที่ 3.7 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 50:50 36

ตารางที่ 3.8 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 100:0 38

ตารางที่ 3.9 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อัตราส่วน 0:100 40

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการดำเนินกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 61

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการดำเนินกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 65

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดระหว่าง 2 กระบวนการ 69

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม 74

ตารางภาคผนวก 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม	6
รูปที่ 2.2	ความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม	6
รูปที่ 2.3	แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	8
รูปที่ 2.4	แสดงขั้นตอนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	11
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	12
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	12
รูปที่ 2.7	แสดงผลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติต่างๆของพอลิเอทิลีน	13
รูปที่ 2.8	แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท	16
รูปที่ 2.9	แสดงการผลิตพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท	17
รูปที่ 2.10	แสดงเครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.11	แสดงภาคตัดขวางของเครื่องโม่ตัด	20
รูปที่ 2.12	แสดงทิศทางการหมุนของลูกกลิ้ง	21
รูปที่ 2.13	แสดงส่วนต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	23
รูปที่ 2.14	แสดงส่วนต่างๆของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก	25
รูปที่ 2.15	แสดงแม่พิมพ์แบบ 2 เพลท (Two-plate mould) ขณะปิดและเปิด	26
รูปที่ 2.16	แสดงทางเข้า (Gate) ชนิดต่างๆ	28
รูปที่ 2.17	แสดงวัฏจักรการขึ้นรูปโดยการฉีด	29
รูปที่ 4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที	45
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที	46
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที 47

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที 47

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที 48

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที 48

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที 49

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที 49

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที 50

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที 50

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที 51

รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที	52
รูปที่ 4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที	52
รูปที่ 4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที	53
รูปที่ 4.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งเวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที	53
รูปที่ 4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที	54
รูปที่ 4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที	54
รูปที่ 4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที	55
รูปที่ 4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที	55
รูปที่ 4.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที	56
รูปที่ 4.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งเวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที	57
รูปที่ 4.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งเวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที	57
รูปที่ 4.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที	58
รูปที่ 4.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที	58
รูปที่ 4.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที	59
รูปที่ 4.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที	59
รูปที่ 4.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที	60
รูปที่ 4.31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1%และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50	62
รูปที่ 4.32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50	63
รูปที่ 4.33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50 64

รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50 64

รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 66

รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 67

รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 67

รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 68

รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 68

รูปที่ 4.41 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 71

รูปที่ 4.42 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 100(1%):0 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.43 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 0:100 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 72

รูปที่ 4.44 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 72

รูปที่ 4.45 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 100(3%):0 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 73

รูปที่ 4.46 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 0:100 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 73

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงงาน

"พลาสติก" นับวันจะกลายเป็นสิ่งจำเป็นของชีวิตประจำวันไปเสียแล้ว นับตั้งแต่นำมาเป็นภาชนะบรรจุสิ่งของต่างๆไม่ว่าจะเป็นของเหลวที่ร้อนหรือเย็น ของแข็งที่เป็นชิ้น รวมไปถึงการนำพลาสติกมาหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่เป็นของเล่น ของใช้

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ภาชนะพลาสติก หรือของเล่น ของใช้ต่างๆมีการนำวัตถุดิบประเภทพลาสติกมาผลิตหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ ไนลอน พอลิไวนิลลิดีนคลอไรด์ พอลิคาร์บอเนต อะคริโลไนทริลบิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เป็นต้น

พลาสติกที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ ส่วนใหญ่นิยมใช้พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ซึ่งนำมาใช้ในการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์และบรรจุอาหารที่มีความปลอดภัยมากกว่า โดยได้รับอนุญาตให้ใช้กับอาหารได้ตามประกาศขององค์การอาหารและยา หรือ FDA ของสหรัฐอเมริกา พลาสติกดังกล่าว คือ พอลีเอทิลีนเทอเรฟทาเลท หรือ PET

จากผลของความนิยมในการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทำให้แนวโน้มของปริมาณการใช้พลาสติกมากขึ้นก่อให้เกิดปัญหาตามมา คือ ปัญหาขยะพลาสติก ซึ่งส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้จึงมีการรณรงค์เพื่อแก้ปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยนำมาบดผสมกับพลาสติกอื่น ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติใหม่ขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการนำพลาสติกพอลิโอลิฟินส์ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มาผ่านกระบวนการเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำพอลิโอลิฟินส์มาผสมในอัตราส่วนที่เท่ากันและใช้มาลิอิกแอนไฮดรายกราฟท์พอลิโพรพิลีน (PP-g-MA) เป็นสารช่วยผสมที่อัตราส่วน 1% 3% และ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด จากนั้นจึงนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนต่างๆกันดังนี้ คือ 0/100 50/50 และ100/0 โดยน้ำหนัก ทำการปรับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการผสมและอัตราเร็วรอบของสกรูของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) โดยผลจากการศึกษาทำให้ทราบถึงผลของสารช่วยผสม สภาวะและกระบวนการที่เหมาะสม ในการนำขวดพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำพลาสติกที่ใช้แล้ว จำพวกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

1.2.2. เพื่อศึกษาหาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสม พอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เข้าด้วยกันโดยใช้สารช่วยผสม

- เพื่อศึกษาผลของสารช่วยผสมที่ช่วยในการผสม พอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เข้าด้วยกัน
- เพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)
- เพื่อศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการผสมและอุณหภูมิที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วน โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

1.2.3. เพื่อศึกษาหาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม ในสภาวะและกระบวนการที่แตกต่างกัน

1.3.2. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมแต่ละอัตราส่วนระหว่างเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์หลักและสารช่วยผสม ที่จะทำให้สมบัติต่างๆดีที่สุด

1.4.2. ทราบถึงสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

1.4.3. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1996 A.R. Oromiehie และคณะ [1] ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) กับพอลิอัลคีน โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่าง มาลิอิกแอนไฮดราย (MA) กับพอลิโพรพิลีน (PP) (PP-g-MA) และกราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างอะคริลิกแอซิด (AA) กับพอลิโพรพิลีน (PP) (PP-g-AA) โดยใช้เครื่อง Haake rheometer เครื่อง Capillary rheometer และเครื่อง Fourier Transform Infared Spectroscopy (FTIR) ทดสอบความหนืด การดูดกลืนแสงและความหนืดของหลอมเหลว (Melt viscosity) พบว่าผสมเข้ากันได้ดีขึ้น

ในปี 1997 LiYao และ Charles Beatty [2] ได้ทำการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เข้ากับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับอีพอกซี (Epoxy) (HDPE-g-epoxy) โดยทำการศึกษาความหนืดและดัชนีการหลอมเหลว (melt flow index) ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ต่างๆกัน พบว่าการเข้ากันได้ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) (สัณฐานวิทยา) รวมถึงสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น

ในปี 1998 Michel F. Chanpagne และคณะ [3] ได้ทำการผสมพอลิโพรพิลีน (PP) เข้ากับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) กับ พอลิโพรพิลีน (PP) (GMA-g-PP) ที่มีเปอร์เซนต์ของไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) ต่างๆกันคือ 0.2 และ 1.2 โดยศึกษาหน้าที่ของการแจกจ่าย (Distribution function) ความหนืด มอดุลัส ความเค้น และการเข้ากันได้ของพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) (สัณฐานวิทยา) พบว่าเมื่อเปอร์เซนต์ไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) มากขึ้นสมบัติต่างๆดีขึ้น

ในปี 1999 Scott Kennedy และคณะ [4] ได้ทำการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำให้พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ที่นำกลับมาใช้ใหม่แห้ง โดยทำการศึกษาความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดึง ดัชนีการหลอมเหลว (Melt Index) และลักษณะที่ปรากฏ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 177°C ในเวลา 6 ชั่วโมง

ในปี 1999 Kathleen C. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาถึงชนิดของพอลิโพรพิลีน (PP) และสารตัวเติมที่มีผลกระทบต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกพอลิโอลิฟินส์ (TPOs) โดยศึกษาสมบัติต่างๆ คือ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส มอดุลัสของการโค้งงอ การดึงยืดและความทนทานต่อแรงกระแทก พบว่าพอลิโพรพิลีน (PP) จะทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัสและมอดุลัสของการโค้งงอลดลง แต่การดึงยืดและความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมสารตัวเติม ซึ่งใช้พวกแป้ง พบว่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสของการโค้งงอเพิ่มขึ้น แต่การดึงยืดและความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง

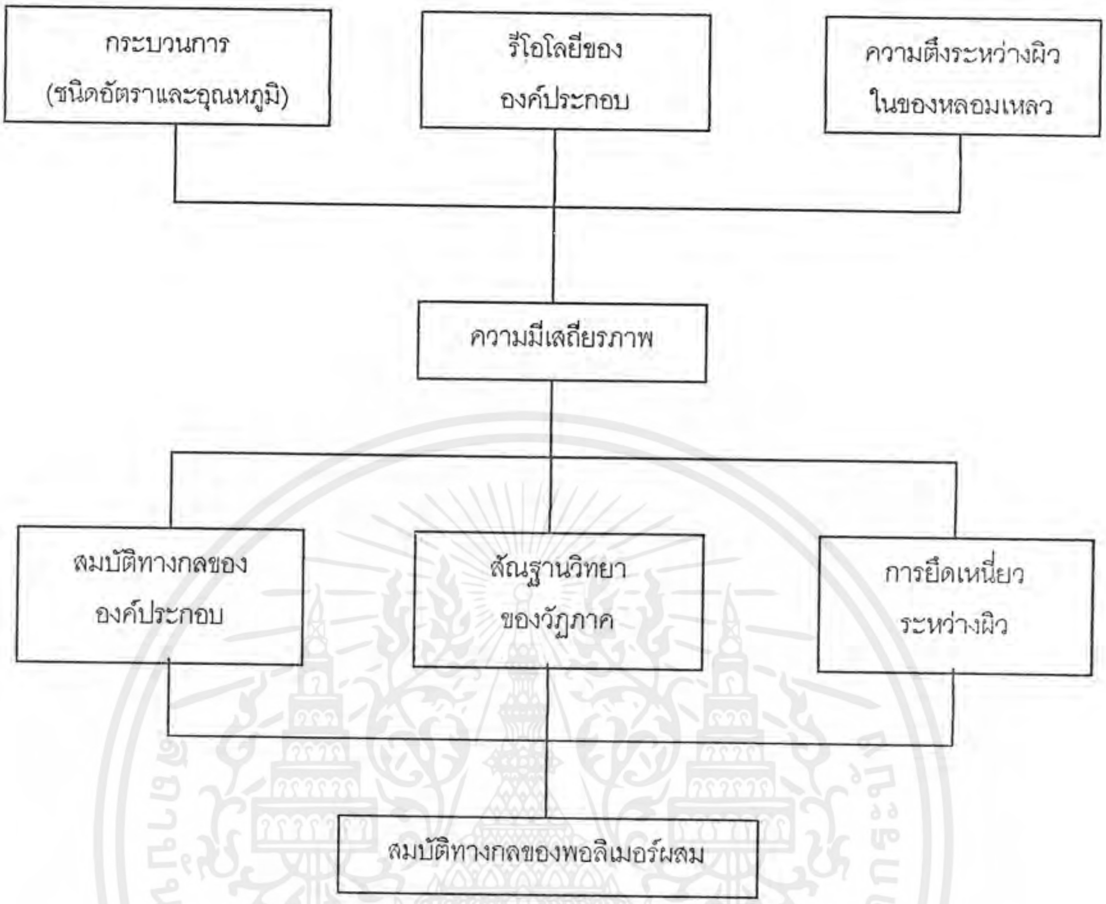
ในปี 1999 Nupur Patel [6] ได้ทำการผสมพอลิโพรพิลีนยืดหยุ่น (FPP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยทำการศึกษาค่ามอดุลัส ความแข็งแรงดึงและความแข็ง พบว่า เมื่อผสมพอลิโพรพิลีนยืดหยุ่น (FPP) ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จะทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงดึงและความแข็งลดลง

2.2. พอลิเมอร์ผสม

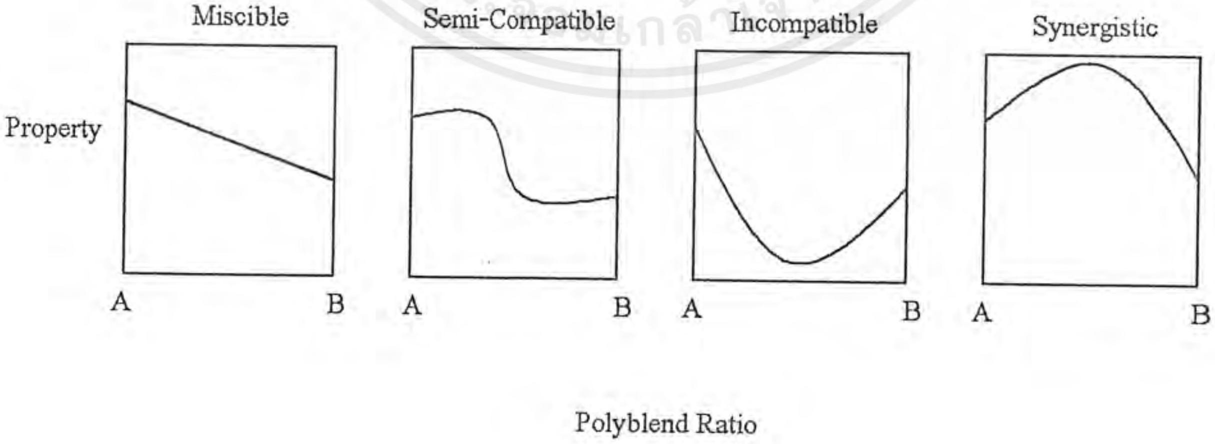
พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันนี้อยู่รวมกันและสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้นี้แตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติในการนำไปใช้งานของพอลิเมอร์ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นหลายวัฏภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม [7]



รูปที่ 2.2 ความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. ความสามารถในการเข้ากันได้

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) หมายถึงความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่มาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวมกัน ซึ่งทราบได้จากการศึกษาและทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้แก่

2.3.1. พลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing) มีค่าเป็นบวกทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์

เทอร์โมไดนามิกส์ของการละลายเข้ากันได้ เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสม โดยที่ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม ถูกกำหนดโดยสมดุลเอนโทรปี ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระในการผสม สารโมเลกุลขนาดเล็กจะมีค่าเอนโทรปีสูงพอที่จะเกิดความสามารถในการละลายเข้ากันได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ ซึ่งจัดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีค่าเอนโทรปีต่ำจนเกือบศูนย์จึงทำให้ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทาลปีเพียงอย่างเดียว โดยที่การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในการผสมเป็นดังสมการที่ (1)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \qquad (1)$$

เมื่อ ΔG = การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสม

ΔH = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในการผสม

ΔS = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของผสม

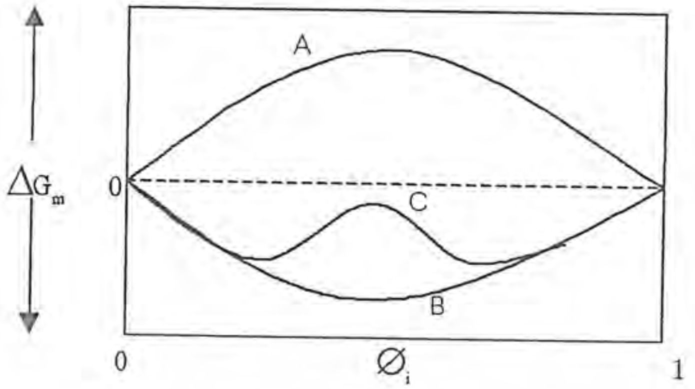
การที่พอลิเมอร์จะสามารถผสมเข้ากันได้ พลังงานอิสระในการผสมจะต้องตรงตามเงื่อนไขตามสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\Delta G < 0 \qquad (2)$$

$$(\partial^2 \Delta G / \partial \varnothing^2)_{P.T.} > 0 \qquad (3)$$

เมื่อ $\varnothing$ เป็นเศษส่วนโมลของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟลักษณะตัวเอสในกรณีที่สามารถละลายเข้ากันได้บ้างและได้กราฟรูปตัวยูในกรณีที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์ [7]
เมื่อ A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์
B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์
C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

2.3.2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น : แรงดึงดูดระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจน เกิดขึ้นทั้งโมเลกุลของสายโซ่หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น

2.3.3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลง

2.3.4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ สมบัติที่ทดสอบจะต้องได้จากการแยกออกจากกันในแต่ละวัฏภาค แต่ในบางครั้งพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ได้แยกวัฏภาคอย่างเด่นชัด

2.3.5. พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน อาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ได้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible blend) จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของวัฏภาคพอลิเมอร์ทั้งสอง เพื่อให้สมบัติทางสัณฐานวิทยาดีขึ้น โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ

(1) องศาการกระจายตัวของวัฏภาคพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด

(2) รูปร่างและขนาดของอนุภาคในวัฏภาคกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสม ปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิด รวมถึงวิธีการผสม สภาวะในการผสม และกระบวนการในการขึ้นรูปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ เรียกว่า เฮตเทอร์โรจีเนียส (Heterogeneous) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่งและมีวัฏภาคกระจายตัว (Disperse phase) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ภายในโดยจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจนและมีลักษณะเป็นขอบเขตวัฏภาค (Phase boundary)

2.4. สารช่วยในการผสม

สารช่วยผสมใช้ผสมพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการละลายและลดแรงตึงผิว (Surface tension) ซึ่งกันและกันระหว่างเฟสที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาคเฟสที่กระจายลดลง และเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (Interfacial adhesion) ของแต่ละเฟสด้วย ทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถรับและกระจายแรงมากขึ้น (Improved stress transfer) นอกจากนี้สารช่วยผสมจะเพิ่มโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงในพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

สารช่วยผสมที่ใช้กันอยู่เป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้สามารถละลายได้และทำตัวเป็นสะพานเชื่อมทั้งสองเฟส พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยผสมจะมีสมบัติดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ใช้สารช่วยผสม ซึ่งการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยวิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าองศาการเข้ากันได้ที่ได้จากสารช่วยผสม

สารช่วยผสมที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ Polybond 3150 Maleic anhydride modified homopolymer polypropylene มีสมบัติดังนี้

- Melt Flow Rate	50 g/10 min
- Density at 23^0 C	0.91 g/cc.
- Melting Point	157^0C

โดยสารช่วยผสมนี้นิยมใช้ใน Polypropylene/polyamide และ polypropylene/EVOH เพื่อช่วยปรับปรุงความสามารถในการผลิตและสมบัติเชิงกลตลอดจนเสถียรภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. พอลิโอลิฟินส์

2.5.1. พอลิเอทิลีน (PE)

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิโอลิฟินส์ที่ถูกใช้ปริมาณมากที่สุดในวัสดุเทอร์โมพลาสติก ซึ่งได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม (Addition polymerization) ของเอทิลีน มีโครงสร้างพื้นฐานคือ $-(CH_2\text{-}CH_2)_n-$

พอลิเอทิลีนต่างชนิดกันจะมีโครงสร้าง คุณลักษณะและการนำไปใช้แตกต่างกัน โดยในที่นี้แบ่งเป็น

