สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการทำเม็ดสีเข้มข้นจากพอลิโอเลฟินส์ที่ใช้แล้ว

นายภาคภูมิ กิจเลิศบรรจง
นางสาวอุษณี วาทีธรรมคุณ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....37656
วัน, เดือน, ปี.....19 ก.ย. 2543

Masterbatch from Recycled Polyolefins

Mr. Pakpoom Kijleartbanjong

Miss Ausanee Vateetammakun

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

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กระบวนการทำสีผสมจากพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว	
นักศึกษา	นายภาคภูมิ	กิจเลิศบรรจง
	นางสาวอุษณี	วาทีธรรมคุณ
ภาควิชา	เคมี	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์	วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

---------- หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

---------- ประธานกรรมการ

(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

---------- กรรมการ

(ดร.พัชนี เจริญยิ่ง)

---------- กรรมการ

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	กระบวนการทำสีเข้มข้นจากพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว
นักศึกษา	นายภาคภูมิ กิจเลิศบรรจง
	นางสาวอุษณี วาทีธรรมคุณ
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะของกระบวนการและอัตราส่วนผสมของพอลิโอเลฟินส์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatch) โดยศึกษาสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา ทำการศึกษากระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำมาจากขวดน้ำชนิดขุ่น และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็น 1:1:1 2:1:1 1:2:1 และ 1:1:2 จากนั้นนำอัตราส่วนผสมที่ได้จากสภาวะของกระบวนการและสมบัติเชิงกลดีที่สุดผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้นโดยใช้อัตราส่วนของผงคาร์บอน 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาพบว่า สภาวะของกระบวนการและอัตราส่วนผสมของพอลิโอเลฟินส์ที่เหมาะสมได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ในอัตราส่วนผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำมาจากขวดน้ำชนิดขุ่น และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็น 2:1:1 และ1:1:2 โดยใช้อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส และเวลาในการผสม 8 นาที สำหรับอัตราส่วนดังกล่าวเมื่อนำมามาผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้นพบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดคือ 2:1:1 ที่มีปริมาณผงคาร์บอนอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์

Special project Title	Masterbatch from Recycled Polyolefins
Name	Mr. Pakpoom Kijleartbanjong
	Miss Utsani wateetammakun
Special prooject advisor	Assist.Prof.Somsak Woramongconchai
Department	Chemistry
Academic Year	1999

Abstract

This research studied the conditions of processing and optimum ratio of polyolefins for masterbatch application. The machanical, thermal and morphological properties of blended polyolefins preparing from single-screw extrusion and two-roll mill were investigated. The ratio between Polypropylene (PP) recycled High Density Polyethylene (HDPE) and Low Density Polyethylene (LDPE) were as 1:1:1 2:1:1 1:2:1 and 1:1:2. The optimum ratio and optimum processing conditions, giving the best mechanical properties, were choosed to produce masterbatch by using carbon black as 20, 30 and 40%.

It was found that the optimum ratio of polyolefins resulted from two-roll mill were as 2:1:1 and 1:1:2 (PP:recycled HDPE:LDPE), the optimum processing conditions were 185^{0}C with mixing time 8 minutes. After produce masterbatch with polyolefins ratio of 2:1:1 with the amount of carbon black 20% showed the best mechanical properties.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ สั่งสอน และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบคุณ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ดร.พัชนี เจริญยิ่ง คณะกรรมการทั้งสองท่านที่ได้กรุณาแก้ไข ตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และ เพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายภาคภูมิ กิจเลิศบรรจง

นางสาวอุษณี วาทีธรรมคุณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิเมอร์ผสม	4
2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้	6
2.3 พอลิโอเลฟินส์	
2.3.1 พอลิพรอพิลีน	9
2.3.2 พอลิเอทิลีน	11
2.4 สี	15
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	18
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	21
3.3 วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	26
4.1สภาวะของพอลิโอเลฟินส์ก่อนการผสมรงควัตถุ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	26

4.2 สภาวะของพอลิโอเลฟินส์ก่อนการผสมรงควัตถุ
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 36
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอเลฟินส์กับรงควัตถุ 46
4.4 การศึกษาคุณสมบัติของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า 51
บทที่ 5 สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ 58
เอกสารอ้างอิง 59

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ 8
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอเลฟินส์ 14
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของ PP : HDPE (recycled) : LDPE
ที่สภาวะการทดสอบต่างๆกัน โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 23
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของ PP : HDPE (recycled) : LDPE
ที่สภาวะการทดสอบต่างๆกัน โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง 23
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการผสม พอลิโอลิฟินส์ กับผงคาร์บอนปริมาณ ต่างๆกัน
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง 23
ตารางที่ 3.4 แสดงสูตรเม็ดสีเข้มข้น ปริมาณเม็ดสีเข้มข้น และ ชนิดพอลิเมอร์ที่ทำการผสม 24
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 26
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 28
ตารางที่ 4-3 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 31
ตารางที่ 4-4 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 33
ตารางที่ 4-5 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 36
ตารางที่4-6 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วนPP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 38
ตารางที่ 4-7 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 41
ตารางที่ 4-8 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์
โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วนPP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 43
ตารางที่ 4-9 แสดงอัตราส่วนและสภาวะที่ได้รับการคัดเลือก 46

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการศึกษาปริมาณรงควัตถุที่มีผลต่อพอลิโอเลฟินส์ 46
ตารางที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้
กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ PP 52
ตารางที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้
กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ HDPE 52
ตารางที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้
กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ LDPE 52
ตารางที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อการเบี่ยงเบนทางความร้อน 53

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม 4

รูปที่ 2.2 แสดงความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมสองชนิด

รูปที่ 2.3 แสดงศักยภาพการตอบสนองทางสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม 5

รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับอัตราส่วนขององค์ประกอบ
ในพอลิเมอร์ผสม 7

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน 6

รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไอโซแทคติคพอลิพรอพิลีน 9

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน 10

รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน 10

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีพอลิเอทิลีน 11

รูปที่ 4-1แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่
อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 27

รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ
ของ พอโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 27

รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรู
ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 28

รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรู
ที่อุณหภูมิต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 29

รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 30

รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่
อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 30

รูปที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่
อุณหภูมิต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 32

รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่
อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 32

รูปที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่
อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 33
รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรู
ที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 34
รูปที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรู
ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 35
รูปที่4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรู
ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 35
รูปที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 37
รูปที่ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 37
รูปที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 38
รูปที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 39
รูปที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 40
รูปที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลา
ในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 40
รูปที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 42
รูปที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 42
รูปที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลา
ในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 43
รูปที่ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 44
รูปที่ 4-23 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 45

รูปที่ 4-24 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ
เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 45
รูปที่ 4-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C
เวลาในการผสม 8 นาที 47
รูปที่ 4-26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความความสามารถในการดึง กับ
ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1
ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที 47
รูปที่ 4-27แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งงอ กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C
เวลาในการผสม 8 นาที 48
รูปที่ 4-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทก กับ
ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1
ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที 48
รูปที่ 4-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ
ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C
เวลาในการผสม 8 นาที 49
รูปที่ 4-30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความความสามารถในการดึง กับ
ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE
เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที 49
รูปที่ 4-31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งงอ กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ
พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1
ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที 50
รูปที่ 4-32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนทานต่อแรงกระแทก กับ
ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE
เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที 50

รูปที่ 4-33 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า กำลังขยาย 8,000 เท่า 54
รูปที่ 4-34 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ LDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า 55
รูปที่ 4-35 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ HDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า 55
รูปที่ 4-36 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ PP กำลังขยาย 8,000 เท่า 56
รูปที่ 4-37 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB 20% กำลังขยาย 8,000 เท่า 56
รูปที่ 4-38 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB 20% ผสมกับ LDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า 57
รูปที่ 4-39 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB 20% ผสมกับ HDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า 57
รูปที่ 4-40 แสดง Scanning Electron Micrograph ของเม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB 20% ผสมกับ PP กำลังขยาย 8,000 เท่า 58

บทที่1
บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติดีเด่นมากมายจึงมีบทบาทและปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากปริมาณความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น สิ่งที่ตามมาคือปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการรณรงค์เพื่อแก้ปัญหาของขยะพลาสติกดังนี้

1. การทำให้เสื่อมสลาย เช่น ถมที่ เผาทิ้ง
2. การใช้วัสดุธรรมชาติทดแทน
3. การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recycled) เช่น
    3.1 นำพลาสติกที่ผลิตไม่ได้มาตรฐานหรือเศษพลาสติกส่วนเกินมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่
    3.2 นำพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้วมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่
    3.3 นำพลาสติกที่ใช้แล้วมาเผาจนเกิดการสลายตัวได้เป็นสารตั้งต้นพวกมอนอเมอร์หรือสารอินทรีย์อื่นที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก
    3.4 นำพลาสติกที่ใช้แล้วไปเผาโดยจำกัดปริมาณออกซิเจนทำให้ได้พลังงานออกมานำไปใช้ประโยชน์ต่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้แล้วมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่มีการใช้เทคนิคทางด้านการผลิตพอลิเมอร์ผสมและนำไปประยุกต์ทางด้านอุตสาหกรรมสีโดยการผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatch)

พอลิเมอร์ที่ใช้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ พอลิโอลิฟินส์ (พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งได้จากการนำขวดนำชนิดขุ่นมาใช้ใหม่) นำพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดมาศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วของสกรูของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เพื่อเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatch) พร้อมทั้งเปรียบเทียบเม็ดสีเข้มข้นที่ได้จากการนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

1.1ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

Og bobe,O. [1] ทำการศึกษาการกระจายตัวของ LDPE Masterbatch ในพอลิโอเลฟินส์ ในการทดลองนี้จะศึกษาโดยใช้ Light microscope พบว่าการกระจายตัวของรงควัตถุที่ใช้เติมใน LDPE Masterbatch และการกระจายตัวของ LDPE Masterbatch ในพอลิโอเลฟินส์ (HDPE) ไม่ดี เนื่องจากการแยกเป็น สองเฟสของ LDPE และ HDPE โดยการกระจายตัวของ LDPE Masterbatch ขึ้นอยู่กับ ดัชนีการหลอมเหลวของ HDPE

J. Peter, G. Capelle and R. Skubich [2] ทำการศึกษาการให้ความร้อนด้วยความถี่สูง ใน ผงคาร์บอน Masterbatch ก่อนการผสมกับยาง จากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนด้วยความถี่สูง ใน ผงคาร์บอน Masterbatch ก่อนการผสมกับยาง จะช่วยเพิ่มค่าความจุความร้อนในการผสม ทำให้การผสมดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นสีผสม
2. เพื่อศึกษาถึงสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการทำสีผสม
3. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของโพลิโอลิฟินส์ที่เหมาะสมในการผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้น
4. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของเม็ดสีเข้มข้นที่ใช้ในทางการค้ากับเม็ดสีเข้มข้นที่ได้จากพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิโอลิฟินส์ ในกระบวนการที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเม็ดสีที่ผสมกับเม็ดพลาสติก ในกระบวนการที่แตกต่างกัน
3. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางสัณฐานวิทยาระหว่างเม็ดสีที่ผลิตได้กับเม็ดสีทางการค้าที่ผสมกับเม็ดพลาสติก

1.4 ขั้นตอนการวิจัยการดำเนินงาน

เตรียมพอลิโอลิฟินส์จากการผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ได้มาจากขวดน้ำชนิดขุ่น ในอัตราส่วนต่างๆ ทำการผสมในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two- Roll Mill) และ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์แต่ละสูตร คัดเลือกพอลิโอลิฟินส์ที่มีสมบัติดีที่สุด นำพอลิโอลิฟินส์ที่คัดเลือกไว้ เติมรงควัตถุ (Pigment) ในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆกัน โดยใช้เครื่องผสมทั้งสองเช่นเดิม ได้เป็นเม็ดสี ทำการผสมกับเม็ดพลาสติกและฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ทดสอบสมบัติเชิงกล

ของแต่ละสูตร เลือกสูตรที่ให้สมบัติดีที่สุด จากนั้นเปรียบเทียบปริมาณเม็ดสีเข้มข้นที่ใช้ผสมกับเม็ดพลาสติกและกับเม็ดสีเข้มข้นในทางการค้าที่สภาวะและพอลิเมอร์ที่ผสมเดียวกัน ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางแสง สรุปและวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสม

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความสามารถในการนำพอลิโอเลฟินส์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่
2. ทราบถึงอัตราส่วนของ พอลิโอเลฟินส์ในการทำสีผสม
3. ทราบถึงสภาวะ และกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตสีผสม

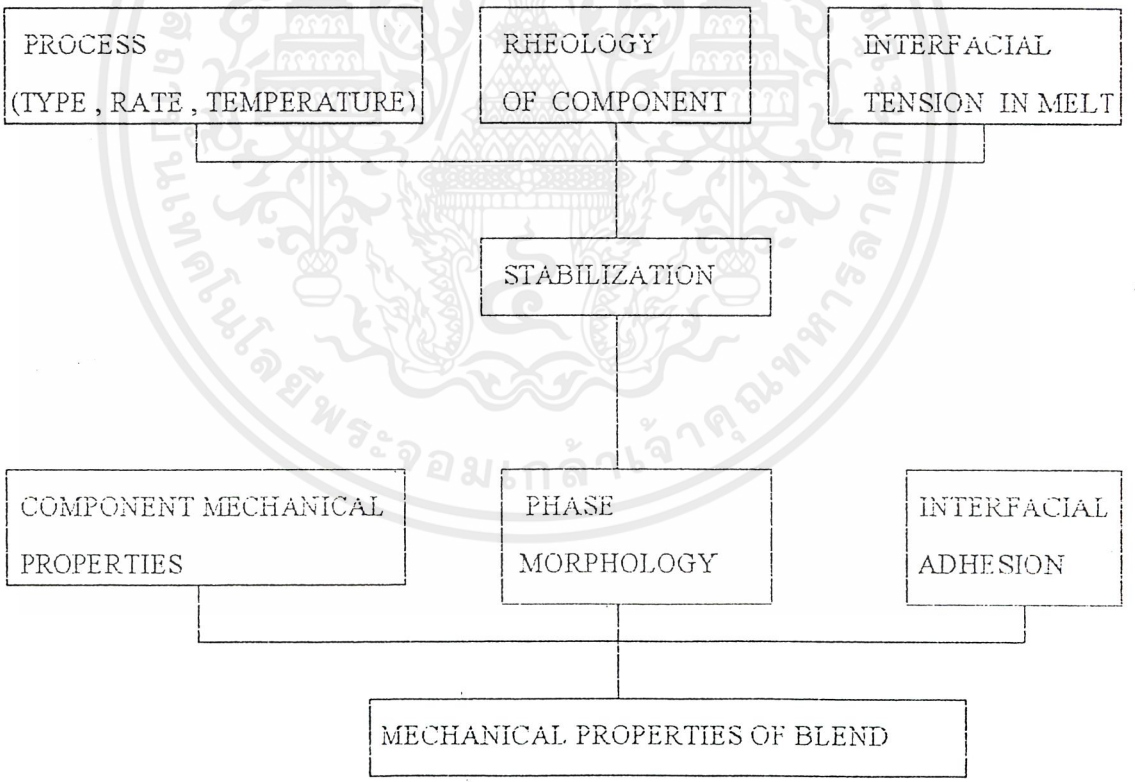
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันพอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) ได้มีการวิจัยและพัฒนามาอย่างกว้างขวางเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ผสมระบบใหม่ที่สามารถนำไปใช้มากขึ้น โดยนำข้อดีของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆมาผสมรวมกันเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการ