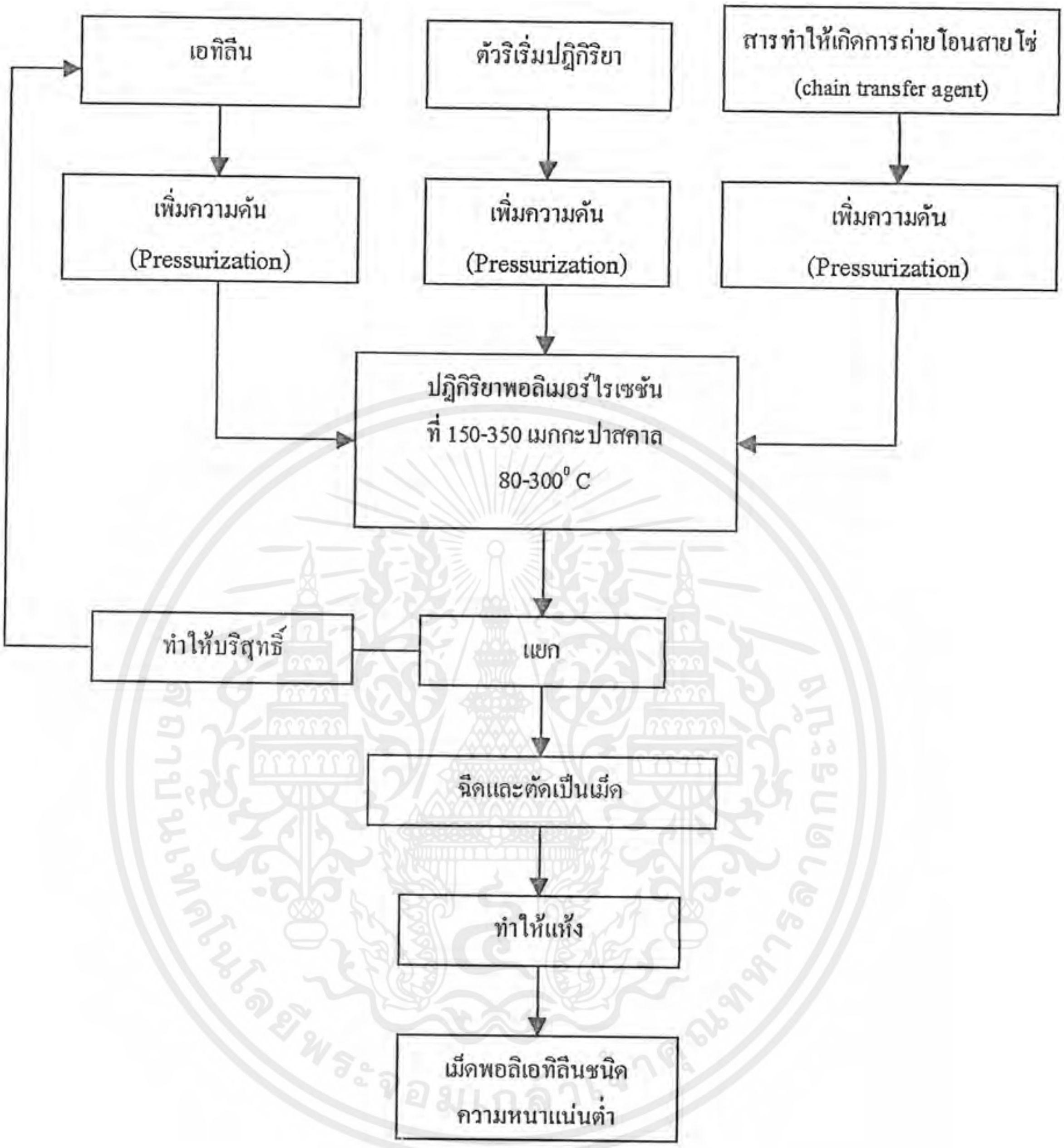
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) มีความหนาแน่น 0.915-0.935 g/cm^3
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) มีความหนาแน่น 0.941-0.967 g/cm^3

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนเชื่อมโยง (Crosslinked polyethylene) คลอโรซันโฟเนเทดพอลิเอทิลีน (Chlorosulfonated polyethylene) และพอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน (copolymer of ethylene)

2.5.1.1.พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) ที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยมีเอโซไอโซบิวทิโรไนไทล์ (Azoisobutyronotrile, AIBN) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide, BP) หรือออกซิเจน (10-100 ส่วนในล้านส่วน (ppm)) เป็นตัวริเริ่มที่ใช้กันทั่วไป เนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระขึ้นกับความเข้มข้นของมอนอเมอร์ โดยการเติบโตของสายโซ่จะมีระยะเวลาจำกัดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นมอนอเมอร์จึงต้องมีความเข้มข้นสูง เพื่อจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ขบวนการนี้จึงเกิดที่ความดันสูงในช่วง 150-350 เมกกะปาสคาล (MPa) หรือ 1,500-3,000 บรรยากาศ เพราะมอนอเมอร์จะมีความเข้มข้นสูงและใช้ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 80-300^{0}C ในขบวนการทั่วไป มอนอเมอร์ 10-30% จะเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่ได้นี้จะละลายในเอทิลีน สำหรับพอลิเมอร์ที่ได้จะแยกออกจากเอทิลีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาโดยการลดความดันลง จากนั้นจะถูกฉีดออกมาเป็นเส้นและตัดเป็นเม็ด ส่วนเอทิลีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะถูกทำให้บริสุทธิ์และนำกลับไปใช้ใหม่ ขั้นตอนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [9]

2.5.1.2.พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

กระบวนการในการผลิตจะเป็นปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งและใช้ความดันต่ำ โดยมีบางกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายด้วย ซึ่งที่อุณหภูมิของกระบวนการพอลิเมอร์ที่ได้จะไม่ละลายและอยู่ในรูปแขวนลอย จากนั้นจะเกิดเป็นเม็ดพอลิเอทิลีน กระบวนการแบบสารละลายนี้อาจทำที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์ออกมา กระบวนการอีกแบบหนึ่ง คือ การใช้ก๊าซ-ของแข็ง ซึ่งผงของพอลิเอทิลีนจะแขวนลอยอยู่ในก๊าซเอทิลีน

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสูง ใช้ในขบวนการขึ้นรูปแบบเป่า (Blow molding) และใช้ทำท่อ อีกชนิดหนึ่งมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ใช้ในขบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection molding) และการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotomolding) โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแสดงดังรูปที่ 2.6

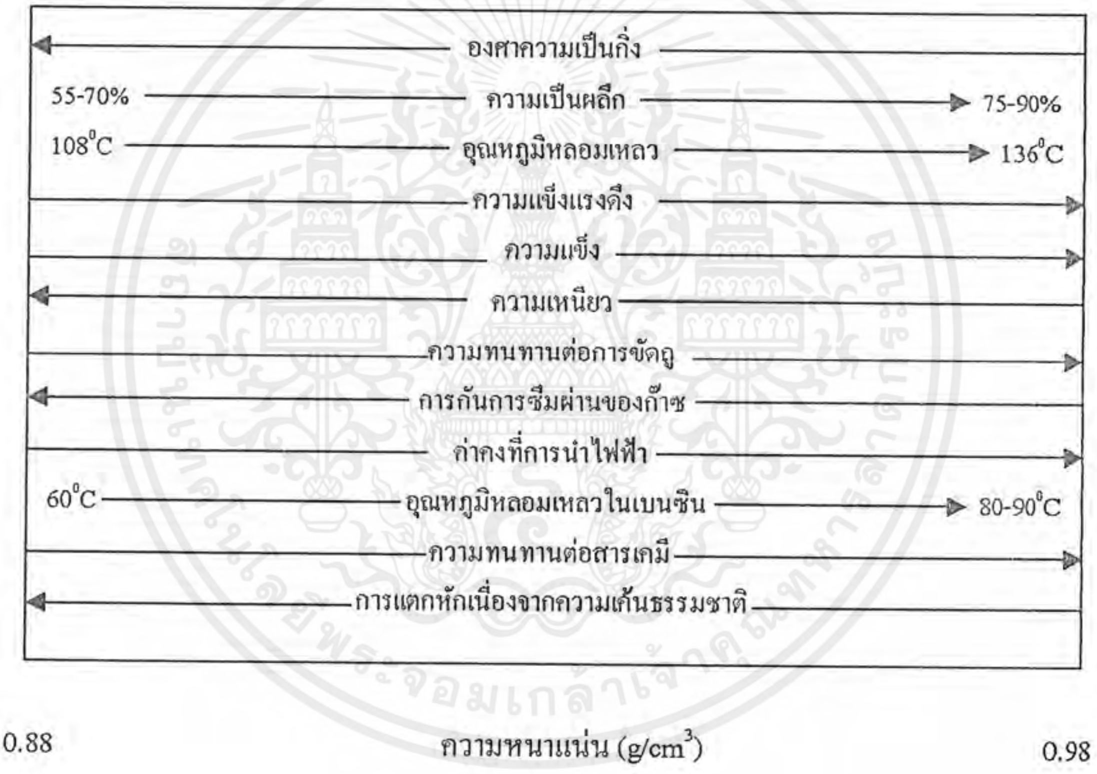
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สมบัติของพอลิเอทิลีน</u>

(1) สมบัติทางกลและทางความร้อน (Mechanical and thermal properties)

สมบัติต่างๆของพอลิเอทิลีนขึ้นกับความเป็นกิ่งของพอลิเมอร์ โดยความเป็นกิ่งนี้ขึ้นกับตัวแปรในการผลิต เช่น อุณหภูมิ ความดัน ชนิดและปริมาณตัวเร่ง ตัวริเริ่มปฏิกิริยา รวมทั้งสารทำให้เกิดการถ่ายโอนของสายโซ่ ความเป็นกิ่งนี้มีผลกับความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีค่าองศาความเป็นผลึก 55-70% พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีค่าเท่ากับ 75-90% โดยที่อุณหภูมิหลอมเหลวเริ่มจาก 108°C ถึง 132°C ผลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติต่างๆของพอลิเทิลีนแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติต่างๆของพอลิเอทิลีน [9]

ค่าความจุความร้อน (Cp) ของพอลิเอทิลีน จะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น โดยความแข็งแรงขึ้นกับอุณหภูมิ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีค่าความจุความร้อน 2.3 J/g ที่อุณหภูมิห้องและมีค่าเท่ากับ 2.9 J/g ที่ 120-140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติอื่นๆจะขึ้นกับความเป็นผลึก เช่น ความเหนียว ความแข็ง ความทนทานต่อการฉีกขาด จุดคราก มอดุลัสและความทนทานต่อสารเคมี จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อองศาความเป็นผลึกเพิ่ม แต่การยอมให้ของเหลวและก๊าซผ่าน ความโค้งงอจะลดลง

การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ของพอลิเอทิลีน จะมีค่าตั้งแต่ 1.9 ถึง 100 โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จะมีค่า MWD 4-15 ส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จะมีค่า MWD สูงมาก ทำให้ในบางครั้งไม่สามารถทราบได้ว่าสมบัติที่เกิดขึ้นมีผลมาจากกิ่งมีความยาวสูงหรือมี MWD มาก

ตารางที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีน [9]

สมบัติ	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.915-0.935	0.941-0.967
อุณหภูมิหลอมเหลว (^0C)	106-112	130-133
ความแข็งแรงดึง (MPa)	6.9-17.2	18-30
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	100-700	100-1000
มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)	415-795	689-1654
ความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod)(J/m)	0.67-21	27-160
ความแข็ง (Shore D)	45-60	60-70

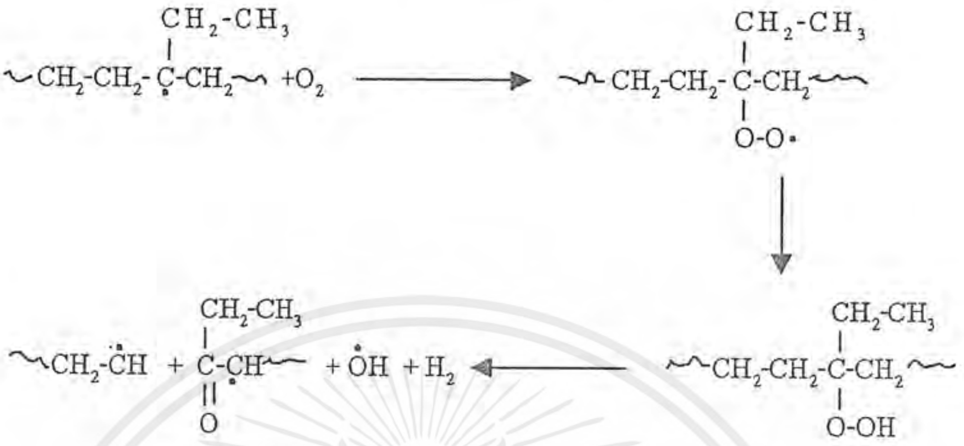
(2) การเสียคุณภาพ (Degradation)

พอลิเอทิลีนมีความทนทานต่อสารเคมีเหมือนพาราฟินส์ พอลิเอทิลีนจะถูกออกซิไดส์โดยตัวออกซิไดซ์อย่างแรง เช่น กรดไนตริกเข้มข้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือด่างทับทิม (Potassium permanganate) ความสามารถในการต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่ม เนื่องจากความเป็นกิ่งน้อย ทำให้การซึมผ่านของก๊าซน้อย

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผ่านกลไกแบบอนุมูลอิสระ จะผ่านไฮโดรเปอร์ออกไซด์และเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดแบบออโตแคทตาลิสติก (Autocatalystic) แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

➢ สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการขาด ทำให้สมบัติทางกลและน้ำหนักโมเลกุลลดลงดังนี้



➢ เกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยง พอลิเมอร์จึงเปราะ

(3) สารเติมแต่ง

พอลิเอทิลีนผสมกับแอนติออกซิแดนซ์ เพื่อป้องกันการเสียคุณภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ฮินเดอฟีนอล (Hindered phenols) ใช้ปริมาณเล็กน้อย (ประมาณ 0.1%) ในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระของฟีนอลที่เสถียรและไม่เสถียรในปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสายโซ่

คาร์บอนแบลค (Carbon black) เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน สี (Pigments) จะต้องทำการเลือกอย่างดีเพื่อป้องกันการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน สีโดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบโคบอล์ท (Cobalt) แคดเมี่ยม (Cadmium) แมงกานีส (Manganese) เหล็ก (Iron) หรือโครเมียม (Chromium)

สารประกอบฮาโลเจนและแอนติโมนีไตรออกไซด์ (Antimony trioxide) เติมลงในพอลิเอทิลีนเพื่อป้องกันการติดไฟ สารไกลคอลอัลคิลเอสเตอร์ (Glycol alkyl ester) ป้องกันการเกิดศักย์ไฟฟ้าและช่วยลดการติดของฝุ่น

2.5.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิโพรพิลีนได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติม (Addition polymerization) ของโพรพิลีน ลักษณะ (Tacticity) ของพอลิโพรพิลีนเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาสมบัติต่างๆ พอลิเมอร์โดยแบบไอโซแทกติก (Isotactic) จะมีความเป็นผลึกมาก ในทางการค้าจึงใช้ไอโซแทกติก 75-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

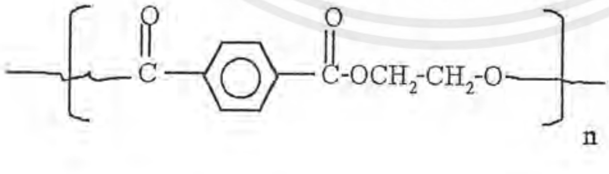
98% ของพอลิโพรพิลีนทั้งหมด อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของพอลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทกติก คือ 176°C อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) คือ 0°C ถ้าต่ำกว่านี้ค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทกจะลดลงอย่างมาก ทำให้พอลิเมอร์เปราะ สมบัติอื่นๆของพอลิโพรพิลีน คือ ความหนาแน่น 0.903 g/cm^3 ความแข็งแรงดึง 35.5 MPa ความแข็งแรงดึงยืด 1380 MPa และค่ามอดุลัสการโค้งงอ 1690 MPa

พอลิโพรพิลีนสามารถผลิตให้มีค่าดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ได้ตั้งแต่ 0.3 ถึง 800 g/min น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 2,200-70,000 ค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล 5.6-11.9 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลขึ้นกับขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน การเติมไฮโดรเจน ส่วนประกอบของระบบตัวเร่งและสารช่วยในการถ่ายโอนสายโซ่

ความจุความร้อนของพอลิโพรพิลีนต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้ความสามารถในการหลอม (Plasticizing) เมื่อใช้เครื่องขึ้นรูปชนิดฉีดดีกว่าพอลิเอทิลีน สารตัวเติมในพอลิโพรพิลีนที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติของพอลิโพรพิลีน ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต เส้นใยแก้ว เป็นต้น

2.6. พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET)

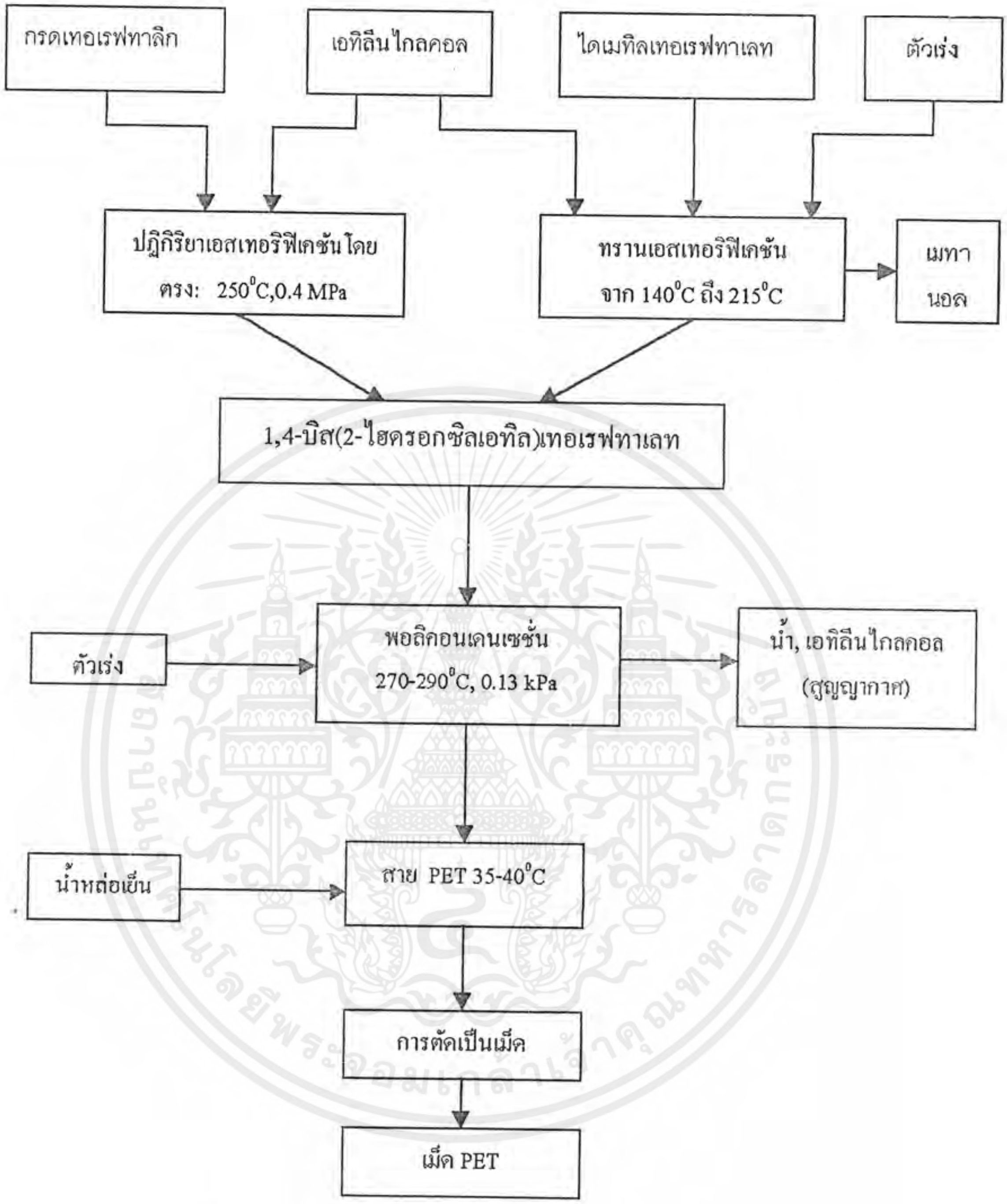
พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเป็นพลาสติกพอลิเอสเทอร์แบบเส้นตรง (Linear thermoplastic polyester) ที่ทางการค้าใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตเส้นใย ฟิล์มและวัสดุขึ้นรูปต่างๆ หน่วยซ้ำของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เป็นเอสเทอร์ของกรดเทอเรฟทาลิก (Terephthalic acid) และ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) ดังรูปที่ 2.8 และขบวนการในการผลิตพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 แสดงการผลิตพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) [9]