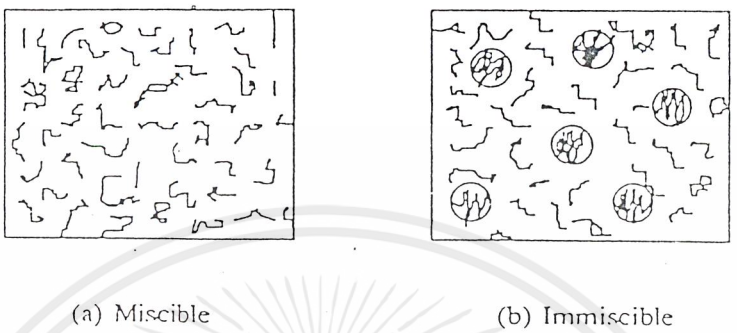
2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันนี้อยู่รวมกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน โดยปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติ(End-use properties) ของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



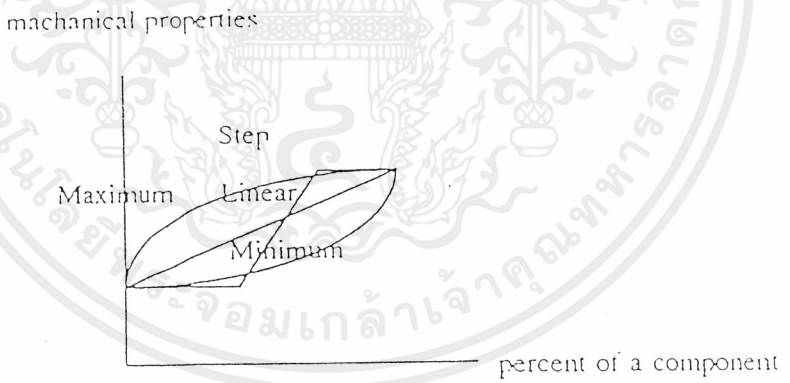
รูปที่ 2.1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม **[3]**

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ผสมที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นหลายวัฏภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมสองชนิด [3]

พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ จะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์รวมกันซึ่งอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงศักยภาพการตอบสนองทางสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม [3]

วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์

1. เพื่อปรับปรุงให้พอลิเมอร์มีสมบัติดีขึ้น ในราคาที่เหมาะสม
2. เป็นการขยายขีดความสามารถในการนำพอลิเมอร์ที่มีราคาแพงไปใช้ประโยชน์
3. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์
4. เพื่อสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษเหมาะที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility)

Compatibility หมายถึง ความสามารถในการรวมเป็นเนื้อเดียวของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยสมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่นี้ จะมาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวมกัน ซึ่งทราบได้จากการศึกษา และทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่

1.พลังงานอิสระในการผสม (Free energy of mixing) มีค่าเป็นบวก ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างพอลิเมอร์

Thermodynamic miscibility เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสมซึ่งความเข้ากันได้ (Miscibility) ของพอลิเมอร์ผสมนี้ ถูกกำหนดโดยสมดุลเอนโทรปี (Entropy) ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระของการผสม สารโมเลกุลเล็กๆเอนโทรปีจะมีค่าสูงพอที่จะเกิด Miscibility ได้แต่สำหรับพอลิเมอร์เอนโทรปีจะมีค่าต่ำจนเกือบศูนย์ จึงทำให้ Miscibility ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทาลปีเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสมเป็นดังสมการที่ 2.1

$$\Delta G=\Delta H-T\Delta S \qquad \text{.....(2.1)}$$

G= พลังงานอิสระในการผสม (Free energy of mixing)

H= เอนทาลปี (Enthapy)

S= เอนโทรปี (Entropy)

T= อุณหภูมิ (Temperature)

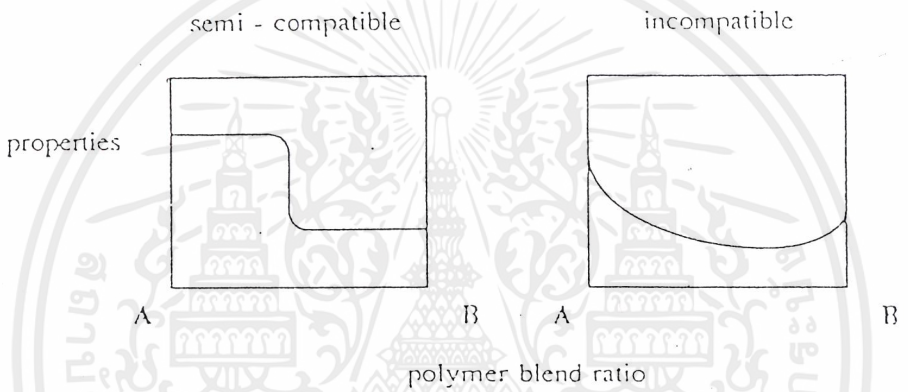
การที่พอลิเมอร์จะสามารถผสมเข้ากันได้ พลังงานอิสระในการผสมจะต้องตรงตามเงื่อนไขดังสมการ 2.2 และ 2.3

$$\Delta G < 0 \qquad \text{.....(2.2)}$$

$$\partial^2(\Delta G/ \partial \phi^2)_{P,T} > 0 \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ ϕ เป็นเศษส่วนโมล (Molar fraction) ของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ

เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟลักษณะรูปตัวเอส ในกรณีที่สามารถเข้ากันได้บ้าง และได้กราฟรูปตัวยู ในกรณีที่ไม่สามารถเข้ากันได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับอัตราส่วนขององค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม **[4]**

2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียว เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้ว และพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั้งโมเลกุลของสายโซ่หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น

3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไป

4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ (ดังรูปที่ 2.4) สมบัติที่ทดสอบจะต้องได้จากแต่ละเฟสที่แยกกัน ซึ่งในบางครั้งพอลิเมอร์ที่ได้มิได้แยกเฟสอย่างชัดเจน

5.พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกันอาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ได้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากัน (Incompatible blend) ได้นั้น จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวที่อยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ทั้งสองโดยแยกกันอยู่อย่างชัดเจนทั้งนี้เพื่อให้สมบัติดีขึ้น ส่วนของสัณฐานวิทยา (Morphology) ของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองประการ ได้แก่

1. องศาการกระจายตัวของเฟสพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด

2 รูปร่างและขนาดอนุภาคของเฟสที่กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิดรวมถึงวิธีการผสม สภาวะในการผสม และกระบวนการในการขึ้นรูปด้วย

ลักษณะเป็น Continuous phase ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่ง และมี Disperse phase ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัว ซึ่งจะมีลักษณะเป็น Phase boundary จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า รูปร่างและขนาดของเฟสที่กระจายตัว และองศาการกระจายนั้นจะขึ้นอยู่กับ สมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลักซึ่งสามารถปรับปรุงลักษณะสัณฐานวิทยานี้ได้โดยใช้สารช่วยในการผสม (Compatibilizer)

การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมดูได้จากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์มีหน่วยเป็น $J^{2/3}cm^{-3/2}$ ซึ่งอาจหาได้จากการคำนวณหรือการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.1

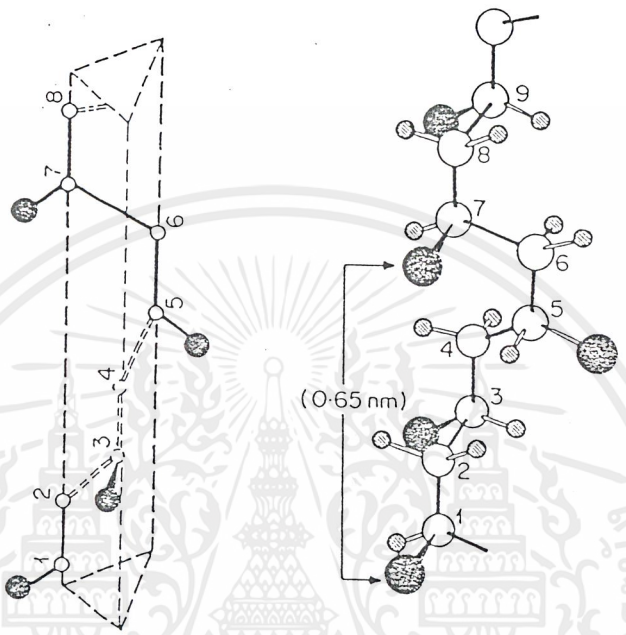
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ (Solubility) [5]

พอลิเมอร์	ค่าความสามารถในการละลาย $(J/m^3)^{1/2}$
PP	18.8
PE	16.2

2.3 พอลิโอลิฟินส์

2.3.1 พอลิพรอพิลีน (PP)

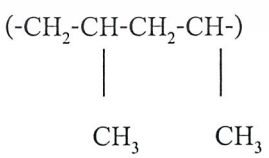
พอลิพรอพิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน [4]

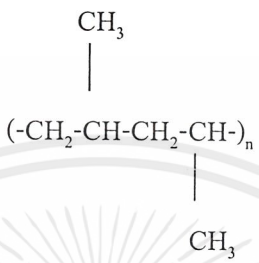
พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่โมเลกุลได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล ด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลให้มีการตกผลึกดีที่สุด แสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.6



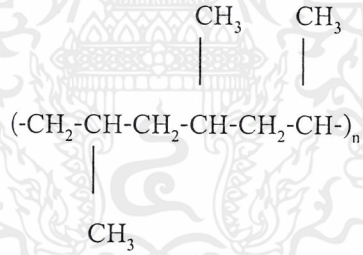
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไอโซแทคติคพอลิพรอพิลีน

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล สลับกันบนโซ่พอลิเมอร์หลัก ลักษณะเช่นนี้ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง ซึ่งส่งผลให้การตกผลึกลดลงด้วย โดยโครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน แสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7แสดงโครงสร้างทางเคมีของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน

3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด โดยโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีนแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน

สมบัติของพอลิพรอพิลีน **[6]**

- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง มีน้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลางอยู่ในช่วง 164-170°C
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000-200,000 ความหนาแน่น 0.9 กรัม/ลบ.ซม.
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไปแต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งาน [6]

- ชิ้นส่วนของรถยนต์
- อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน
- ใช้ในรูปเส้นใยและฟิล์ม
- พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้ามาผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ใยแก้ว และแอนติออกซิแดนท์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน

เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของพอลิพรอพิลีน

ข้อดี

1. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
2. ฉนวนไฟฟ้าที่ดี
3. ทนความชื้น
4. ทนต่อแรงเค้น
5. ทนสารเคมี
6. มีความโค้งงอดีเยี่ยม

ข้อเสีย

1. สลายตัวต่อรังสี
2. ไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
3. ติดไฟ
4. ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอรีนหรืออะโรมาติก
5. ทำการเชื่อมได้ยาก
6. โลหะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชัน

2.3.2 พอลิเอทิลีน (PE)

เกิดจากการพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นไขจนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเป็นผลึกสูง

สูตรโครงสร้าง

$$-(-CH_2-CH_2-)-_n$$

รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีพอลิเอทิลีน

ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว ดูดซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ

ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่างๆ ตามโครงสร้างโมเลกุลและลักษณะสมบัติตลอดจนการใช้งานได้เป็นกลุ่มต่างๆดังนี้ [7]

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
  ความหนาแน่น 0.915-0.935 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)
  ความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
  ความหนาแน่น 0.941-0.967 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE)
  ความหนาแน่น 0.880-0.912 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMWPE)
  น้ำหนักโมเลกุล 200,000-500,000
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (UHMWPE)
  น้ำหนักโมเลกุล 3,000,000

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อมโยงคลอโรซัลโฟเนเตดพอลิเอทิลีนและโคพอลิเมอร์ต่างๆของเอทิลีนด้วย

2.3.2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density Polyethylene, LDPE)

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำครั้งแรกซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่นำมาใช้ในทางการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้ [8]

- ความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะสูงมาก 1,000-3,000 บรรยากาศ (15,000-45,000 psi)
- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 200-400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.915-0.935 กรัม/ลบ.ซม. การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างและมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก

- ขบวนการที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันมีสองกระบวนการ
  1. Autoclave Process ของ ICI
  2. Tubular Process ของ UCC

ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะให้โครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกันแต่จะสามารถผลิต LDPE ที่มีช่วงความหนาแน่นและช่วงของดัชนีการไหลเหมือนกันคือ ความหนาแน่น 0.915-0.935 กรัม/ลบ.ซม. ดัชนีการไหล 0.1-50 กรัม/ 10นาที

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ **[8]**

- ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้เนื่องจากมีส่วนของอสัณฐานซึ่งมีปริมาตรอิสระยอมให้มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลได้ จึงมีช่องว่างพอที่จะให้โมเลกุลของก๊าซซึมผ่านได้
- การไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ โดยมีอุณหภูมิในการหลอมตัวอยู่ในช่วง 98-120 ^{o}C
- มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกดีพอสมควร
- เป็นตัวกั้นความชื้นได้ดี
- ฟิล์มที่แปรรูปมาจาก LDPE จะมีความเป็นเงามันดีและมีฝ้าต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี

การนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำไปใช้งาน **[8]**

- ฟิล์มและงานเคลือบหลายๆชั้น (Lamination) เช่นฟิล์มหดหุ้ม (Shrink wrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมากๆ
- งานฉีดแบบ (Injection mouding)
- งานเป่าแบบ (Blow mouding)
- อื่นๆ เช่น ฟิล์มหลายชั้น (Coextrusion) งานรีดท่อ (Pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟฟ้าและสายเคเบิล (Wire and cable coating)

2.3.2.2พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene , HDPE)

ในการปี ค.ศ. 1941 ได้มีการผลิตพอลิเอทิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไททาเนียมเททระคลอไรด์ ซึ่งสามารถทำให้เอทิลีนรวมตัวกันได้โดยไม่ต้องใช้ความดันสูงซึ่งพอลิเอทิลีนที่ได้มีลักษณะของสายโซ่ที่แตกต่างกันไปเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง **[9]**

- มีสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเรียงตัวต่อกันเป็นแนวยาวมีกิ่งก้านสาขาน้อย มีความเป็นผลึกสูงมีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัม/ซม.^{3} มีจุดหลอมตัว 135^{0}C โดยจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

การนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไปใช้งาน [9]

- ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำขวดและภาชนะบรรจุอื่นๆ ที่ต้องใช้ความต้านทานสูงและทนต่อแรงเค้นสูง
- สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีด มีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอเลฟินส์ [10]

สมบัติ	LDPE	HDPE	PP
Specific Gravity	0.91-0.93	0.94-0.97	0.90-0.91
Crystallinity%	50-70	80-95	82
Melt Temperature ^{0}C	98-120	127-135	165-171
Tensile Strength Mpa	4.1-16	21-38	31-41
Tensile Modulus Gpa	0.10-026	0.41-1.24	1.10-1.55
Elongation to break %	90-800	20-130	100-600
Impact Strength (kJ/m^2)	no break	27-1068	21-53
Heat Deflection Temperature ^{0}C	38-49	60-88	225-250

2.4 สี (Colorants) [11]

สีช่วยให้พลาสติกซึ่งไม่มีสีน่าใช้งาน จัดประเภทของสีที่ผสมในพลาสติกได้ 4 ชนิด

1. สีย้อม (Dyes) สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อนละลายในพลาสติก ทำให้วัสดุเกิดสีได้ด้วยการเกิดพันธะเคมีกับโมเลกุลของวัสดุพอลิเมอร์ ใช้กับพอลิเมอร์ ที่มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงเช่น พอลิสไตรีน พอลิเมทิลเมทาคริเลทและพีวีซีที่ไม่ผสมพลาสติไซเซอร์ สีย้อมให้สีที่มีความใสดีเลิศ แต่ไม่ทนต่อความร้อนและแสง โดยทั่วไปมีโครงสร้างของเอโซ (Azo) และแอนทราควิโนน(Anthraquinone) เป็นพื้นฐาน

2. เม็ดสีอินทรีย์ (Organic pigment) คำว่าเม็ดสี (Pigment) หมายถึงไม่ละลายในตัวทำละลายหรือในเรซินเพียงแต่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเรซิน มีขนาด 0.01-1 μm เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักก่อให้เกิดปัญหาสีตก สีหลุดออกจากผลิตภัณฑ์ขณะใช้งาน ซึ่งอาจก่อปัญหาต่อสุขภาพ เม็ดสีอินทรีย์ให้สีทึบแสงแต่สดใส หรือให้สีโปร่งแสงและสีโปร่งใสแต่มีความสดใสไม่เท่ากับที่ได้จากสีย้อม มีโครงสร้างหลายแบบทั้ง ที่เป็น azo, nonazo, polycyclic และ hetercyclic

3. เม็ดสีอนินทรีย์ (Inorganic pigments) คือสารเคมีที่มีโครงสร้างง่ายๆ เช่น คาร์บอนแบล็ค (ดำ) เหล็ก (แดง) โคบอลท์และซัลไฟด์ออกไซด์ (น้ำเงิน) แคดเมี่ยมซัลไฟด์ (เหลือง) และตะกั่วซัลเฟตหรือติตาเนียมไดออกไซด์ (สีขาว) โลหะออกไซด์และซัลไฟด์เหล่านี้กระจายตัวในเนื้อเรซินได้ง่าย สีที่ได้จากการประเภทนี้ไม่สดใสเท่าสองพวกแรกแต่เพราะมีโครงสร้างทางอนินทรีย์จึงทนความร้อนและแสงแดดได้ดี

4. เม็ดสีชนิดพิเศษ (Special-effect pigments) มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ผงละเอียดของแก้วสีต่างๆจัดเป็นสีทนทานต่อความร้อนแสงของพลาสติกจึงมักใช้กับงานตกแต่งภายนอก

2.4.1หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้สีในพลาสติก

เนื่องจากสีที่ใช้ในพลาสติกมีความสำคัญต่อสมบัติในการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่างๆกัน เพื่อให้ได้สีที่เหมาะสมในการใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ ผู้ใช้สีในพลาสติกควรมีหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกใช้สีในพลาสติก ดังต่อไปนี้

1.สถียรภาพต่อความร้อน (Heat stability)

2.เสถียรภาพต่อแสง (Light stability)

3.ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม (Weatherability)

4. ความทนทานต่อการเคลื่อนที่มาที่ผิว (Migration resistance)

5. ความทนทานต่อสารต่อเคมี (Chemical resistance)

6.ความเป็นพิษ (Toxicity)

7. ความประหยัด (Economics)

สีที่ใช้อุตสาหกรรมพลาสติก สามารถจำแนกตามรูปร่างและลักษณะของสีที่ใช้งานดังต่อไปนี้

1. สารให้สีชนิดผงแห้ง

มีราคาถูกเป็นสารให้สีที่ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิตขนาดใหญ่ เป็นวัตถุดิบพื้นฐานของสารให้สี โดยผู้ใช้สีจะต้องนำสารให้สีชนิดผงแห้งไปผสมกับเม็ดพลาสติก เนื่องจากสีประเภทนี้อาจจะเป็น

สีที่มีลักษณะเป็นอนุภาคผงละเอียด มีขนาดอยู่ในช่วง 0.02-100 μm จะต้อง ชั่ง ตวง หรือวัดให้มีความแน่นอน แล้วนำไปผสมกับเม็ดพลาสติกในเครื่องผสมแบบดรัม (Drum blender) เป็นเวลาประมาณ 3-10 นาที ผงสีจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดพลาสติก จากนั้นนำเม็ดพลาสติกผสมสีไปขึ้นรูปได้ คุณภาพของการกระจายตัวของสี จะขึ้นโดยตรงกับประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกการใช้สีประเภทนี้จะทำให้เกิดความสกปรก เลอะเทอะ เนื่องจากอนุภาคของฝุ่นสีในบริเวณที่ปฏิบัติงาน

2. เม็ดพลาสติกที่ผสมสีสำเร็จรูป

เป็นเม็ดพลาสติกที่ทำการผสมสีเข้าไปในเนื้อพลาสติกเรียบร้อยแล้ว จากโรงงานผู้ผลิตเม็ดพลาสติก ผู้ใช้สามารถนำเม็ดพลาสติกที่ผสมสีสำเร็จรูปและใช้เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกเลย เม็ดพลาสติกที่ผสมสีสำเร็จรูปมีราคาแพง และผู้ใช้มีโอกาสเลือกใช้สีได้น้อย