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) สามารถอยู่ในรูปพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) หรือ สภาวะผลึก (Crystalline) ก็ได้ ค่าองศาความเป็นผลึก มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 60% และสามารถพิจารณาจากประสบการณ์ (History) ของวัตถุดิบ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) 265°C อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 80°C อัตราการเกิดผลึกสูงสุดเกิดขึ้นที่ 170-180°C สิ่งเหล่านี้มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37649

สำคัญต่อสภาวะในการผลิต เส้นใยและแผ่นฟิล์ม ผลิตได้จากการอัดรีด (Extrusion) และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิบรรยากาศ เพราะมีภาคตัดขวางที่บาง การเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 80-100 ^{o}C เพื่อให้เกิดการจัดเรียงตัวและเกิดผลึก

ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ สามารถอยู่ในรูปพอลิเมอร์อสัณฐานหรือผลึก ขึ้นกับอุณหภูมิในการขึ้นรูป ถ้าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g ประมาณ 50 ^{o}C) และชิ้นงานบางเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเย็นตัว จะได้วัสดุอสัณฐานและชิ้นงานจะโปร่งใส ชิ้นงานเหล่านี้ห้ามใช้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพราะชิ้นงานจะหดตัวและขุ่น สำหรับชิ้นงานที่เป็นผลึกสามารถผลิตได้โดยการเติมสารเหนี่ยวนำให้เกิดผลึก (Ionomer nucleating agents) และพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 130^{o}C เพื่อป้องกันการจัดตัวใหม่ (Rearrange) เกิดเป็นผลึก การขึ้นรูปในรูปผลึกอาจใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพื่อให้มีความเสถียรและคงรูปที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลว (T_m)

ในตลาดมีการใช้พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในการทำขวดน้ำอัดลมขนาด 2 ลิตร ซึ่งได้จากเทคนิคการดึงฟิล์มแบบ 2 ทิศทาง (Biaxial stretching) ในขั้นแรก พาริสันอสัณฐาน (Amorphous parison) จะถูกผลิตโดยการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ที่เย็น จากนั้นพาริสัน (Parison) จะถูกให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และเป่าลมเกิดแรงดึง 2 ทิศทางภายในแม่พิมพ์ ขวดที่ได้ผนังจะบาง ความแข็งแรงดึงสูง สามารถโค้งงอ เหนียวและป้องกันการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว มีคุณสมบัติในการต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง ถึงแม้ที่ความถี่สูงความต้านทานไฟฟ้าก็ยังดีอยู่เพราะการจัดเรียงตัวของขั้วถูกจำกัดอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทมีความทนทานต่อน้ำและกรดแร่เจือจาง แต่จะว่องไวต่อเบสและจะเสียคุณภาพในกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกเข้มข้น มีความต้านทานการเสียคุณภาพทางเคมีเนื่องจากแสง (Photochemical degradation) ดีมาก

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) สามารถเสริมแรงได้ด้วยเส้นใยแก้ว เพื่อการขึ้นรูปแบบฉีดได้ชิ้นงานแบบคอมโพสิต (Composite) ซึ่งทนต่อความร้อนได้ถึง 220^{o}C การเสริมแรงโดยตนเองของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ทำได้โดยการเติมกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก (p-Hydroxybenzoic acid) ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกเหลวขึ้นในคอมโพสิต (Composite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

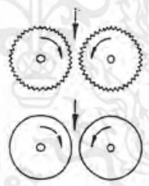
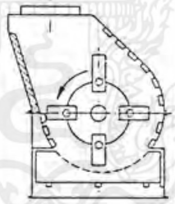
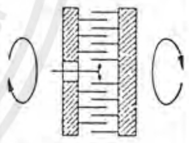
2.7.1. เครื่องย่อยพลาสติก

การย่อย หมายถึง การลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีกล ในการย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามต้องการ

ถ้าจะต้องมีการแยกพลาสติกเม็ดหยาบออกจากเม็ดละเอียดเพื่อสามารถทำงานในขั้นต่อไปได้สะดวกยิ่งขึ้น ต้องมีการกรองประกอบเข้าไปด้วย

เหตุผลที่จำเป็นต้องย่อยพลาสติกมีหลายอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายเร็ว เป็นต้น เครื่องย่อยมีหลายชนิด ซึ่งสร้างไว้ให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก ตัวอย่างเครื่องย่อย เช่น เครื่องรีดย่อย เครื่องโม่ตี เครื่องโม่กวน เครื่องโม่ตัด เครื่องโม่แท่งตี และเครื่องโม่รีด

เครื่องรีดย่อยจะใช้สำหรับการย่อยพลาสติกแข็งเปราะได้เท่านั้น สำหรับการย่อยจะต้องใช้เครื่องโม่บด ในการที่จะเลือกใช้เครื่องโม่ชนิดใดขึ้นอยู่กับว่าต้องการความละเอียด หรือความสม่ำเสมอของเม็ดพลาสติกขนาดไหน ดังแสดงในรูปที่ 2.10

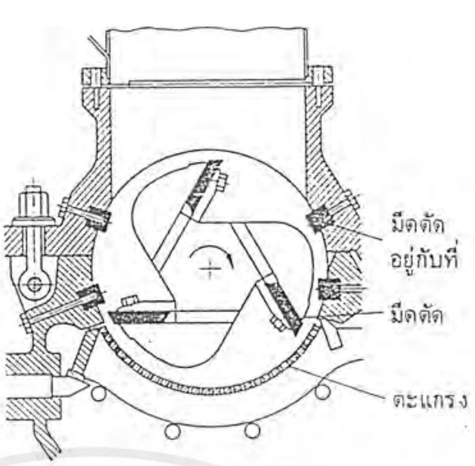
เครื่อง / สภาพของพลาสติก	เครื่องรีดย่อย 	โม่ตี 	โม่ตัด	โม่แท่งตี 
เปราะ	✓	✓		✓
เหนียว			✓	✓
elastic			✓	
เหมาะสำหรับ	PS, PF	PS, PF, PMMA	PVC, PE, PP, PA	PVC, PE, PF

รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ [10]

ลักษณะการทำงานของเครื่องย่อยต่างๆดังรูปที่ 2.10 แตกต่างกัน ดังเช่นเครื่องรีดย่อยใช้แรงอัด เครื่องโม่ตัดใช้การตัดเฉือนและเครื่องโม่แท่งตีใช้การตีให้กระจายและการเสียดสี

เนื่องจากเครื่องโม่ตัดใช้มากในการย่อยพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะใช้ในการย่อยเศษพลาสติกหรือชิ้นงานที่เสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



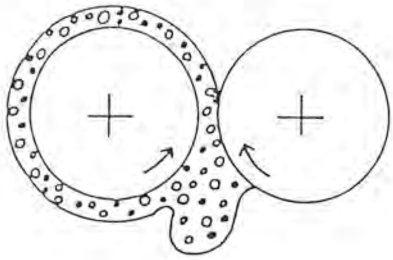
รูปที่ 2.11 แสดงภาคตัดขวางของเครื่องโม่ตัด [10]

รูปที่ 2.11 เป็นเครื่องโม่ตัดซึ่งประกอบด้วยเรือนเหล็กหล่อที่มั่นคง มีคมตัดติดอยู่กับเรือน 4 คม ตอนล่างจะมีตะแกรงประกอบอยู่ วัสดุที่จะตัดส่งเข้าทางปล่องข้างบน ตรงกลางจะมีเพลาซึ่งมีมีดตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะถูกมีดหมุนจับ และนำไปตัดกับมีดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่อง โดยเครื่องจะทำงานซ้ำๆไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้ ความเร็วตัดจะอยู่ระหว่าง 12 ถึง 14 m/s ระยะห่างระหว่างมีดหมุนและมีดอยู่กับที่ประมาณ 0.25 ถึง 0.5 mm เครื่องโม่ตัดมีขนาดทำงานได้ตั้งแต่ 10 kg/h จนถึง 2,500 kg/h

2.7.2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 1 คู่ วางในแนวนอน โดยจะเกิดช่องว่าง (Nip) ระหว่างลูกกลิ้ง พอลิเมอร์และสารเติมแต่งจะทำให้เกิดแรง (Shear) อย่างสูงบริเวณช่องว่าง (Nip) เมื่อลูกกลิ้งหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้งอาจจะเหมือนหรือต่างกันก็ได้ตามอัตราส่วนที่เปลี่ยนไป ตั้งแต่ 1/1.1 ถึง 1/1.4 ผลของการผสมละเอียดพอสมควร แต่ต่ำกว่าการมองแยกด้วยสายตา การผสมจะดีในทิศตามเครื่อง แต่ไม่ดีในทิศขวาง (ตามความยาวของลูกกลิ้ง) ดังนั้น เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งนี้ดีต่อการผสมแบบกระจาย (Dispersive mixing) แต่ไม่ดีสำหรับการผสมแบบแจกจ่าย (Distributive mixing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงทิศทางการหมุนของลูกกลิ้ง [11]

ในการใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เพื่อการผสมนี้ จะต้องนำพอลิเมอร์ใส่ลงในช่องว่าง (Nip) ระหว่างลูกกลิ้ง ทิ้งไว้สักครู่ จนกระทั่งอุ่นขึ้น นิ่มขึ้นและเกิดเป็นแถบเรียบรอบลูกกลิ้ง ก่อนการผสมแถบเรียบรอบลูกกลิ้งจะเกิดที่ลูกกลิ้งใดขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์ แต่ส่วนมากมักอยู่รอบลูกกลิ้งที่ร้อนกว่าหรือเร็วกว่า

ลูกกลิ้งจะถูกยกในลักษณะที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ทำให้สามารถปรับความกว้างของช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip gap) ได้ ในตอนแรก ถ้าพอลิเมอร์พันเป็นแถบรอบลูกกลิ้ง (Band) โดยเหลือพอลิเมอร์ (Bank) เล็กน้อยที่ไม่พันรอบลูกกลิ้งหมุนบนช่องว่าง จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารเติมแต่งต่างๆการบดจะทำให้เกิดการผสมทันที เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างพอลิเมอร์ บนลูกกลิ้ง (Band) และส่วนที่อยู่บนช่องว่าง (Bank) เกิดเร็วขึ้น ทำไปเรื่อยๆเมื่อการผสมเสร็จสิ้นลง ใช้มีดกรีดตามความกว้างของลูกกลิ้งและดึงออกมาเป็นแผ่น

เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ในตอนต้นถูกนำมาใช้ในการผสมยาง โดยมีขนาดของการบดผสมต่างๆกัน เครื่องขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 84 นิ้ว ขนาดมาตรฐานมีขนาด 60 48 และ 36 นิ้ว ขนาดเล็กใช้ในห้องทดลอง มีขนาด 18 12 และ 6 นิ้ว

2.7.3. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

สกรูของเครื่องอัดรีดจะมี 1 หรือ 2 ไฟล์ท (Flights) เป็นเกลียวตลอดความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (Outside diameter) ของไฟล์ทจะคงที่ตลอดความยาวซึ่งจะพอดีกับกระบอก (Barral) โดยรูท (Root) และแกนกลาง (Core) จะเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำให้ช่องว่างของเกลียว (Spiralling channel) มีการเปลี่ยนแปลงความลึก (Depth) โดยทั่วไปความลึกของช่องว่าง (Channel depth) จะลดลงจากปลายส่วนป้อน (Feed) ถึงหัวดายน์ (Die) เพื่อเพิ่มความดันในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดรีดและพาพอลิเมอร์หลอมเหลวไปยังหัวดายน์ สกรูแบ่งออกเป็น 3 ส่วนซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน ไม่รวมส่วนของดายน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

(1) ส่วนป้อน (Feed zone)

มีหน้าที่ให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ก่อน (Preheat) และส่ง (Convey) ไปยังส่วนต่อไป ความสูงของสกรูคงที่และความยาวของส่วนนี้จะต้องให้แน่ใจว่าอัตราการป้อนไปข้างหน้าถูกต้อง ไม่น้อยหรือมากเกิน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของพอลิเมอร์

(2) ส่วนอัด (Compression zone vs transition zone)

ความลึกของช่องว่าง (Channel depth) จะลดลงโดยมีหน้าที่ดังนี้ คือ

- ไล่อากาศที่อยู่ระหว่างเม็ดพลาสติก
- เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังกระบอก ทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ลดลง
- เปลี่ยนแปลงความหนาแน่น เมื่อการหลอมเหลวเป็นไปอย่างเหมาะสม

(3) ส่วนผสม (Metering zone)

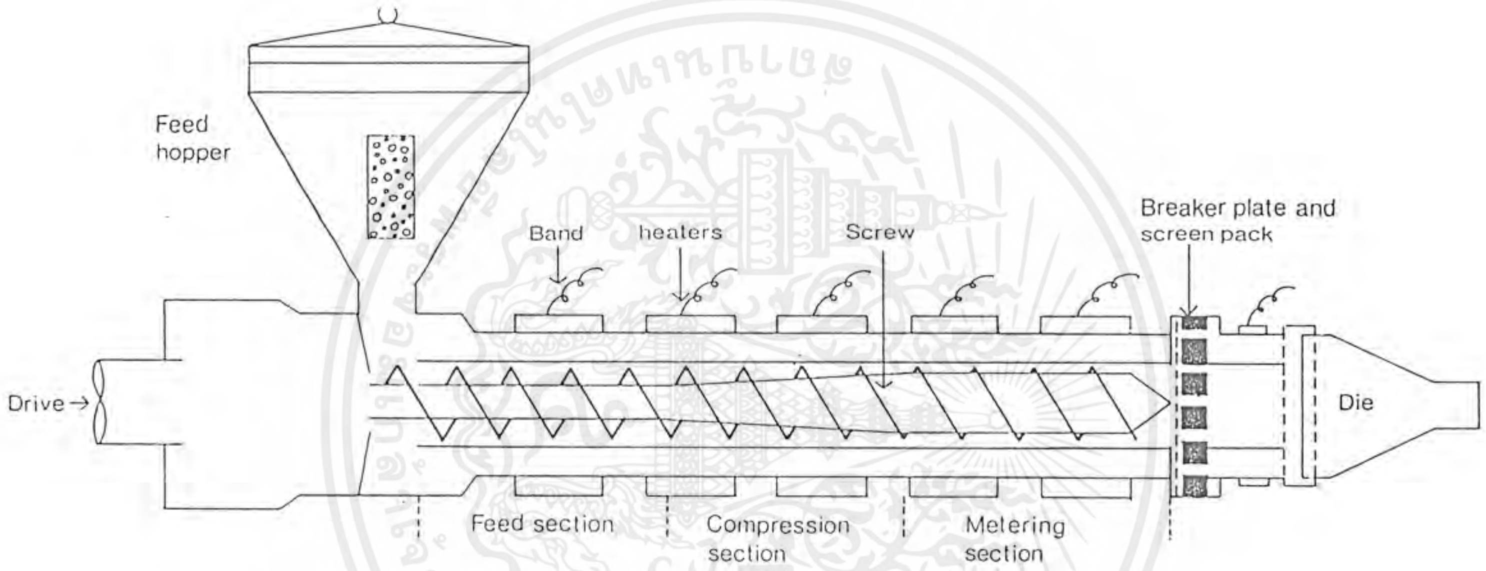
ความลึกของสกรู (Screw depth) คงที่ ทำหน้าที่หลอมให้เป็นเนื้อเดียวและป้อนให้ดายน์ พอลิเมอร์มีคุณภาพเดียวกันที่อุณหภูมิและความดันคงที่

<u>หัวดายน์ (Die – zone)</u>

เป็นส่วนสุดท้ายของการอัดรีด ประกอบด้วย แผ่นเหล็กที่เป็นรูๆ (Perforated steel plate) เรียกว่า เบรกเกอร์ เพลท (Braker plate) และตะแกรง (Sieve) จำนวน 2-3 ชั้น ที่ทำจากลวดอยู่ด้านใน (ด้านสกรู) ทั้งสองส่วนทำหน้าที่

- แยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่เกินไปออก เช่น ฝุ่น พอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเจล สิ่งแปลกปลอม
- ปล่อยความดันที่เกิดจากปั๊มและส่วนผสม (Metering)
- ปรับความจำจากการหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection moulding)

กฎพื้นฐานของการขึ้นรูปแบบฉีด คือ การฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าไปยังแม่พิมพ์ที่ปิดและเย็น ทำให้กลายเป็นของแข็งได้เป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนต่างๆของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกแสดงในรูปที่ 2.14

เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection moulding) ประกอบด้วย 2 หน่วย คือ

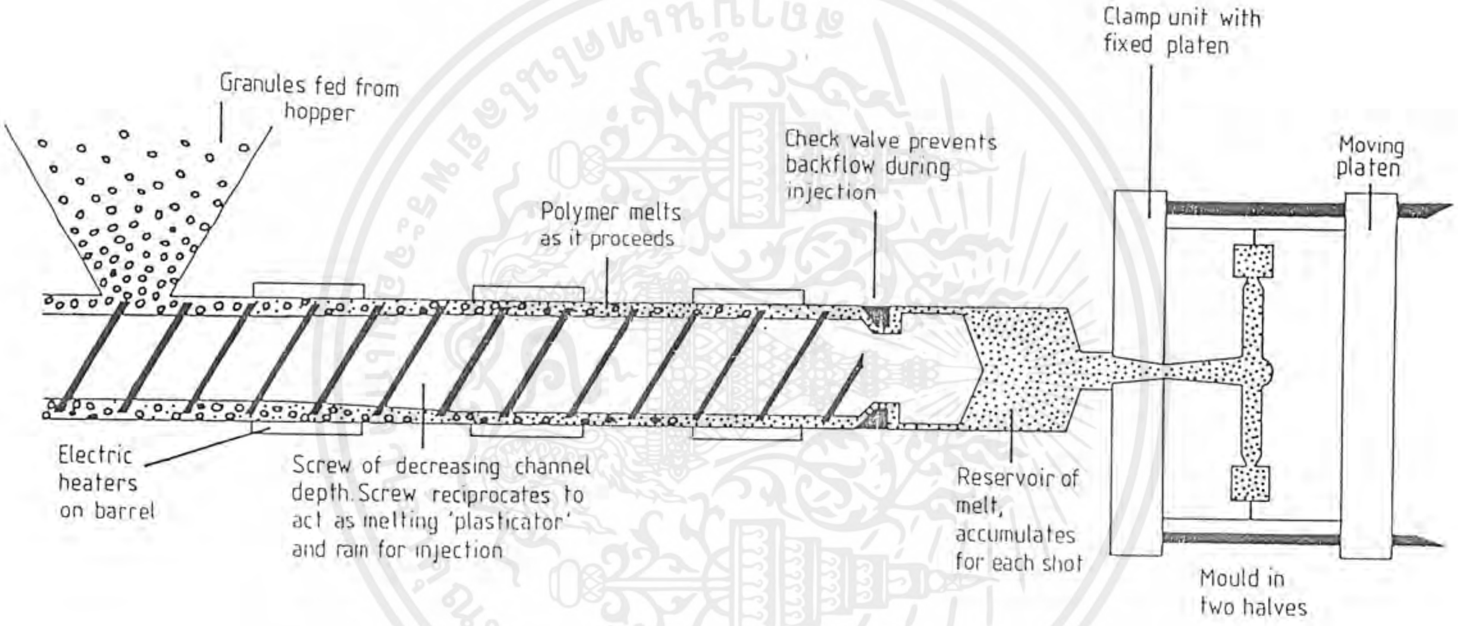
2.7.4.1.หน่วยการฉีด (Injection unit)