3. เม็ดสีเข้มข้น หรือ มาสเตอร์แบชสี

เป็นเม็ดสีที่ได้จากการผลิตโดยการกระจายตัวของสี สารพาโดยทั่วไปจะใช้เรซิน หรือสารเคมีที่มีความสามารถในการผสมเข้ากันกับพลาสติกได้ดี มาสเตอร์แบชสีประกอบด้วยเม็ดพลาสติก (สารพา) และสารแต่งเติมต่างๆที่ช่วยในการกระจายตัวของสีในเม็ดพลาสติก ได้แก่ สารหล่อลื่น และสารช่วยในการกระจายตัว ในการวิจัยนี้เราศึกษาการผลิตเม็ดสีเข้มข้นหรือมาสเตอร์แบชสี

2.4.2 ผงคาร์บอน (Carbon black) [12]

ผงคาร์บอน **(Carbon black)** นอกจากเป็นสารที่ให้สีดำแล้วยังมีคุณสมบัติที่ดีอื่นๆ โดยขบวนการผลิตผงคาร์บอน สามารถทำได้สองวิธีคือ

1. การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของแก๊สธรรมชาติ ซึ่งจะได้ผงคาร์บอน ที่มีขนาดอนุภาค (Particle size) เล็กมากแต่ราคาแพงจึงไม่นิยมนำมาใช้ในวงการพลาสติก

2. การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนเหลวมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า ผงคาร์บอนชนิดแรก แต่นำมาใช้ในวงการพลาสติกเนื่องจากราคาไม่แพงมากนัก

โดยทั่วไปสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี รวมทั้งสมบัติอื่นๆของผงคาร์บอนขึ้นอยู่กับชนิดของผงคาร์บอนว่าผลิตจากวัตถุดิบชนิดใด มีขบวนการผลิตอย่างไร รวมทั้งขนาดของอนุภาคจะมีความสำคัญอย่างมาก ถ้าขนาดของอนุภาคยิ่งเล็กจะให้เฉด (Shade) สีที่เข้มข้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ผงคาร์บอนลงได้ นอกจากนี้ผงคาร์บอนยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น

1. สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Protection) สามารถนำไปใช้กับชิ้นงานที่ต้องถูกแสงแดด รวมทั้งสภาพอากาศภายนอก เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทกันชน บังโคลน และกระจกส่องข้าง เป็นต้น โดยที่ผงคาร์บอนทำหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเลต รวมทั้งที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และอินฟาเรดแล้วเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานความร้อน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. ป้องกันการสลายตัว (Decompose) ของพลาสติกหรือพอลิเมอร์บางชนิด การที่พลาสติกหรือพอลีเมอร์เกิดการสลายตัวเนื่องมาจากถูกกระตุ้นโดยแสงแดดและความร้อนทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งตามปกติพวกอนุมูลอิสระจะว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สมบัติของพลาสติกหรือพอลิเมอร์เปลี่ยนไป ดังนั้นผงคาร์บอนที่ใส่ลงไปจะทำหน้าที่ไปจับอนุมูลอิสระเพื่อลดความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

3. เป็นสารให้สี (Pigmentation) เนื่องจากในการเทียบสีทั่วๆไปจะต้องมีการใส่ ผงคาร์บอนลงไป เพื่อปรับเฉดสีให้ได้สีตามต้องการ โดยผงคาร์บอนแต่ละชนิดให้เฉดสีแตกต่างกันไป ต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

4. ใช้เป็นสารเสริมแรง (Reinforcement) ส่วนใหญ่ใช้กับพอลิเอทิลีนชนิดโครงร่างตาข่าย (Crosslinked Polyethylene) เพื่อใช้ในการผลิตสายไฟ

5. ใช้เป็นพลาสติกนำไฟฟ้า (Conductive Plastics) เพื่อใช้ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ มีความสามารถในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) มีความสามารถในการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ขนาดอนุภาค พื้นที่ผิวและปริมาณของผงคาร์บอน ตัวอย่างของพลาสติกนำไฟฟ้าได้ เช่น พื้นยกระดับ ซึ่งจะเป็น PVC ผสมกับผงคาร์บอนชนิดพิเศษ ใช้ปูพื้นห้องควบคุม (Control Room) และงานพวกสายเคเบิลที่ทำจาก PE และ PVC

จะเห็นว่า ผงคาร์บอนมีประโยชน์มากมาย ปกติอยู่ในรูปผงละเอียด (Powder) เวลานำมาใช้งานต้องผสมกับเม็ดพลาสติกจึงไม่สะดวกนัก เนื่องจากฟุ้งกระจายและอาจจะเป็นตัวทำให้เกิดสิ่งเจือปนในชิ้นงานอื่นๆได้ จึงมีการแปลงรูปของผงคาร์บอนให้สะดวกต่อการใช้งาน คืออยู่ในรูปเม็ดสีเข้มข้น (Masterbatch) หรือเม็ดสีสำเร็จรูป (Color Compound) ทำให้ผู้ใช้เม็ดพลาสติกสามารถปฏิบัติงานได้สะดวกขึ้นและสามารถควบคุมคุณภาพของสีและสมบัติทางกายภาพและเคมีได้ดีกว่ารูปผงละเอียด

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.5.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single- Screw Extruder)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับกระบวนการผสมและขึ้นรูปพอลิเมอร์ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้

ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกภายในมีสกรูเป็นแท่งโลหะเกลียวทำหน้าที่ผสมวัตถุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการหมุนของสกรู ซึ่งได้รับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ มีส่วนป้อนสารทำหน้าที่เก็บเม็ดพลาสติกเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องอัดรีด มีแผ่นโลหะที่ติดอยู่บริเวณปลายสกรูและดายน์มีลักษณะเป็นช่องหรือรูให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านได้ มีส่วนให้ความร้อนหุ้มอยู่ภาย

37656

นอกอีกชั้นหนึ่ง มีช่องระบายอากาศทำหน้าที่ระบายอากาศที่อาจติดเข้าไประหว่างการผสมหรือขณะป้อนพลาสติกให้ออกไปก่อน พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกอัดเข้าแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน มีมอเตอร์ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนกระบอกและสกรูให้หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ

การทำงานของเครื่องจะเริ่มจากการขับพอลิเมอร์จากส่วนป้อนสารเข้าสู่ตัวเครื่อง จากนั้นสกรูจะลำเลียงพอลิเมอร์ไปตามเกลียวหนอน ด้วยแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์และเฟืองทด พอลิเมอร์จะเริ่มหลอมเหลวโดยความร้อนจากส่วนให้ความร้อนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนให้ความร้อนแบ่งเป็น 4 ส่วน สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมของชนิดพอลิเมอร์ที่ใช้ เนื่องจากส่วนของดายน์มีความดันสูง สกรูจะต้องมีประสิทธิภาพมากพอ จึงจะสามารถส่งพอลิเมอร์หลอมเหลวให้ผ่านหัวดายน์ออกมาได้

2.5.2 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

เทคนิคการบดผสมแบบสองลูกกลิ้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น 3 ลักษณะคือ

1) ทำการบดและผสม ของผสมที่แห้งเข้าด้วยกัน
2) เพื่อวิจัยและพัฒนาในห้องทดลองอันจะนำไปสู่การเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นต่อไป
3) อุตสาหกรรมขนาดย่อมสามารถใช้ในการขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือสายเพื่อทำเป็นเม็ดต่อไป

ขนาดของลูกล้อจะมีตั้งแต่ยาว 18 เซนติเมตร กว้าง 8 เซนติเมตรจนถึงยาว 2.13 เซนติเมตร กว้าง 66 เซนติเมตร โดยจะถูกติดตั้งรวมกับส่วนของมอเตอร์และเกียร์ โดยทั่วไปความเร็วของลูกกลิ้งคงที่แล้วลูกกลิ้งที่มีขนาดเล็กจะหมุนด้วยอัตราเร็วที่เร็วกว่าลูกล้อที่มีขนาดใหญ่เสมอ โดยทั่วไปลูกกลิ้งตัวหลังจะเป็นตัวบังคับการขับเคลื่อนจึงมักจะมีความเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งตัวหน้าแต่ความเร็วดังกล่าวต้องมีไม่มากเกินกว่า 1.4 เท่าของความเร็วของลูกกลิ้งตัวหน้าซึ่งจะหมุนเข้าหากันช่วยบังคับให้พอลิเมอร์เข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้สะดวกขึ้น ในขณะเดียวกันจะเกิดแรงเฉือนและผสมเข้ากัน ตัวลูกล้อมักทำจากเหล็กกล้าที่ผ่านการขัดผิวหรือชุบโครเมียมบริเวณแกนกลางของลูกกลิ้งจะเป็นตัวรับความร้อนและมีสารหล่อเย็นเป็นไอน้ำ น้ำหรือน้ำมันก็ได้

ขณะทำการทดลองพอลิเมอร์ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดหรือผงจะถูกป้อนเข้าสู่บริเวณเหนือช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งโดยจะมีการปรับช่องว่างให้แคบเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดแรงเฉือนและผสมกันได้ดีในระยะแรกจนถึงอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มหลอมจึงปรับช่องว่างให้มีความกว้างเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถผ่านลงไปตามลูกกลิ้งได้มากขึ้นผู้ทำการทดลองต้องใช้เกรียงตัดหรือกรีดเส้นพอลิเมอร์โดยวางทับบนลูกกลิ้งเพื่อทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้นจึงนับว่าเป็นเครื่องจักรที่อันตราย ผู้ทำการ

ทดลองต้องมีความรู้ผ่านการฝึกหัดมาอย่างดี โดยจะต้องเข้าใจและรู้จักระบบความปลอดภัยของเครื่อง เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากลูกกลิ้ง

2.5.3 เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding Machine)

กระบวนการฉีดขึ้นรูปสมัยใหม่ ส่วนมากจะใช้เกลียวหนอนในการหลอมพลาสติกก่อนทำการฉีด (Preplasticating) เพื่อใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์หลอมเหลวในปริมาณที่ควบคุมได้ ก่อนที่จะส่งผ่านเข้าไปยังช่องว่างของแม่พิมพ์ หลักการนี้จะเหมือนกันกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยเกลียวหนอนจะหมุนเพื่อลำเลียงและหลอมพอลิเมอร์ที่พามาจากกรวยป้อนเม็ดพลาสติก ขณะที่พอลิเมอร์หลอมสะสมอยู่ที่ด้านหน้าของกระบอกฉีด เกลียวหนอนจะเคลื่อนถอยหลังตามแนวแกน ในขณะที่เกลียวหนอนยังหมุนอยู่ จนกระทั่งได้ปริมาณน้ำหนักในการฉีด (Shot weight) ตามต้องการ การฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะเกิดขึ้นในขณะที่เกลียวหนอนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในลักษณะของกระบอกสูบ (Ram) และเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของพลาสติกหลอมเหลวตามร่องของเกลียวหนอนจึงมีการใช้วงแหวนป้องกันการไหลย้อนกลับ ประกอบอยู่ที่ปลายเกลียวหนอน พลาสติกจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดที่ประกบติดกับตอนปลายของกระบอกฉีด ผ่านเข้าไปยังทางเข้าของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะถูกยึดติดอยู่บนแท่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งด้านหนึ่งจะถูกยึดติดอยู่กับที่ ขณะที่อีกด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ไปมาได้ ทำให้แม่พิมพ์เปิดและปิดได้ เป็นสิ่งสำคัญมากในการทำให้แม่พิมพ์ปิดอยู่ได้อย่างมั่นคงในระหว่างการฉีดพลาสติกหลอม และในช่วงหล่อเย็นของวัฏจักรการฉีดขึ้นรูป

การหล่อเย็นแม่พิมพ์จะเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจากพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวที่ร้อนผ่านผนังช่องว่างของแม่พิมพ์ เมื่อวัสดุแข็งตัวจนถึงจุดหนึ่งที่สามารถกระทุ้งออกจากช่องว่างของแม่พิมพ์ได้โดยไม่เป็นอันตรายทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและเสียรูปของพอลิเมอร์ แม่พิมพ์จะถูกเปิดออกและชิ้นงานจะถูกนำออกด้วยกลไกการกระทุ้งที่สร้างขึ้นภายในระบบของแม่พิมพ์

2.5.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเลคตรอน (Electron beam) ในการตรวจวัดโครงสร้างขนาดเล็กของวัสดุทางวิศวกรรมโดยทำการยิงอิเลคตรอนเข้าชนพื้นผิวที่มีการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของอิเลคตรอน (Back scattering electron) เนื่องจากการชนกันกับนิวเคียสหรือการเกิดโฟตอนเอกซ์เรย์ (X-ray photon) และจากการที่อิเลคตรอนในระดับพลังงานสูงกว่าจึงเกิดการคายพลังงานเข้าแทนที่อิเลคตรอนที่หลุดออกไป

ในการใช้เทคนิคนี้กับวัสดุพวกพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าจึงต้องมีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ ที่นิยมใช้ได้แก่ ทอง ทอง-พัลลาเดียม โดยใช้เทคนิค Sputter coating ในการเคลือบผิว

ลำแสงอิเลคตรอนที่มีพลังงานสูงอาจทำให้สัณฐานวิทยาของพื้นผิวเสียไป เช่น การสูญเสียมวลบางส่วน ทำให้เกิดการพองหรือแตกหัก

ความแตกต่างของภาพ SEM จะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการขจัดผิวหน้าของวัสดุออกซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การตัด (Cutting) การหัก (Fracturing) การกัดเซาะ (Etching) หรือการทำให้บวม (Swelling)

การสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้ได้ภาพ SEM ที่สับสนได้เนื่องจากการสกัด อาจมีบางส่วนที่สกัดออกไม่หมดเกิดเป็นเจลหรือการระเหยตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น

การทำให้บวมโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent swelling) เป็นวิธีที่เชื่อถือได้สามารถควบคุมอัตราการบวมตัวโดยอัตราการแพร่ของตัวทำละลายซึ่งขึ้นกับรากที่สองของเวลา ส่วนปริมาณของการบวมตัวขึ้นกับอุณหภูมิ การแยกวัฏภาคจะต้องให้วัฏภาคหนึ่งละลายด้วยตัวทำละลายส่วนอีกวัฏภาคไม่เกิดการละลาย การใช้เทคนิคนี้จะให้พื้นผิวที่ราบเรียบ ภาพที่ได้คมชัดและแยกวัฏภาคได้ถึงขนาด 100 nm

2.5.5 เครื่องทดสอบอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เสียคุณภาพ (HDT)

เป็นการทดสอบสมบัติทางความร้อน ในช่วงระยะสั้นๆแก่ตัวกลางที่นำความร้อน โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการเสียรูปภายใต้แรงกด

ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ชิ้นงานเกิดการเสียรูปภายใต้แรงกดคือ

1. โครงสร้างของพอลิเมอร์
2. การรับแรงของสารตัวเติมและชนิดของสารตัวเติม
3. ความเสถียรของการเกิดออกซิเดชัน
4. ความเค้นภายในแม่พิมพ์