องค์ประกอบในส่วนแรกเหมือนเครื่องอัดรีด ส่วนการหลอม (Plasticating) มีข้อแตกต่าง คือ สกรูสามารถเคลื่อนเดินหน้าและถอยหลังได้ (Reciprocate) มีลูกสูบอยู่ในกระบอก (Barrel) ซึ่งมีผลต่อการผลิตของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกเก็บไว้ในสกรูที่หมุนในกระบอก (Barrel) โดยมีวาล์วปิด ซึ่งมีช่องว่างระหว่างผนังกระบอกและไฟล์ท (Flight) ของสกรูน้อยมาก กระบอกใส่สกรูจะมีเครื่องทำความร้อน (Heater) ความลึกของสกรู (Screw channel depth) จะลดลงจากตอนท้ายของส่วนการป้อนไปยังส่วนการอัด เม็ดพอลิเมอร์ที่เย็นจะถูกใส่เข้าในส่วนการป้อนและเกิดการหลอมเหลว ความร้อนที่ใช้ส่วนหนึ่งมาจากเครื่องทำความร้อน (Heater) และอีกส่วนมาจากความหนืดของพอลิเมอร์ที่ถูกปั๊มตลอดสกรู จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ วาล์วจะเปิด สกรูหยุดหมุนและมีการให้ความดันโดยลูกสูบ (Piston) หรือเครื่องกระทุ้ง (Ram) เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมผ่านไปยังหัวฉีดและเข้าไปยังแม่พิมพ์ ความดันสูงถูกนำมาใช้เพื่อการฉีดพอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูง โดยความดันนี้ได้จากระบบน้ำมัน (Hydraulic) เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรลิกมีค่า 10-15 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู ระบบไฮโดรลิกนี้จะให้ความดันที่สูงพอที่จะฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลวความหนืดสูงได้

2.7.4.2.หน่วยจับแม่พิมพ์ (Clamping unit)

จะเกี่ยวข้องกับการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ โดยการใช้กำลังน้ำมัน (Hydraulic) หรือใช้กำลังกลของระบบข้อ (Toggle) แรงของหน่วยจับ (Clamp) จะต้องมากพอที่จะต้านทานแรงที่เกิดจากการฉีดซึ่งมีความดันสูงถึง 140 MPa (20,000 psi) และ 200 MPa ได้เพื่อป้องกันการล้นแม่พิมพ์ (Flash) ดังนั้นแม่พิมพ์ที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง (Projected area) มาก จะต้องใช้เครื่องขนาดใหญ่ ซึ่งมีความดันถึง 1,000 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนต่างๆของเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก [1]

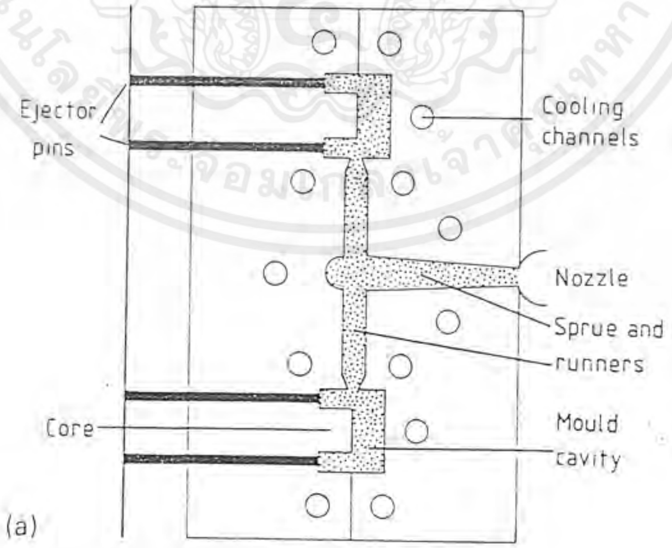
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่พิมพ์ (Mould)

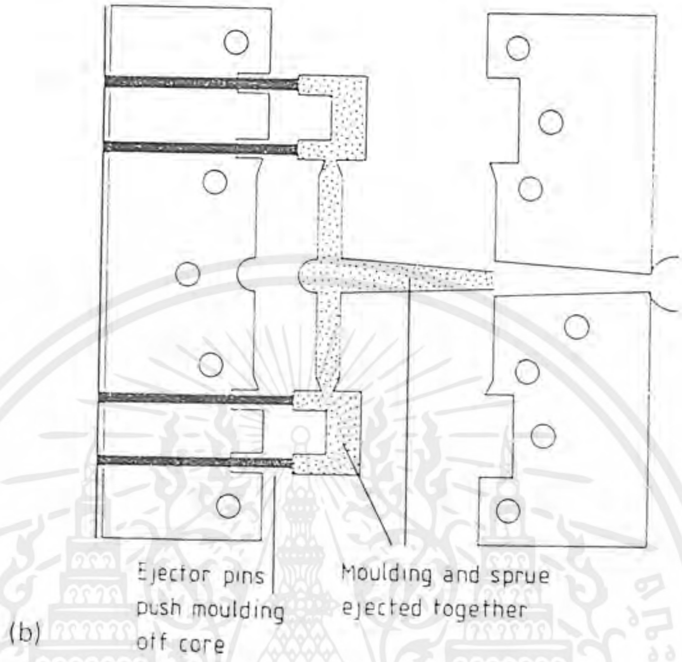
แม่พิมพ์จะติดอยู่กับหน่วยจับ (Clamp) แต่สามารถเปลี่ยนแม่พิมพ์ได้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบที่สำคัญของแม่พิมพ์ คือ

- ช่องว่าง (Cavity) หรือพิมพ์ (Impression) ทำให้ได้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ แม่พิมพ์หนึ่งๆอาจมี 1 หรือหลายช่องว่างก็ได้
- ช่อง (Channel) เป็นช่องทางการไหลของพอลิเมอร์หลอม ได้แก่ สปรู (Sprue) ซึ่งเป็นช่องจากหัวฉีด (Nozzle) และทางวิ่ง (Runner) ซึ่งเป็นทางไหลจากสปรูไปยังช่องว่างแต่ละช่อง
- ช่องความเย็น (Cooling channel) น้ำเย็นจะถูกปั๊มเพื่อถ่ายเทความร้อนจากพอลิเมอร์หลอม ขนาดและที่ติดตั้งจะต้องแน่ใจว่าสามารถทำให้แม่พิมพ์เย็นได้
- เข็มปลดชิ้นงาน (Ejector pins) ใช้ปลดชิ้นงานจากแม่พิมพ์ โดยจะทำงานอัตโนมัติเมื่อแม่พิมพ์เปิดออก

รูปที่ 2.15 แสดงแม่พิมพ์แบบ 2 เพลท (Two-plate mould) โดยในรูปแสดงให้เห็นสปรู (Sprue) ซึ่งเป็นทางผ่านจากหัวฉีด (Nozzle) ไปยังทางวิ่ง (Runner) และจากทางวิ่งไปยังทางเข้า (Gate) ซึ่งประตูจะเป็นทางผ่านไปยังช่องว่าง (Cavity)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงแม่พิมพ์แบบ 2 เพลท (Two-plate mould) ขณะปิดและเปิด [11]

เมื่อมีการเติมพอลิเมอร์หลอมในแม่พิมพ์อากาศจะถูกไล่ออก บ่อยครั้งที่จะเกิดผ่านไปทางเข็มปลดชิ้นงาน (Ejector pin) แต่บางทีก็ผ่านไปที่ช่องระบายอากาศ (Vent) ที่เล็กกว่าหรือแคบกว่า (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.025 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นช่องระบายอากาศที่ให้อากาศผ่านได้แต่ไม่ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านได้ ถ้าช่องระบายอากาศไม่ดีพอหรือไม่เที่ยงตรง จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่สวยงาม กล่าวคือจะเกิดฟองอากาศบนชิ้นงาน การผิดพลาดที่เกิดขึ้น เช่น การเผาไหม้ที่เกิดจากการระบายอากาศเร็วเกินไปทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นพอที่จะทำให้เกิดการเสียคุณภาพของพอลิเมอร์และก่อให้เกิดการไหม้บนชิ้นงาน

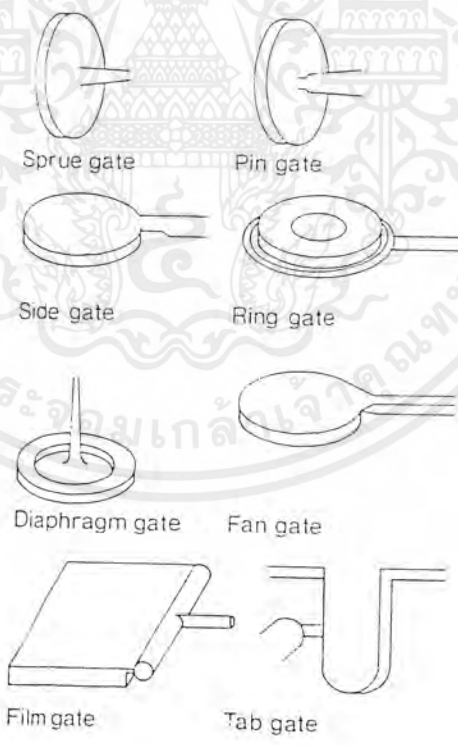
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานจะถูกทำให้เย็นลงโดยน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามประเภทของชิ้นงาน น้ำที่เย็นจัด (Chilled water) จะถูกใช้ในงานที่ต้องการรอบของเวลาการผลิตต่ำ แต่ในบางครั้งการทำให้ชิ้นงานเย็นลงอย่างช้าๆก็มีความจำเป็นเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเป็นผลึก

โครงสร้างของทางเข้า (Gate) มีหน้าที่หลัก 3 ข้อ คือ

- ทางเข้าเป็นส่วนที่แข็งได้รวดเร็วเมื่อฉีดเสร็จเพื่อแยกชิ้นงานและปล่อยให้สกรูถอยกลับ
- เนื่องจากเป็นส่วนที่แข็ง แคบและบาง ทำให้ชิ้นงานถูกแยกออกอย่างง่ายหลังการปลดออกจากแม่พิมพ์และลดการตกแต่งชิ้นงาน
- เป็นการเพิ่มแรงเฉือนของพอลิเมอร์หลอม ทำให้ความหนืดลดลงและสามารถเติมลงให้แม่พิมพ์ได้เต็มและสมบูรณ์

ทางเข้าชนิดต่างๆถูกออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน รูปที่ 2.16 แสดงทางเข้าชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.16 แสดงทางเข้า (gate) ชนิดต่างๆ [11]

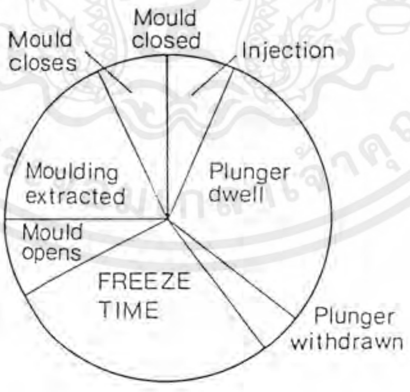
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วัฏจักรของการขึ้นรูป</u>

ขั้นตอนในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานมีดังนี้

- แม่พิมพ์ปิด ในขั้นนี้แม่พิมพ์จะว่าง พอลิเมอร์หลอมที่จะใช้ฉีดอยู่ในหน่วยการฉีดเรียบร้อย
- ฉีด วาล์วเปิด สกรูทำหน้าที่ให้แรงในการอัดแก่พอลิเมอร์หลอมผ่านหัวฉีดไปยังแม่พิมพ์
- ขั้นการคง (Hold-on) ความดันจะถูกให้เข้าไปในขั้นการเย็นตัวเพื่อขัดขวางการหดจนเมื่อชิ้นงานแข็ง ความดันสามารถลดลงได้
- วาล์วปิด สกรูเริ่มหมุน เกิดความดันดันส่วนการปิดหัวฉีด (Close-off nozzle) สกรูหมุนถอยหลังเพื่อสะสมพอลิเมอร์หลอมที่จะใช้ฉีดใหม่
- แม่พิมพ์ยังคงเย็นตัวลงจนสมบูรณ์ แม่พิมพ์เปิดออก ชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์
- แม่พิมพ์ปิดและเกิดวัฏจักรใหม่ต่อไป

ถ้าเขียนวัฏจักรการฉีดเป็นแผนภูมิวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.17 พบว่า เวลาส่วนมากจะใช้กับการทำให้เย็นตัวซึ่งจัดอยู่ในขั้นการคง (Hold-on) ดังนั้นอัตราการเย็นตัวจึงเป็นข้อสำคัญในทางเศรษฐกิจของการฉีดขึ้นรูป



รูปที่ 2.17 แสดงวัฏจักรการขึ้นรูปโดยการฉีด [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

3.1. สารเคมี

3.1.1. เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) ของ HMC เกรด 1100 NK

3.1.2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ของบริษัท TPI เกรด JJ-4324

3.1.3. ขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ใช้แล้ว

3.1.4. ขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ที่ใช้แล้ว

3.1.5. สารช่วยผสม Polybond 3150 ของบริษัท TOA Uniroyal Chemical

3.2. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) ของบริษัท INTRO รุ่น BX 18

3.2.2. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) ของบริษัท INTRO รุ่น BDB-G

3.2.3. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-rolls mill) ของบริษัท LABTECH รุ่น LRM110

3.2.4. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ของบริษัท DIETHELM & CO, LTD. รุ่น HR-200

3.2.5. เครื่องโม่ตัดพลาสติกของบริษัท BOSCO รุ่น NEMA 600

3.2.6. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection moulding machine) ของบริษัท COSMO รุ่น 220/80 HITECH

3.2.7. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) ของบริษัท LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR30K

3.2.8. เครื่องทดสอบความยืดหยุ่น (Flexural testing machine) ของบริษัท LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR30K

3.2.9. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance machine) ของบริษัท INTRO รุ่น 258-PC IMPACT TESTER

3.2.10. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness machine) ของบริษัท Matsuzama รุ่น DXT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11. เครื่องเคลือบทอง (Fine coater) ของบริษัท JEOL รุ่น JFC-1200

3.2.12. กล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ของบริษัท JEOL รุ่น JSM-6301F

3.3. วิธีการทดลอง

3.3.1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

3.3.1.1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์ (Polyolefin; PO)

- นำขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขุ่น (HDPE) มาล้างทำความสะอาด ตากให้แห้ง นำเข้าเครื่องโม่ตัดพลาสติก เพื่อทำการย่อยพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
- นำพลาสติก HDPE มาผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) ในอัตราส่วน 1:1:1 โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมแต่ละบริเวณเท่ากับ 140 150 160 และ 170°C ตามลำดับ ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 90 รอบ/นาที และผ่านเครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) ได้เม็ดพลาสติก PO ทำการอบที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนทำการผสมต่อไป
- นำเม็ดพลาสติก PO มาผสมกับสารช่วยผสม ซึ่งเป็นกราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรพิลีน (PP) กับ มาลิอิกแอนไฮดราย (MA) (PP-g-MA) ในอัตราส่วน 1% 3% และ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับโดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมแต่ละบริเวณเท่ากับ 150 160 170 และ 180°C ตามลำดับ ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 50 รอบ/นาที และผ่านเครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) ได้เม็ดพลาสติกพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ (PO(compat.)) ทำการอบที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนทำการผสมต่อไป

3.3.1.2. การเตรียมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Polyethylene terephthalate; PET)

- นำขวดน้ำดื่มพลาสติกชนิดใส (PET) มาล้างทำความสะอาด ตากให้แห้ง นำเข้าเครื่องโม่ตัดพลาสติกเพื่อทำการย่อยพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง ทำการอบที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการผสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. การผสมพอลิโอลิฟินส์ (PO) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

ในโครงงานวิจัยนี้จะแบ่งการผสมออกเป็น 2 ระบบดังนี้

3.3.2.1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

- ทำการผสมพอลิเมอร์ผสม PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อุณหภูมิกับความเร็วรอบของสกรูดังตารางที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ
- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปเข้าเครื่องโม่ตัดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง ทำการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 100 : 0

<table>
<tr><th rowspan="2">PO(compat.):PET</th><th colspan="4">อุณหภูมิ (°C)</th><th rowspan="2">ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)</th></tr>
<tr><th>Zone 1</th><th>Zone 2</th><th>Zone 3</th><th>Zone 4</th></tr>
<tr><td rowspan="9">100(1%) : 0
และ
100(3%) : 0
และ
100(5%) : 0</td><td rowspan="3">230</td><td rowspan="3">240</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">260</td><td>30</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
<tr><td>70</td></tr>
<tr><td rowspan="3">240</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">260</td><td rowspan="3">270</td><td>30</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
<tr><td>70</td></tr>
<tr><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">260</td><td rowspan="3">270</td><td rowspan="3">280</td><td>30</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
<tr><td>70</td></tr>
</table>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 50:50

PO(compat.):PET	อุณหภูมิ (^{0}C)				ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	
50(1%) :5 0 และ 50(3%) : 50 และ 50(5%) : 50	230	240	250	260	30
					50
					70
	240	250	260	270	30
					50
					70
	250	260	270	280	30
					50
					70

ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 0:100

PO(compat.):PET	อุณหภูมิ (^{0}C)				ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	
0:100	230	240	250	260	30
					50
					70
	240	250	260	270	30
					50
					70
	250	260	270	280	30
					50
					70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

- ทำการผสมพอลิเมอร์ผสม PO ที่มีสารช่วยผสมอยู่ต่อ PET ในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการผสม ดังตารางที่ 3.4 3.5 และ 3.6
- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปเข้าเครื่องโม่ตัดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง ทำการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 100:0

PO(compat.):PET	อุณหภูมิ(°C)		เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)		
	ลูกหน้า	ลูกหลัง	PET	PO	รวม
100(1%):0 และ	240	250	0	1.5	1.5
100(3%):0 และ	250	260	0	1.5	1.5
100(5%):0	260	270	0	1.5	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 50:50

PO(compat.):PET	อุณหภูมิ(^{o}C)		เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)		
	ลูกหน้า	ลูกหลัง	PET	PO	รวม
50(1%):50 และ 50(3%):50 และ 50(5%):50	240	250	5	1.5	6.5
			6	1.5	7.5
			7	1.5	8.5
	250	260	5	1.5	6.5
			6	1.5	7.5
			7	1.5	8.5
	260	270	5	1.5	6.5
			6	1.5	7.5
			7	1.5	8.5

ตารางที่ 3.6 แสดงอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผสมของ PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 0:100

PO(compat.):PET	อุณหภูมิ(^{o}C)		เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)		
	ลูกหน้า	ลูกหลัง	PET	PO	รวม
0:100	240	250	6.5	0	6.5
			7.5	0	7.5
			8.5	0	8.5
	250	260	6.5	0	6.5
			7.5	0	7.5
			8.5	0	8.5
	260	270	6.5	0	6.5
			7.5	0	7.5
			8.5	0	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding machine)

นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ได้มาฉีดขึ้นรูปดัมเบลล์ (Dumbell) และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Izod) โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป สภาวะในการฉีดแสดงดังตารางที่ 3.7 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.7 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 50:50

TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME : 50	MELTING TIME : 200
STD COR ACT TIME : 20	DECOMPRS TIME : 1
1 ST STG INJ TIME : 15	COOLING TIME : 200
2 ND STG INJ TIME : 15	EJECTOR COUNT : 3
3 RD STG INJ TIME : 15	SCW FWD TIME : 0
EJE FWD DLY : 5	SCW BWD TIME 1 : 0
MELTING DLY : 0	SCW BWD TIME 2 : 0
EJE BKD DLY : 5	ALARM TIME : 400

PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR : 31	DECOMP PRESR : 30
CLS LOW PRESR : 31	PLUNGER PRESR : 20
CLS HI PRESR : 30	EJECTOR PRESR : 10
DIE OPEN PRESR : 25	SCW-IN PRESR : 0
1 ST INJ PRESR : 78	DIE ADJ PRESR : 60
2 ND TNJ PRESR : 60	
3 RD INJ PRESR : 55	
MELTING PRESR : 60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD : 40	1 ST STG INJ SPD : 50
HIGH CLS SPD : 40	2 ND STG INJ SPD : 50
CLAMPING SPD : 40	3 RD STG INJ SPD : 50
DIE OPN SLW 1 : 40	MELTIME SPD : 40
RAPID OPN SPD : 40	DECOMP SPD : 40
DIE OPN SLW 2 : 40	EJECTOR SPD : 40
PLUNGER SPD : 40	SCREW-IN : 40
DIE ADJ SPD : 40	DIE CHANGE SPD : 40

PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP
NOZZLE	:	205
ZONE 1	:	195
ZONE 2	:	180
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

PROGRAMME OPTIONS

DIE CLS SPD	:	1	1= HI SPP	2 = FAST SPD	
PLUNGER SPD	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	:	1	1 = USE	2 = NO USE	3 = SID-COR
EJECTOR	:	1	1 = STAL	2 = MULTI	3 = FIXD NB
SID-COR	:	1	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 100:0

TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME : 50	MELTING TIME : 200
STD COR ACT TIME : 20	DECOMPRS TIME : 1
1 ST STG INJ TIME : 20	COOLING TIME : 180
2 ND STG INJ TIME : 10	EJECTOR COUNT : 1
3 RD STG INJ TIME : 5	SCW FWD TIME : 0
EJE FWD DLY : 5	SCW BWD TIME 1 : 0
MELTING DLY : 0	SCW BWD TIME 2 : 0
EJE BKD DLY : 5	ALARM TIME : 400

PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR : 40	DECOMP PRESR : 30
CLS LOW PRESR : 30	PLUNGER PRESR : 40
CLS HI PRESR : 40	EJECTOR PRESR : 10
DIE OPEN PRESR : 30	SCW-IN PRESR : 0
1 ST INJ PRESR : 50	DIE ADJ PRESR : 52
2 ND TNJ PRESR : 45	
3 RD INJ PRESR : 40	
MELTING PRESR : 50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD : 30	1 ST STG INJ SPD : 50
HIGH CLS SPD : 20	2 ND STG INJ SPD : 50
CLAMPING SPD : 15	3 RD STG INJ SPD : 50
DIE OPN SLW 1 : 10	MELTIME SPD : 59
RAPID OPN SPD : 28	DECOMP SPD : 40
DIE OPN SLW 2 : 20	EJECTOR SPD : 20
PLUNGER SPD : 50	SCREW-IN : 0
DIE ADJ SPD : 40	DIE CHANGE SPD : 10

PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP
NOZZLE	:	195
ZONE 1	:	190
ZONE 2	:	180
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

PROGRAMME OPTIONS

DIE CLS SPD	:	1	1= HI SPP	2 = FAST SPD	
PLUNGER SPD	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	:	1	1 = USE	2 = NO USE	3 = SID-COR
EJECTOR	:	1	1 = STAL	2 = MULTI	3 = FIXD NB
SID-COR	:	1	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 แสดงสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PO ที่มีสารช่วยผสมต่อ PET ที่อัตราส่วน 0:100

TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME : 50	MELTING TIME : 180
STD COR ACT TIME : 0	DECOMPRS TIME : 5
1 ST STG INJ TIME : 20	COOLING TIME : 200
2 ND STG INJ TIME : 15	EJECTOR COUNT : 1
3 RD STG INJ TIME : 15	SCW FWD TIME : 0
EJE FWD DLY : 0	SCW BWD TIME 1 : 0
MELTING DLY : 0	SCW BWD TIME 2 : 0
EJE BKD DLY : 0	ALARM TIME : 300

PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR : 30	DECOMP PRESR : 30
CLS LOW PRESR : 40	PLUNGER PRESR : 20
CLS HI PRESR : 40	EJECTOR PRESR : 5
DIE OPEN PRESR : 20	SCW-IN PRESR : 0
1 ST INJ PRESR : 40	DIE ADJ PRESR : 50
2 ND TNJ PRESR : 35	
3 RD INJ PRESR : 30	
MELTING PRESR : 55	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD : 35	1 ST STG INJ SPD : 50
HIGH CLS SPD : 15	2 ND STG INJ SPD : 50
CLAMPING SPD : 15	3 RD STG INJ SPD : 50
DIE OPN SLW 1 : 10	MELTIME SPD : 80
RAPID OPN SPD : 30	DECOMP SPD : 50
DIE OPN SLW 2 : 20	EJECTOR SPD : 40
PLUNGER SPD : 60	SCREW-IN : 0
DIE ADJ SPD : 40	DIE CHANGE SPD : 10

PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP
NOZZLE	:	260
ZONE 1	:	250
ZONE 2	:	240
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

PROGRAMME OPTIONS

DIE CLS SPD	:	1	1= HI SPP	2 = FAST SPD	
PLUNGER SPD	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	:	1	1 = USE	2 = NO USE	3 = SID-COR
EJECTOR	:	1	1= STAL	2 = MULTI	3 = FIXD NB
SID-COR	:	1	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4. การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.3.4.1. สมบัติเชิงกล

3.3.4.1.1. ทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มาตรฐาน ASTM D638

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbell) มาทดสอบ

สภาวะของเครื่องเป็นดังนี้

Test speed : 20 mm/min

Guage length : 100 mm

Grammage : 1.0 g/m^2

Load cell : 30 kN

Cell class : 0.5

จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ : 5 ชิ้น

- นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

Tensile Strength : Force (N)/Area (mm^2)

Modulus : Stress (N)/Strain (mm^2)

3.3.4.1.2. ทดสอบค่าความยืดหยุ่น (Flexural strength) มาตรฐาน ASTM D790

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปเป็นรูปดัมเบลล์ (Drumbell) มาทดสอบ

สภาวะของเครื่องดังนี้

Test speed : 20 mm/min

Guage length : 6 cm

Grammage : 1.0 g/m^2

Span : 60 mm

Load cell : 30 kN

Cell class : 0.5

จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ : 3 ชิ้น

3.3.4.1.3. ทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) มาตรฐาน ASTM D256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Izod) มาทดสอบ

  สภาวะของเครื่องเป็นดังนี้

Load cell	:	30 kg
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	:	10 ชิ้น

3.3.4.1.4. ทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามแบบ Shore D มาตรฐาน ASTM D2240

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปมาทดสอบ ทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3.3.4.2. สมบัติทางสัณฐานวิทยา

นำพลาสติกที่ต้องการทดสอบมาแช่ในไนโตรเจนเหลวจนแข็งตัวหักให้ได้ขนาดประมาณ 2 x 5 mm นำตัวอย่างที่ได้มาเข้าเครื่องเคลือบทอง จากนั้นทำการถ่ายภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. การศึกษาหาผลของสารช่วยผสม

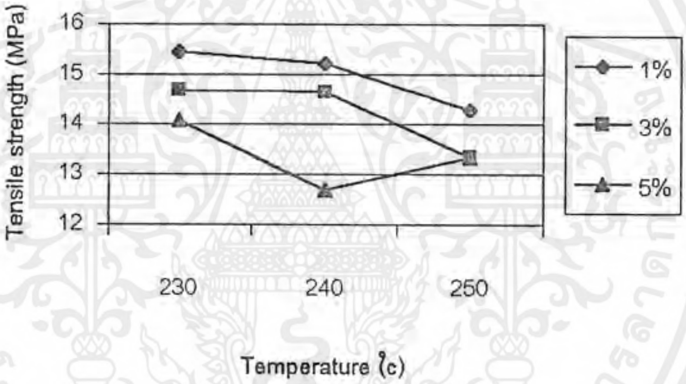
พอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50:50 เมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารช่วยผสมที่ 1% 3% และ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด สมบัติเชิงกลที่ได้จากการวิจัยสามารถแสดงได้ดังภาคผนวกที่ 1 และ 2 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.1-4.30

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที ในรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารช่วยผสมมีปริมาณมากขึ้นจะเกิดการรวมตัวกันเองทำให้การแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างวัฏภาคของพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทยากขึ้น ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของสารช่วยผสม 1% ของน้ำหนักทั้งหมดจะเข้าไปช่วยทำให้วัฏภาคของพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความยืดหยุ่น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็ง กับ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ความเร็วรอบของสกรู 30 50 และ 70 รอบต่อนาที ก็ให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวจะดีที่สุดที่อัตราส่วนของสารช่วยผสม 1% ของน้ำหนักทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.2-4.15 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที ในรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ค่าความแข็งแรงดึงจะสูงสุดที่อัตราส่วนของสารช่วยผสม 3% ของน้ำหนักทั้งหมด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้พอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดโดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เมื่ออัตราส่วนต่ำลงเป็น 1% ของน้ำหนักทั้งหมดค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงเนื่องจากการยึดติดระหว่างวัฏภาคของพอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทต่ำเกิดความไม่

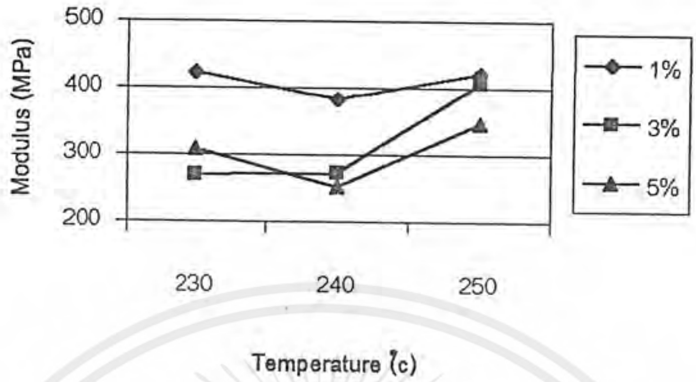
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ากันของพอลิเมอร์ผสม และเมื่ออัตราส่วนสูงขึ้นเป็น 5% ของน้ำหนักทั้งหมดค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสารช่วยผสมที่เติมมากเกินไปทำให้การแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างวัฏภาคทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความยืดหยุ่น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็ง กับ อุณหภูมิของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 7.5 และ 8.5 นาที ก็ให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งจะดีที่สุดที่อัตราส่วนของสารช่วยผสม 3% ของน้ำหนักทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.17-4.30 ตามลำดับ

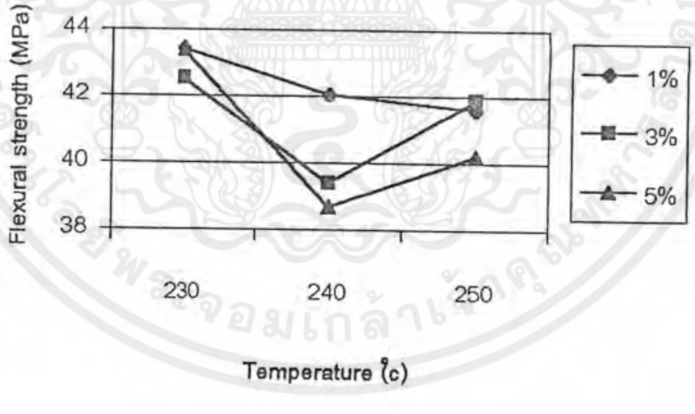


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

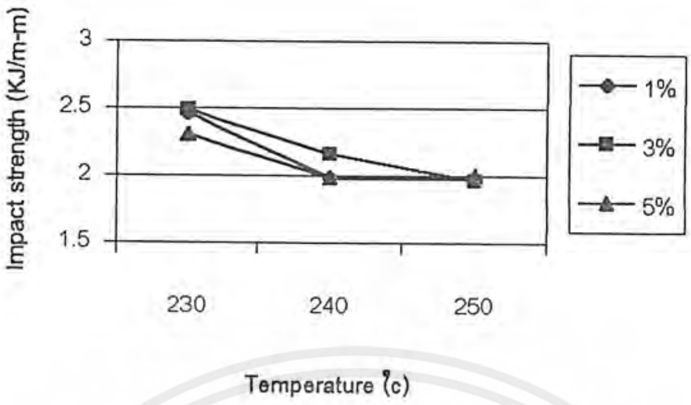


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที

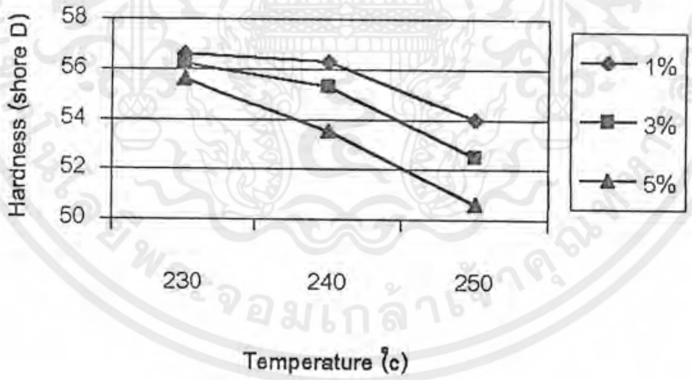


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

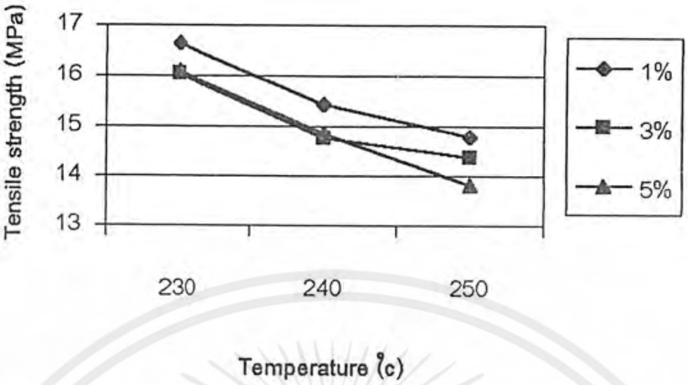


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที

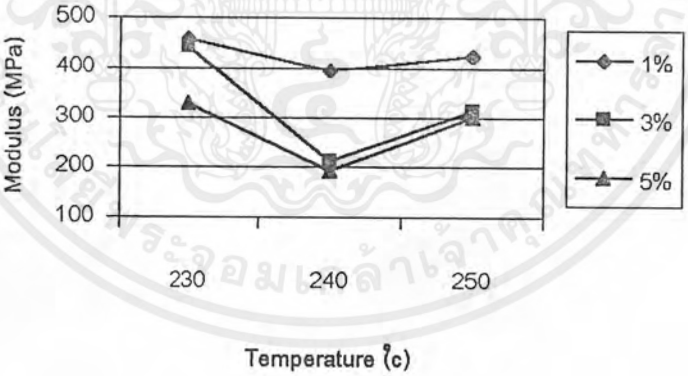


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 30 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

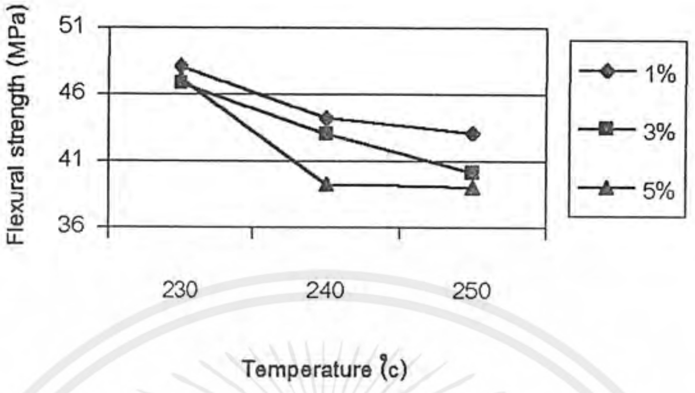


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที

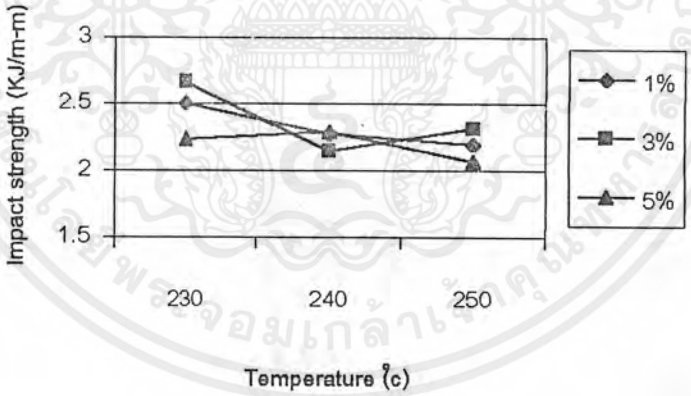


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

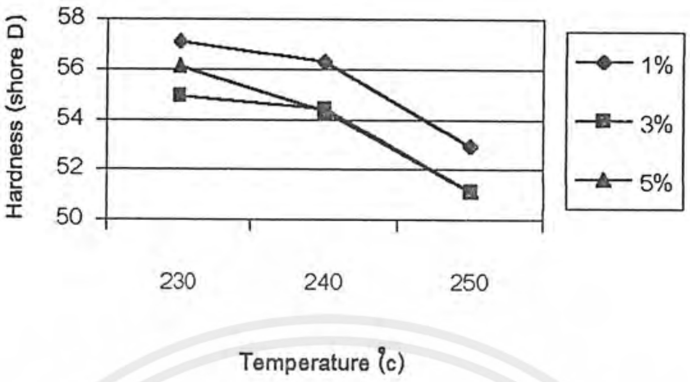


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที

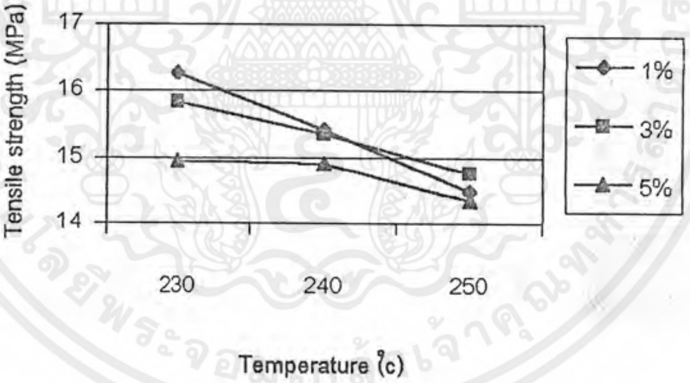


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

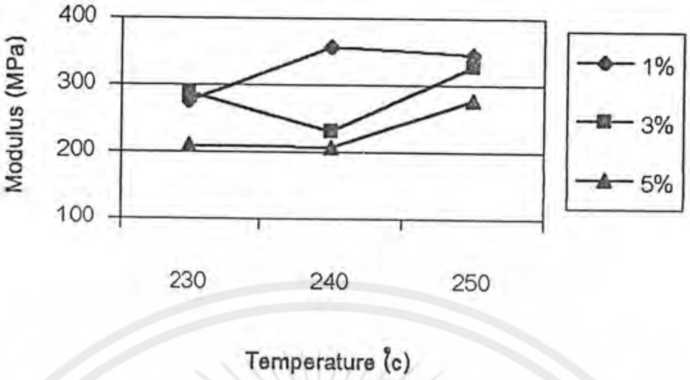


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที

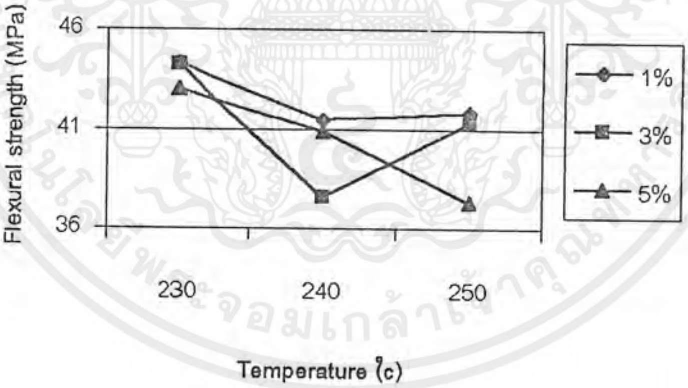


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

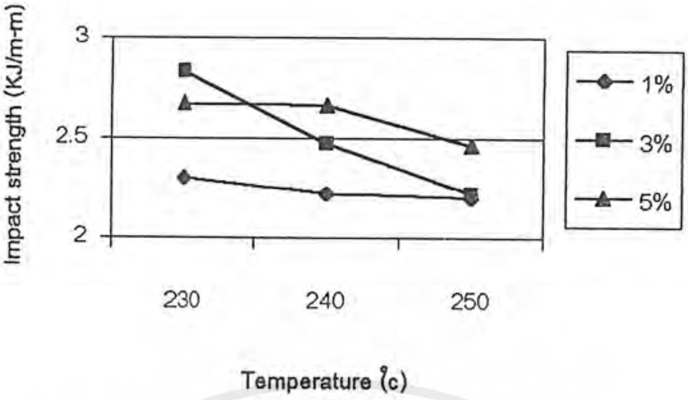


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที

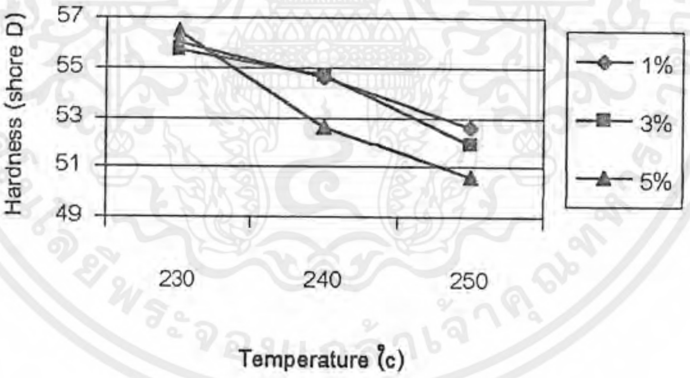


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

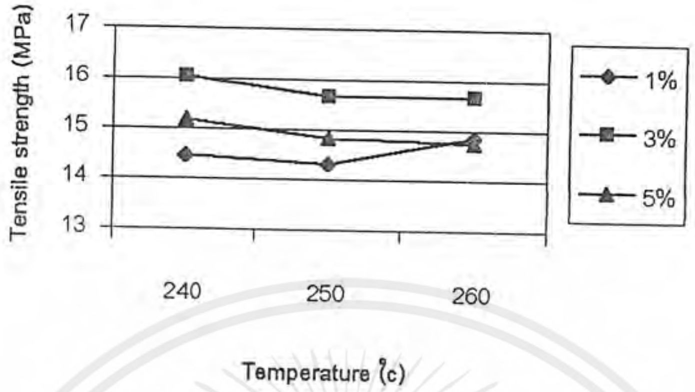


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที

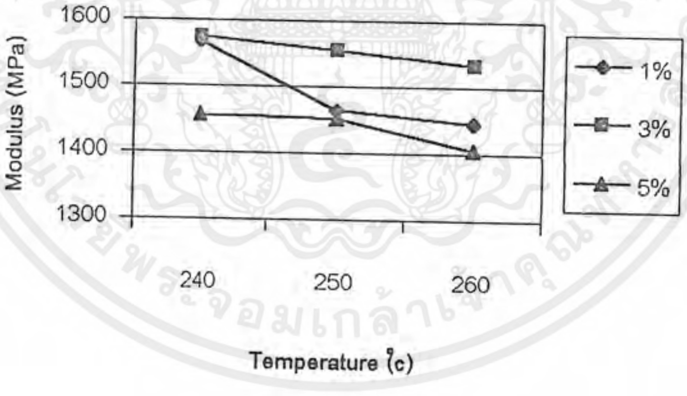


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ความเร็วรอบของสกรู 70 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

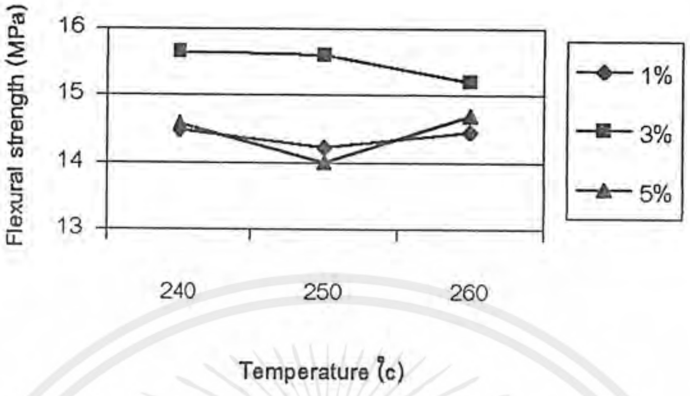


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที

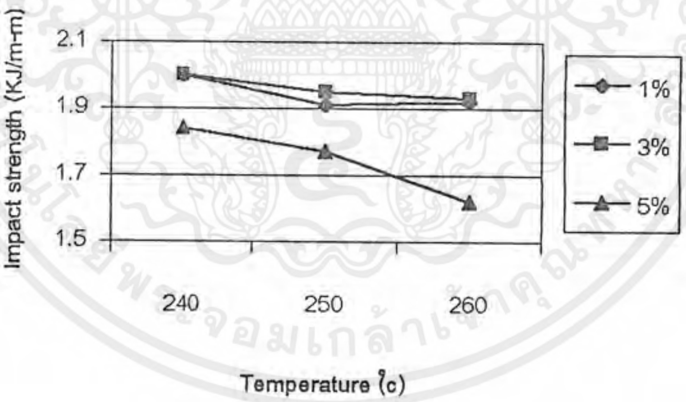


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

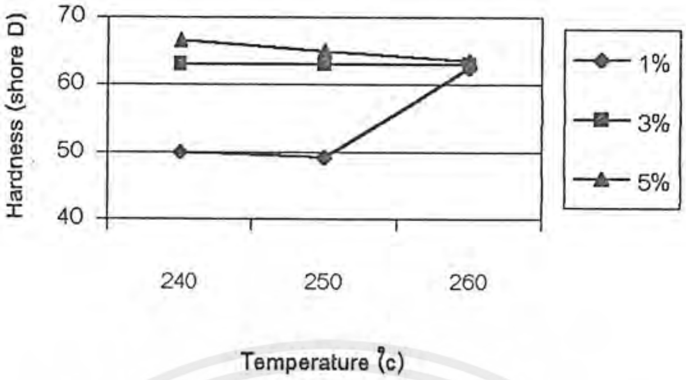


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที

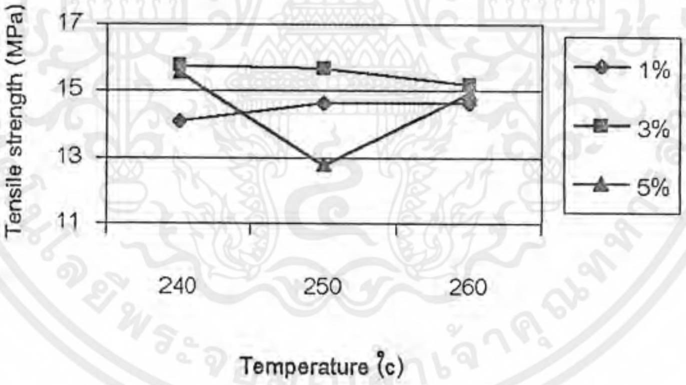


รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

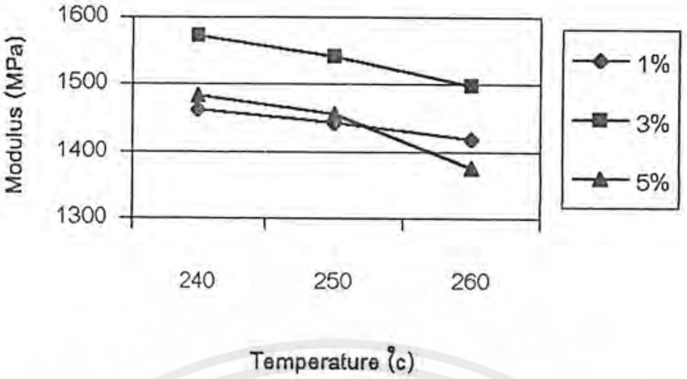


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 6.5 นาที

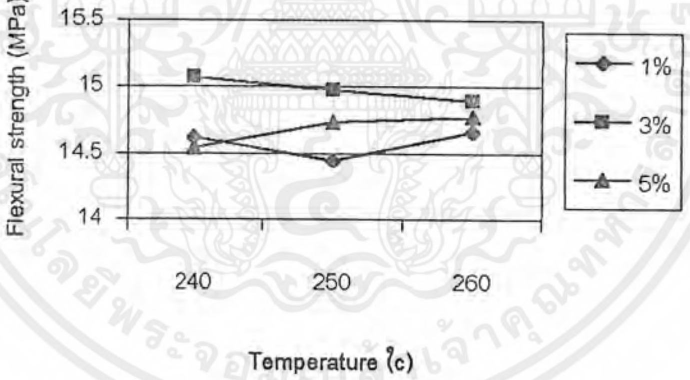


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

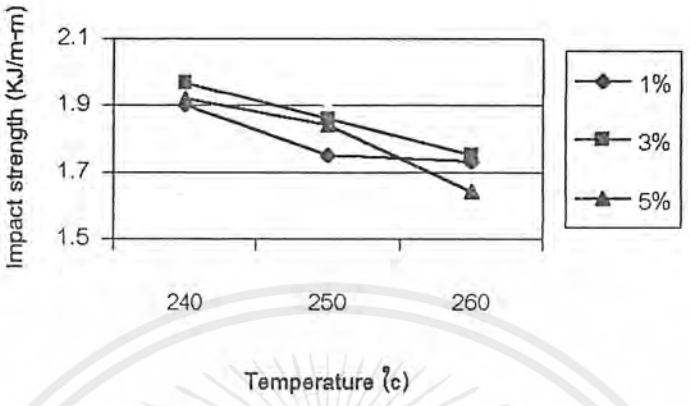


รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที

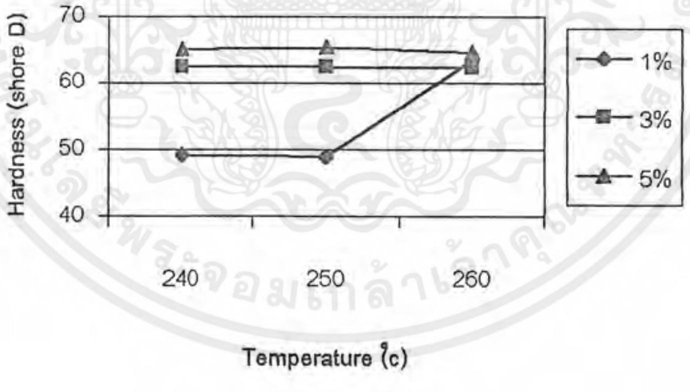


รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

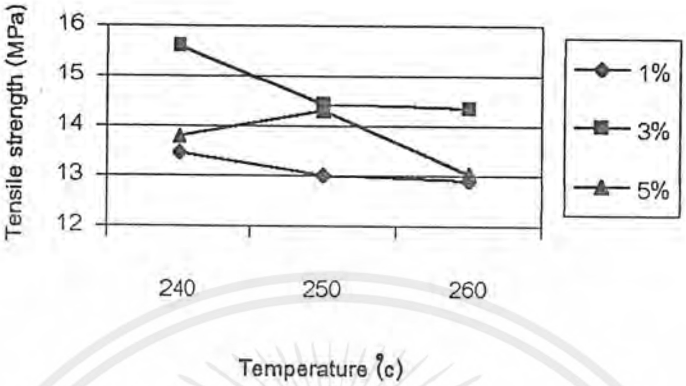


รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที

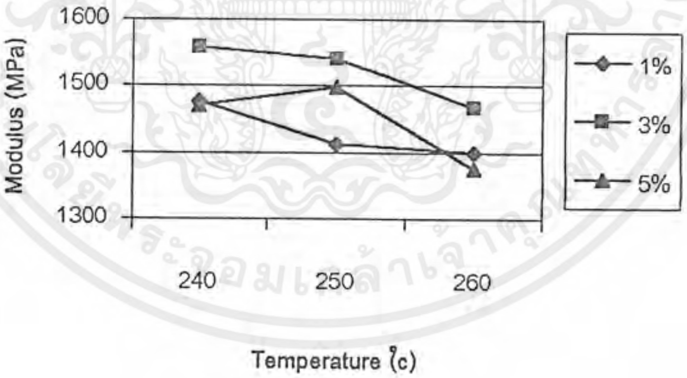


รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 7.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

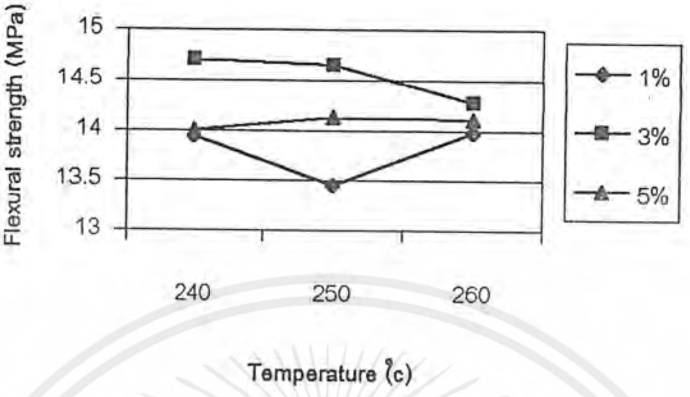


รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที

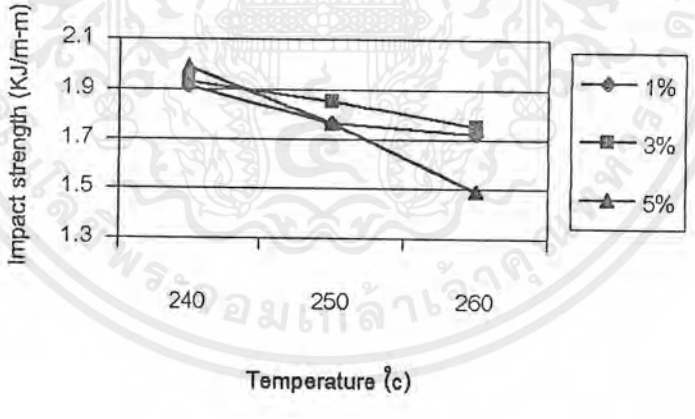


รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

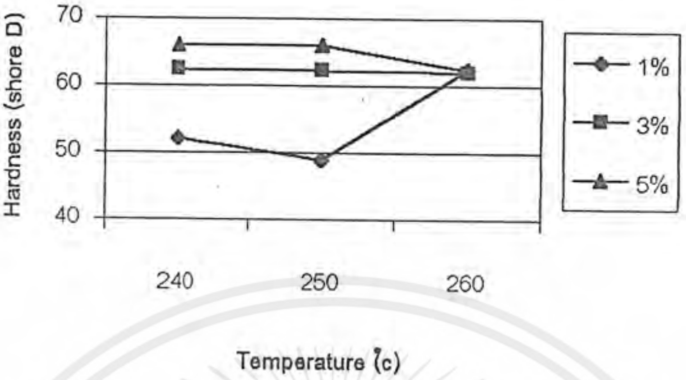


รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิที่อัตราส่วนของสารช่วยผสมต่างๆ ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เวลาที่ใช้ในการผสม 8.5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในกระบวนการผสมพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผสมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการผสมในแต่ละบริเวณและความเร็วรอบของสกรู ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วยพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของสกรูที่ 30 50 และ 70 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 230 240 และ 250°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.31-4.35

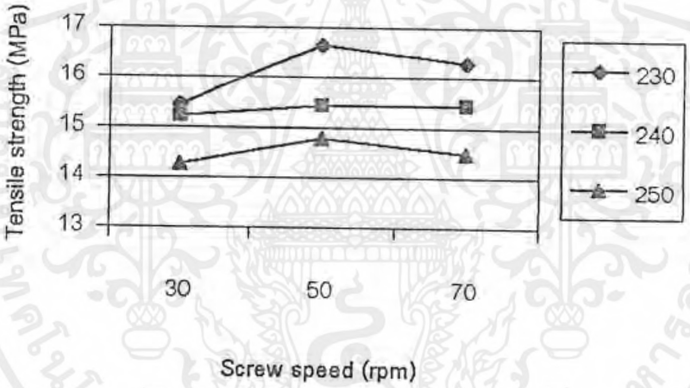
ตารางที่ 4.1. แสดงผลการศึกษาสภาวะในการดำเนินกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (°C)				Tensile strength (MPa)	Modulus (Mpa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (KJ/m²)	Hardness (shore D)
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4					
30	230	240	250	260	15.44	423.4	43.43	2.46	56.6
	240	250	260	270	15.21	382.9	42.03	1.98	56.3
	250	260	270	280	14.26	420.7	41.60	1.97	54.0
50	230	240	250	260	16.64	457.0	48.12	2.50	57.1
	240	250	260	270	15.42	392.8	44.16	2.27	56.3
	250	260	270	280	14.78	422.7	43.04	2.19	52.9
70	230	240	250	260	16.27	274.4	44.28	2.30	56.0
	240	250	260	270	15.41	356.6	41.47	2.22	54.6
	250	260	270	280	14.48	345.9	41.85	2.20	52.6

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบของสกรู แสดงในรูปที่ 4.31 พบว่าเมื่อความเร็วรอบของสกรูคงที่ค่าความแข็งแรงดึงจะสูงสุดที่อุณหภูมิ 230°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้พอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเกิดการหลอมผสมกัน

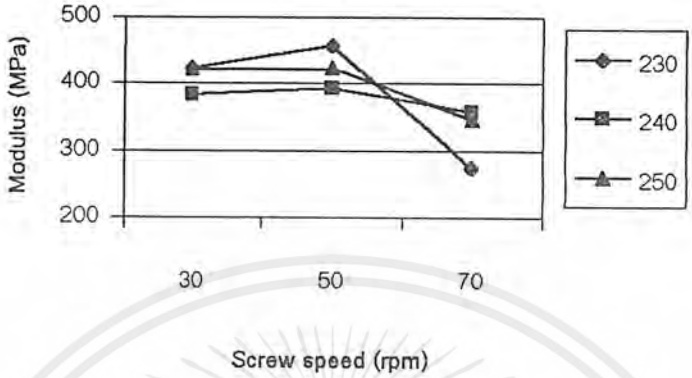
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดีที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูง พอลิโอลิฟินส์มีแนวโน้มเกิดการสูญเสียคุณภาพได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของสกรูจาก 30 เป็น 50 รอบต่อนาที พอลิเมอร์ผสมทั้งสองเกิดการผสมกันได้มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของสกรูเป็น 70 รอบต่อนาที การผสมไม่ดีเนื่องจากเวลาที่พอลิเมอร์ผสมอยู่ในกระบอกสกรูมีน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส ค่าความยืดหยุ่น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็ง กับ ความเร็วรอบของสกรูให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังรูปที่ 4.32 4.33 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ ดังนั้น สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวจะดีที่สุดเมื่อดำเนินกระบวนการที่ความเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที และอุณหภูมิ 230°C

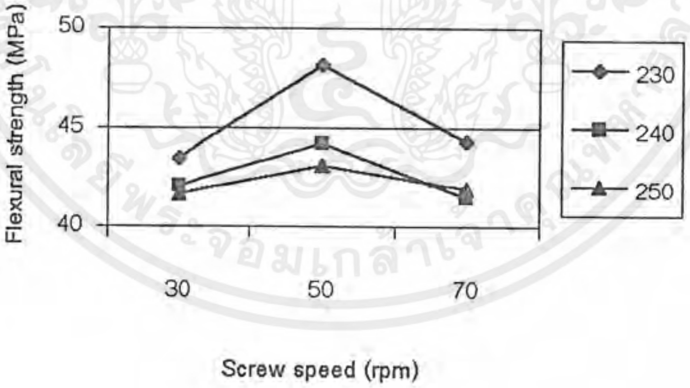


รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

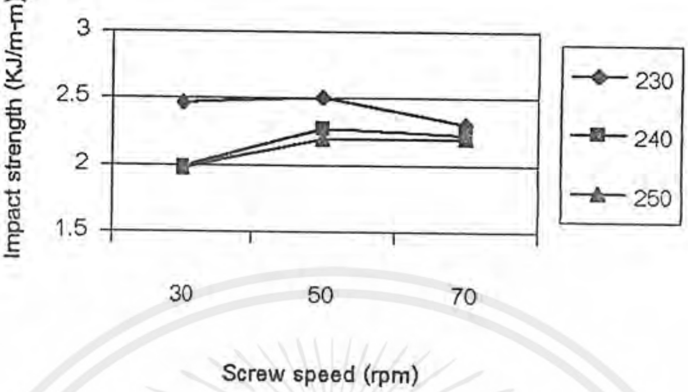


รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50

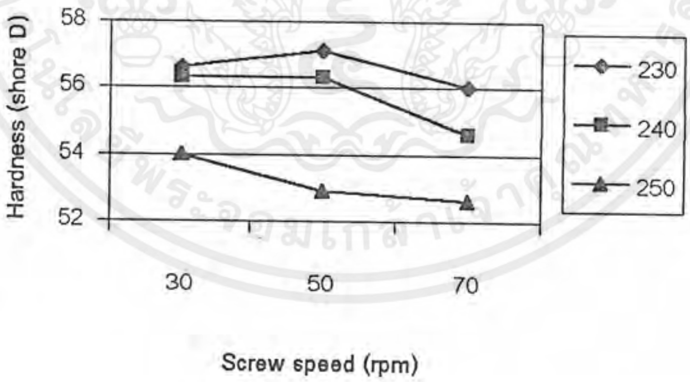


รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50



รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับความเร็วรอบของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสม พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของลูกกลิ้งและเวลาที่ใช้ในการผสมในกระบวนการผสมต้องสัมพันธ์กัน ซึ่งถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้เกิดการเสียคุณภาพทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผสมต่ำเกินไป พอลิเมอร์ผสมจะเข้ากันได้ไม่ดีซึ่งมีผลทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลงเช่นกัน ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วยพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50 (3%):50 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการผสมที่ 6.5 7.5 และ 8.5 นาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 240 250 และ 260°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.36-4.40

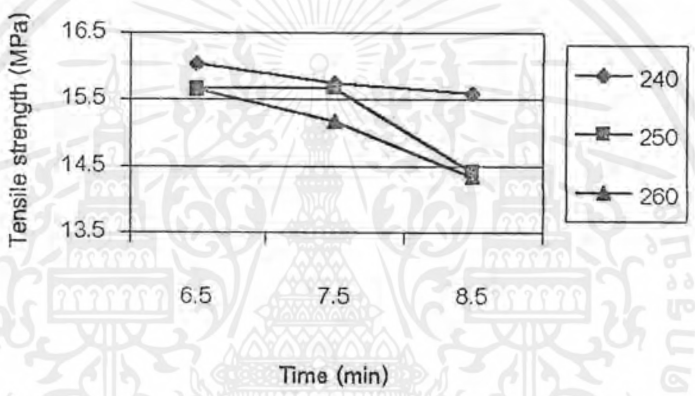
ตารางที่ 4.2. แสดงผลการศึกษาสภาวะในการดำเนินกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)			อุณหภูมิ (°C)		Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact Strength (KJ/m^2)	Hardness (shore D)
PET	PO	รวม	ลูกหน้า	ลูกหลัง					
5	1.5	6.5	240	250	16.03	1574	15.64	2.00	63.0
			250	260	15.66	1555	15.60	1.95	62.9
			260	270	15.65	1532	15.20	1.93	62.9
6	1.5	7.5	240	250	15.74	1571	15.07	1.97	62.5
			250	260	15.66	1541	14.97	1.86	62.4
			260	270	15.17	1498	14.89	1.75	62.3
7	1.5	8.5	240	250	15.59	1558	14.70	1.93	62.5
			250	260	14.42	1541	14.65	1.85	62.3
			260	270	14.34	1467	14.27	1.75	61.9

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้ในการผสม แสดงในรูปที่ 4.36 พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการผสมคงที่ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงพอลิโอลิฟินส์มีแนวโน้มเสียคุณภาพได้มากขึ้น ทำนองเดียวกันการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการผสมสูงขึ้นเป็น 7.5 และ 8.5 นาที พอลิเมอร์ผสมทั้งสองมีเวลาอยู่ในกระบวนการมากขึ้นเป็นผล

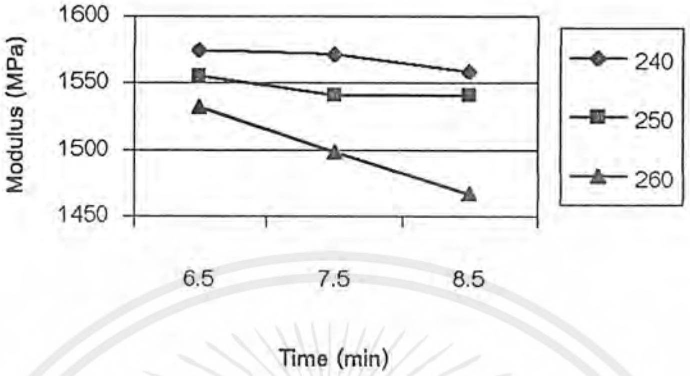
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจากการเสียคุณภาพของพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัส ค่าความยืดหยุ่น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็ง กับเวลาที่ใช้ในการผสมให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังรูปที่ 4.37 4.38 4.39 และ 4.40 ตามลำดับ ดังนั้นสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งจะดีที่สุดเมื่อดำเนินกระบวนการที่เวลาที่ใช้ในการผสมเป็น 6.5 นาที และอุณหภูมิ 240°C

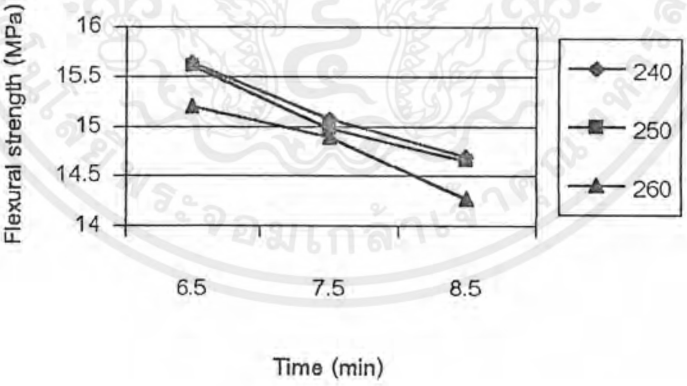


รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆ ของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

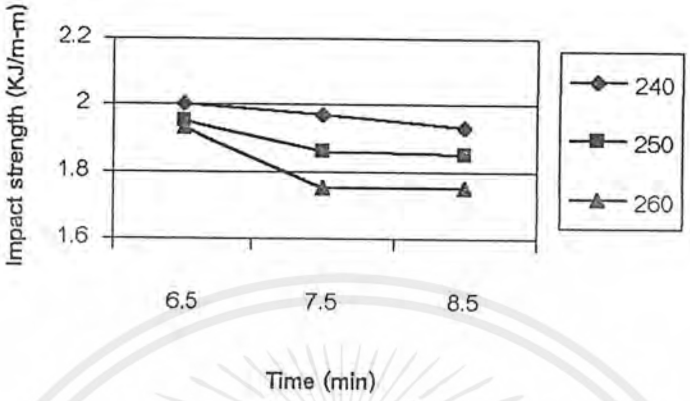


รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50

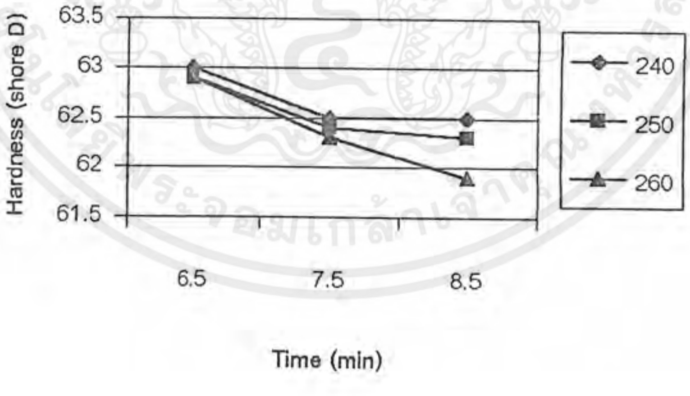


รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทกกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50



รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาที่ใช้ในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของระบบพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การศึกษาเปรียบเทียบหาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมจากสมบัติเชิงกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50:50 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินกระบวนการต่างๆเป็นดังนี้ คือ

กระบวนการที่ใช้	สารช่วยผสม (%ของน้ำหนักทั้งหมด)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ ^{o}(C)			
			Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)	1%	50	230	240	250	260

กระบวนการที่ใช้	สารช่วยผสม (%ของน้ำหนักทั้งหมด)	เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)	อุณหภูมิ (^{o}C)	
			ลูกหน้า	ลูกหลัง
เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)	3%	6.5	240	250

เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่าง 2 กระบวนการ พบว่าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวให้ผลที่ดีกว่า ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดระหว่าง 2 กระบวนการ

กระบวนการที่ใช้	Tensile strength(MPa)	Modulus (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (KJ/m^2)	Hardness (shore D)
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	16.64	457.0	48.12	2.50	57.1
เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	16.03	1574	15.64	2.00	63.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

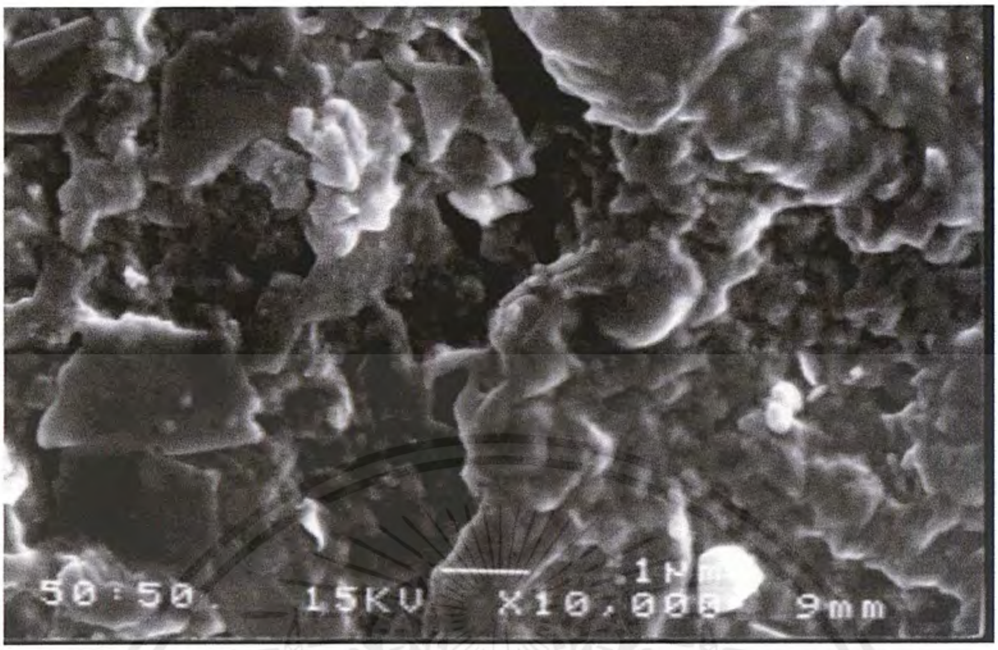
และเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 2 กระบวนการมาทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscrope; SEM) เปรียบเทียบกับพอลิโอลิฟินส์และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 100:0 และ 0:100 ที่สภาวะและกระบวนการเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.41-4.46

รูปที่ 4.41 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(1%):50 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว พบว่ายังมีการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ทั้งสองอยู่บ้าง ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% บริสุทธิ์ (รูปที่ 4.42) หรือพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.43) ในทำนองเดียวกัน SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (รูปที่ 4.44) เห็นได้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% บริสุทธิ์ (รูปที่ 4.45) หรือพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.46) เนื่องจากมีการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ทั้งสองโดยจากภาพจะเห็นเป็นหลุมดำที่เกิดจากการหลุดออกของเม็ดพอลิโอลิฟินส์

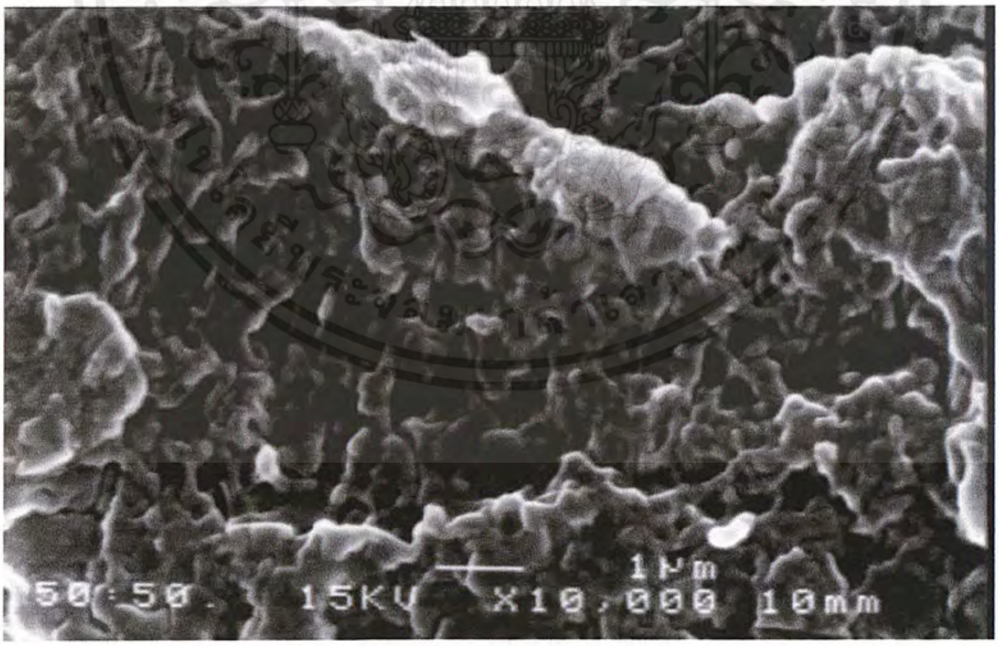
เมื่อเปรียบเทียบการผสมระหว่างเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวกับเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ในรูปที่ 4.41 และ 4.44 พบว่ากระบวนการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเหมาะสมกว่าการผสมโดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้มากกว่าเพราะเกิดการผสมแบบสองทิศทางอย่างสมบูรณ์ คือ ทิศทางตามแนวแกนของสกรูกับทิศทางตามแนวรัศมีของสกรู ในขณะที่การผสมโดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งจะเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์เพียงทิศทางเดียว คือ ทิศทางตามแนวรัศมีของลูกกลิ้ง ส่วนทิศทางตามแนวแกนของลูกกลิ้งเป็นการผสมโดยใช้คนจึงเกิดความไม่สม่ำเสมอส่งผลให้การผสมเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

จากการศึกษาเปรียบเทียบหาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมจากสมบัติเชิงกลและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของระบบพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50:50 จะเห็นได้ว่าให้ผลการเปรียบเทียบที่สอดคล้องกัน ดังนั้นสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50:50 คือ สภาวะของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

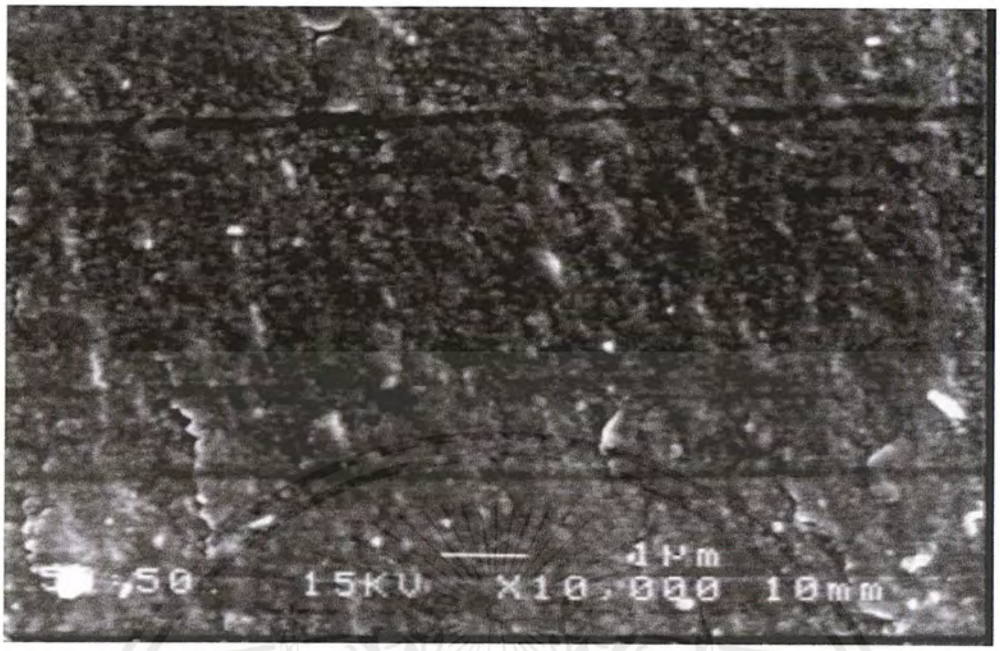


รูปที่ 4.41 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทใน อัตราส่วน 50(1%):50 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

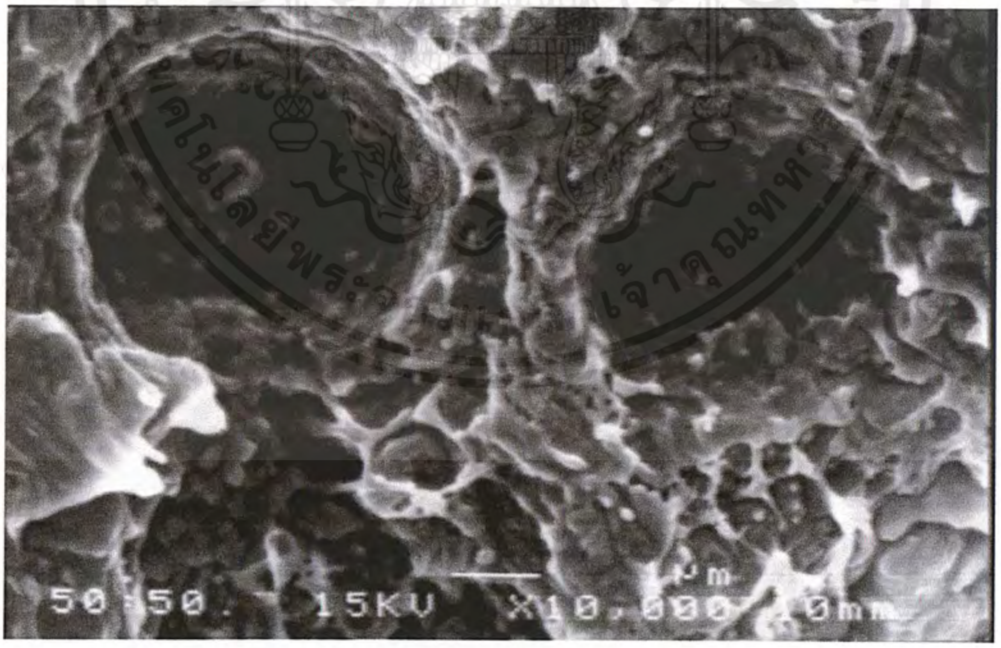


รูปที่ 4.42 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทใน อัตราส่วน 100(1%):0 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

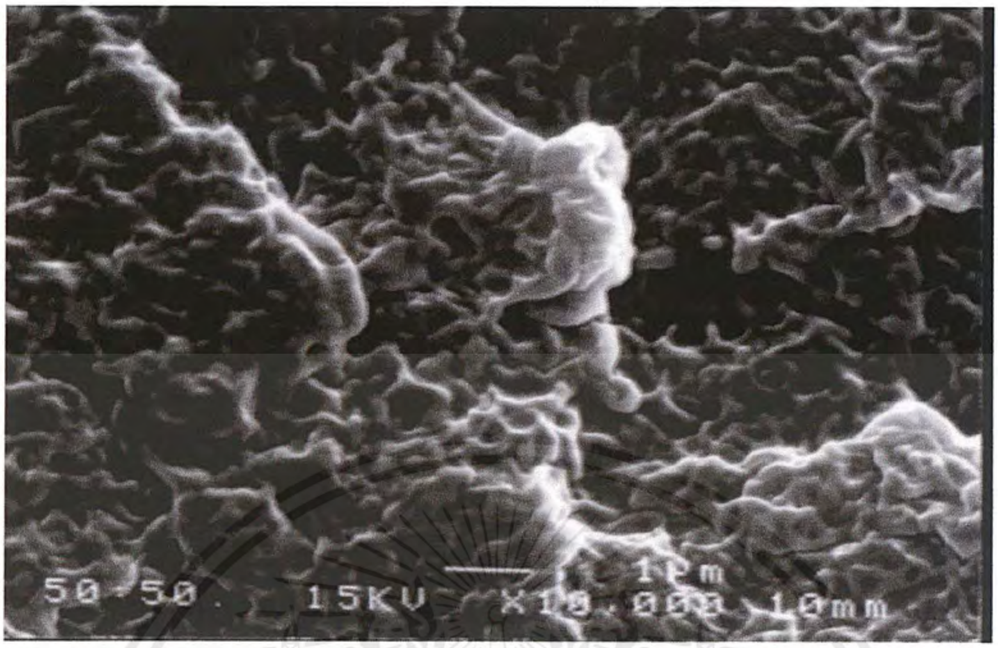


รูปที่ 4.43 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 0:100 โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

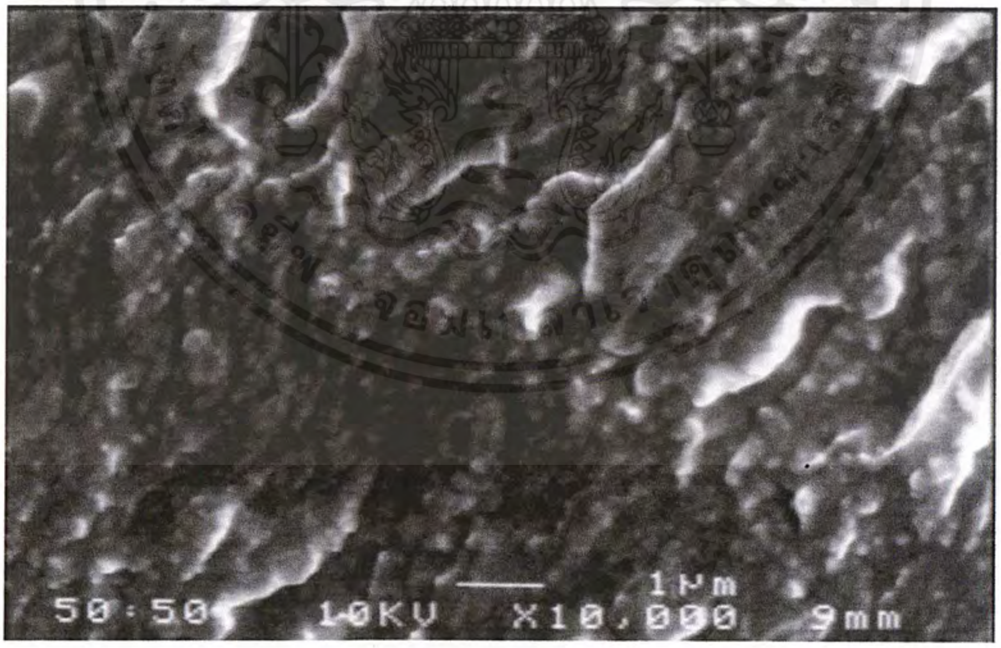


รูปที่ 4.44 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50(3%):50 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 100(3%):0 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.46 แสดง SEM ของพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 3% ต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 0:100 โดยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม

ผลการทดลองสมบัติเชิงกลที่ได้จากระบบพอลิเมอร์ผสมนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสม

ชนิดของพอลิเมอร์	Tensile strength (MPa)	Modulus (Mpa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (KJ/m^2)	Hardness (shore D)
พอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% (PO(compat.))	22.21	595.1	32.94	6.25	54.2
พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)	31.74	2020	43.13	1.14	74.1
PO(compat.):PET 50(1%):50	16.64	457.0	48.12	2.50	57.1

จากตาราง พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ส่วนค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์สองชนิด แต่สำหรับค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำพอลิเมอร์บริสุทธิ์ทั้งสองชนิดมาผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการผสมพอลิโอลิฟินส์ (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิโพรพิลีน) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท ในอัตราส่วน 50:50 โดยใช้เทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เพื่อศึกษาถึงผลของสารช่วยผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผสมที่มีต่อสมบัติเชิงกล และศึกษาถึงสมบัติทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

5.1. อัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์หลักและสารช่วยผสม

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกล สรุปได้ว่าสารช่วยผสมมีผลในการช่วยปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม ทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าปริมาณสารช่วยผสมมีมากเกินไปจะเกิดการรวมตัวกันของสารช่วยผสมเองทำให้ไม่สามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์ผสมได้มีผลให้สมบัติเชิงกลลดลง จากการทดสอบปริมาณสารช่วยผสม ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว คือ 1% ของน้ำหนักทั้งหมด และปริมาณที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง คือ 3% ของน้ำหนักทั้งหมด

5.2. สภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติเชิงกลสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินกระบวนการผสมพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทในอัตราส่วน 50:50 เข้าด้วยกันโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งขึ้นกับตัวแปรในกระบวนการ ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการสูงเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิของกระบวนการน้อยเกินไปจะทำให้การหลอมตัวไม่สมบูรณ์ ในส่วนของผลจากความเร็วรอบของสกรูถ้าต่ำเกินไป แรงเฉือนที่ได้น้อยการผสมจะไม่สมบูรณ์ ถ้ามากเกินไปเวลาที่พอลิเมอร์อยู่ในกระบอกสกรูมีน้อยลง ทำให้การผสมไม่ดี สำหรับผลจากเวลาที่ใช้ในการผสมถ้าเวลาที่ใช้น้อยเกินไปการผสมเข้ากันของพอลิเมอร์ไม่ดี ถ้าเวลาที่ใช้มากเกินไป พอลิเมอร์ได้รับแรงเฉือนและความร้อนจากลูกกลิ้งเป็นเวลานานทำให้เกิดการเสียสภาพของพอลิเมอร์ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลทำให้มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่าง 2 กระบวนการ พบว่าการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวให้ผลที่ดีกว่า

จากผลการทดสอบสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) สรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทสามารถผสมเข้ากันได้ดีกว่าเมื่อทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

5.3. ความเป็นไปได้ในการนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งาน

เมื่อพิจารณาผลของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมพอลิโอลิฟินส์ที่มีสารช่วยผสมอยู่ 1% กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว เปรียบเทียบกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ส่วนค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความแข็งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์สองชนิด แต่สำหรับค่าความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำพอลิเมอร์บริสุทธิ์ทั้งสองชนิดมาผสมกัน ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมนี้จึงเหมาะในการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง เช่น เฟอร์นิเจอร์และบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4. ข้อเสนอแนะ

- ศึกษากระบวนการผลิตพอลิเมอร์ผสมในรูปแบบอื่น นอกเหนือจากกระบวนการอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและกระบวนการบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เช่น กระบวนการอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ เป็นต้น
- ศึกษาสภาวะของกระบวนการให้ละเอียดขึ้น เช่น ปรับอุณหภูมิ ความเร็วรอบของสกรูและเวลาที่ใช้ในการผสม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น
- ศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีส่วนช่วยเสริมสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น สารเติมแต่งที่ควรใช้ ได้แก่ สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและเส้นใยแก้ว เป็นต้น
- ศึกษาถึงสมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางแสง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น
- ศึกษาผลของสารช่วยผสมตัวอื่นๆ เช่น PP-g-AA พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับระบบผสมที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ PO:PET เท่ากับ 50:50

Screw Speed (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (^{0}C)	Tensile strength (MPa)			Modulus (MPa)			Flexural strength (MPa)			Impact strength (KJ/m^2)			Hardness (shore D)		
		1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
30	230-260	15.44	14.68	14.05	423.4	269.1	307.2	43.43	42.51	43.39	2.46	2.49	2.30	56.6	56.2	55.6
	240-270	15.21	14.63	12.69	382.9	272.7	251.7	42.03	39.39	38.68	1.98	2.16	1.98	56.3	55.3	53.5
	250-280	14.26	13.33	13.33	420.7	407.7	345.3	41.60	41.88	40.17	1.97	1.96	2.00	54.0	52.5	50.6
50	230-260	16.64	16.04	16.09	457.0	441.8	327.3	48.12	46.85	47.25	2.50	2.66	2.23	57.1	54.9	56.1
	240-270	15.42	14.76	14.83	392.8	211.8	192.2	44.16	42.97	39.23	2.27	2.14	2.29	56.3	54.4	54.3
	250-280	14.78	14.36	13.81	422.7	311.2	299.0	43.04	40.10	38.94	2.19	2.31	2.06	52.9	51.1	51.1
70	230-260	16.27	15.83	14.94	274.4	287.1	209.6	44.28	44.25	43.00	2.30	2.83	2.67	56.0	55.7	56.5
	240-270	15.41	15.34	14.90	356.6	229.3	206.4	41.47	37.56	40.86	2.22	2.47	2.66	54.6	54.7	52.6
	250-280	14.48	14.76	14.33	345.9	328.6	277.2	41.85	41.31	37.30	2.20	2.22	2.46	52.6	51.9	50.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ PO:PET เท่ากับ 100:0

ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (^{0}C)	Tensile strength (MPa)			Modulus (MPa)			Flexural strength (MPa)			Impact strength (KJ/m^2)			Hardness (shore D)		
		1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
30	230-260	21.37	17.00	18.67	545.4	461.6	760.6	36.29	27.56	28.84	5.74	8.11	5.12	54.6	53.1	53.8
	240-270	20.35	17.69	19.76	658.4	298.1	632.5	34.95	21.52	23.43	6.30	7.76	6.15	54.0	51.8	54.6
	250-280	20.98	17.99	18.59	166.8	529.0	642.8	35.40	28.36	32.40	5.30	6.93	4.72	54.0	53.4	53.4
50	230-260	22.21	16.96	17.93	595.1	511.9	453.7	32.94	29.36	30.37	6.25	9.32	6.57	54.2	54.0	54.8
	240-270	19.66	17.58	18.75	603.8	369.1	639.4	35.64	22.21	21.77	6.54	6.93	5.70	55.2	53.4	54.5
	250-280	20.48	18.30	18.95	524.6	489.1	666.5	33.04	30.65	32.54	5.42	7.15	4.36	54.6	54.0	53.7
70	230-260	21.56	15.92	18.55	579.4	480.1	498.7	34.41	28.19	32.13	6.37	5.91	5.30	54.7	55.2	54.6
	240-270	20.20	17.49	19.10	574.2	371.2	784.5	32.53	23.26	22.40	6.16	6.80	5.04	55.2	53.4	53.2
	250-280	20.00	18.00	18.62	574.8	556.1	683.9	32.20	31.41	31.13	4.74	5.61	4.35	53.7	53.0	52.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ PO:PET เท่ากับ 0:100

ความเร็วรอบของสกรู (รอบ/นาที)	อุณหภูมิ (^{o}C)	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (KJ/m^2)	Hardness (shore D)
30	230-260	43.97	2155	33.96	1.49	77.0
	240-270	54.91	1451	86.22	1.89	67.1
	250-280	36.45	1843	88.66	0.97	67.6
50	230-260	31.74	2020	43.13	1.14	74.1
	240-270	47.22	1269	79.73	1.24	65.8
	250-280	48.65	1270	83.14	1.02	68.5
70	230-260	37.45	1791	86.85	1.10	69.0
	240-270	48.28	1460	78.56	1.71	67.8
	250-280	45.06	1674	87.16	1.14	66.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ PO:PET เท่ากับ 50:50

เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)			อุณหภูมิ (°C)		Tensile strength (MPa)			Modulus (MPa)			Flexural strength (MPa)			Impact strength (KJ/m^2)			Hardness (shore D)		
PET	PO	รวม	หน้า	หลัง	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
5	1.5	6.5	240	250	14.45	16.03	15.17	1568	1574	1455	14.48	15.64	14.57	2.00	2.00	1.84	49.9	63.0	66.4
			250	260	14.30	15.66	14.81	1463	1555	1451	14.22	15.60	14.00	1.91	1.95	1.77	49.2	62.9	64.8
			260	270	14.83	15.65	14.74	1444	1532	1405	14.45	15.20	14.69	1.92	1.93	1.62	62.5	62.9	63.5
6	1.5	7.5	240	250	14.09	15.74	15.55	1462	1571	1483	14.62	15.07	14.54	1.90	1.97	1.92	49.2	62.5	65.0
			250	260	14.62	15.66	12.77	1443	1541	1455	14.44	14.97	14.73	1.75	1.86	1.84	48.8	62.4	65.3
			260	270	14.63	15.17	14.91	1419	1498	1375	14.66	14.89	14.77	1.73	1.75	1.64	63.4	62.3	64.5
7	1.5	8.5	240	250	13.45	15.59	13.77	1477	1558	1470	13.94	14.70	14.00	1.91	1.93	1.99	52.1	62.5	66.0
			250	260	13.00	14.42	14.28	1413	1541	1497	13.45	14.65	14.12	1.76	1.85	1.76	48.9	62.3	66.0
			260	270	12.90	14.34	13.03	1400	1467	1376	13.97	14.27	14.10	1.72	1.75	1.49	62.5	61.9	62.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งที่ PO:PET เท่ากับ100:0

เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)	อุณหภูมิ (^{0}C)		Tensile strength (MPa)			Modulus (MPa)			Flexural strength (MPa)			Impact strength (KJ/m^{2})			Hardness (shore D)		
	หน้า	หลัง	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%	1%	3%	5%
1.5	240	250	21.74	18.44	21.30	117.0	258.9	352.2	14.65	14.08	14.50	5.72	6.11	5.36	54.8	55.1	54.4
1.5	250	260	19.69	18.04	19.70	101.3	379.7	342.5	15.03	14.49	14.55	5.06	4.11	7.03	54.2	52.6	55.0
1.5	260	270	19.93	17.96	19.55	165.1	143.3	242.3	14.67	14.45	15.30	3.69	4.86	6.35	53.8	53.4	54.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ PO:PET เท่ากับ 0:100

เวลาที่ใช้ในการผสม (นาที)	อุณหภูมิ (^{0}C)		Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (KJ/m^2)	Hardness (shore D)
	หน้า	หลัง					
6.5	240	250	21.70	656.0	40.03	1.45	74.0
	250	260	42.78	385.9	92.35	1.46	72.4
	260	270	34.64	691.2	93.31	1.54	72.4
7.5	240	250	53.80	1012	85.47	2.27	72.3
	250	260	54.25	935.6	91.97	1.53	72.5
	260	270	52.21	1020	93.54	1.53	71.5
8.5	240	250	51.31	863.2	84.54	2.72	72.3
	250	260	46.53	1034	92.07	2.17	72.3
	260	270	22.78	1111	84.71	1.54	72.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Oromiehie, A.R., Hashemi, S.A., Meldrum, I.G. and Waters, D.N. "Optimisation of Processing Conditions for Blend Poly(ethylene terephthalate) with Polyalkenes" Plastics,Rubber and Composites Processing and Applications. 25(5). (1996): 249-256.
2. LiYao and Charles Beatty "The In Situ Compatibilization of HDPE/PET Blends" ANTEC.,Montreal. (1997): 2577-2581.
3. Michel, F.C., Michel, A.H. and Claudine, R. "Compatilization of PP/PET Blends" ANTEC., Florida. (1998): 2453-2457.
4. Scott, K. "Effects of Drying Parameters on Recycled PET" ANTEC., New York. (1999).
5. Kathleen, C.B., Carol, M.F., Barry and Stephen, A.O. "The Effect of Polypropylene Type and Filler on the Properties of TPO Blends" ANTEC., New York. (1999).
6. Nupur, P. "Blends of Flexible Polypropylene and High Density Polyethylene" ANTEC., New York. (1999).
7. ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย, "เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1", ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2542.
8. จิราภรณ์ เมฆบริสุทธิ์ และคณะ " การใช้สารผสมในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
9. Feldmand, D. and Barbalata, A., "Synthetic Polymers Technology, Properties, Application" Chapman & Hall, London, 1996, pp. 3-43, 177-183.
10. รศ.บรรเลง ศรนิล, "เทคโนโลยีพลาสติก" พิมพ์ครั้งที่ 1, ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2525, pp. 12-13.
11. Morton-Jones, D.H., "Polymer Processing" Chapman & Hall, London, 1989, pp. 64-66, 74-78, 146-156.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้