บทที่ 3
การวิจัยและดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) (ขวดน้ำชนิดขาวขุ่น)
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) : THAI POLYETHYLENE CO.,LTD
3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) : J 4324 TPI CO.,LTD.
4. พอลิโพรพิลีน (PP) : PROFAX 6331 TPI CO.,LTD.
5. Mineral oil : P&N ASSOCIATE CO., LTD.
6. กรดสเตียริก (Stearic acid) : INTA ENTERPRISE LTD,PART.
7. Carbon black : THAI CARBONBLACK CO.,LTD.
8. เม็ดสีเข้มข้น สีดำ (black masterbatch) : CLARIANT CO.,LTD.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) : Axon ab. Plasma skiner รุ่น Bx-18 ; Intro Engineering
2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two- roll mill) : Lab Tech จำกัด รุ่น LRM 110
3. เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (Injection Molding Machine) : Cosmo รุ่นTTI 220/80 HITEC; Welltei Industrial Equipment.
4. เครื่องโม่บด รุ่น NEMA 600 : Bosco Engineer
5. เครื่อง Scaning Electron Microscopy : JEOL รุ่น JSM 5200
6. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) : LLOYD รุ่น LR 30K
7. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance Machine) : Yasuda รุ่น 7689, Yasuda Seiki Seisakusho
8. เครื่องทดสอบความแข็ง (Rockwell Hardness Machine) ชนิด shore D : Yasuda รุ่น 7689, Matsuzwa DXT
9. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล : Hd-PC, Yasuda

3.3 วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์ (Polyolefin, PO)

1.1.1) นำขวดน้ำดื่มพลาสติก (HDPE) ชนิดขุ่น เฉพาะบริเวณขวด (ไม่รวมฝา) มาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำเข้าเครื่องตัดพลาสติก เพื่อให้ขวดพลาสติกมีขนาดเล็กลง

1.1.2) การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) และเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

นำ PP HDPE (ในข้อ 1.1.1) และ LDPE ที่อัตราส่วนต่างกัน มาผสมกันโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (ตารางที่ 3.1) และ เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ตารางที่ 3.2) โดยแปรค่าอุณหภูมิ ความเร็วรอบของสกรู และเวลาที่ใช้ผสมต่างๆกันตามลำดับ

1.2 นำตัวอย่างในข้อ 1.1.2 ในแต่ละสูตรที่สภาวะต่างกัน แยกบดโดยใช้เครื่องโม่บด แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล วิเคราะห์ผล เลือกสูตรที่มีสมบัติดีที่สุด

1.3 การผสมพอลิโอลิฟินส์กับรงควัตถุ (การทำเป็นเม็ดสีเข้มข้น)

เตรียมพอลิโอลิฟินส์สูตรที่ได้รับการคัดเลือก จากข้อ 1.2 บดให้เล็กลงด้วยเครื่องโม่บด ผสมกับรงควัตถุ (ใช้ผงคาร์บอน) ที่มีปริมาณต่างๆกัน เติมน้ำมันแร่ 2 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก 1 เปอร์เซ็นต์ ทำการผสมโดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ตารางที่ 3.3)

1.4 นำเม็ดสีที่ได้จากข้อ 1.3 ในแต่ละสูตรแยกบดด้วยเครื่องโม่บด นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล วิเคราะห์ผล เลือกสูตรที่มีสมบัติดีที่สุดทำการทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของ PP : HDPE (Recycle) : LDPE ที่สภาวะการทดสอบต่างๆกัน โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตราส่วน	อุณหภูมิ (°C)				ความเร็วของสกรู
	โซนที่ 1	โซนที่ 2	โซนที่ 3	โซนที่ 4	รอบ/นาที
1 : 1 : 1	150	160	170	180	40
2 : 1 : 1	160	170	180	190	60
1 : 2 : 1	170	180	190	200	80
1 : 1 : 2					

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของ PP : HDPE (Recycle) : LDPE ที่สภาวะการทดสอบต่างๆกัน โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน	อุณหภูมิ (°C)ของลูกกลิ้ง		เวลาที่ใช้ผสม (นาที)
	หน้า	หลัง	
1 : 1 : 1	180	190	6
2 : 1 : 1	185	195	8
1 : 2 : 1	190	200	10
1 : 1 : 2			

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณการผสม พอลิโอลิฟินส์ กับผงคาร์บอนปริมาณ ต่างๆกัน โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน	ปริมาณ			อุณหภูมิ (°C)ของลูกกลิ้ง		เวลาที่ใช้
ของ PO	Carbon black (%)			หน้า	หลัง	(นาที)
2:1:1	20	30	40	185	195	8
1:2:1	20	30	40	185	195	8

2 การศึกษาผลของการนำเม็ดสีเข้มข้นไปใช้

2.1 นำเม็ดสีเข้มข้นที่คัดเลือกได้จากข้อ 1.4 และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า มาผสมกับเม็ดพลาสติกชนิดต่าง ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine)

2.2 นำชิ้นงานที่ได้ในข้อ 2.1 มาวิเคราะห์หาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา จากนั้นสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.4 แสดงสูตรเม็ดสีเข้มข้น ปริมาณเม็ดสีเข้มข้น และ ชนิดพอลิเมอร์ที่ทำการผสม

สูตรของเม็ดสีเข้มข้น ที่ทำการผสม	ปริมาณเม็ดสีเข้มข้น ที่ทำการผสม (% by weight)	พอลิเมอร์ ที่ทำการผสม		
เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า	5	PP	HDPE	LDPE
PO 2:1:1 /Carbon black 20 %	5	PP	HDPE	LDPE

3. การทดสอบ

3.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.1.1 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) และโปรแกรม WINDAP ขนาด 5 kN ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 5 ชิ้น โดยมีสภาวะของเครื่องเป็นดังนี้

Test speed : 100 mm/min

Gauge length : 8.00 cm

Grammage : 1.0 g/m^2

Load cell : 3000.00 N

Cell class : 0.5

3.1.2 สมบัติความโค้งงอ

ทำการวัดสมบัติความโค้งงอด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (LLOYD) และโปรแกรม WINDAP เพื่อคำนวณและหาค่าสมบัติความโค้งงอ ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 5 ชิ้น โดยมีสภาวะของเครื่องเป็นดังนี้

Test speed : 20 mm/min

Gauge length : 5.00 cm

Grammage : 1.0 g/m^2

Span length	: 50.00 mm
Load cell	: 3000.00 N
Cell class	: 0.5

3.1.3 สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Yazuda 199311 ทำการทดสอบโดยเตรียมชิ้นงาน ด้วยการฉีดขึ้นรูป ใช้ตัวอย่าง 5 ชิ้น ทดสอบความทนทานต่อการกระแทกแบบ Izod Impact ขนาด 30 kgf.cm

3.1.4 สมบัติความแข็ง

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Rockwell Hardness Tester ของ Matsuzama รุ่น DXT โดยใช้ shore D ทำการทดสอบ นำชิ้นงาน 5 ชิ้นซ้อนกันให้มีความหนามากกว่า 6 มม. ทดสอบ 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

เครื่องวัดสมบัติทางความร้อน Heat Distortion Test

ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานขนาดความยาว 127 มม. และความกว้าง 2.38 มม. จุ่มในตัวกลางซิลิโคนที่นำความร้อนพร้อมกับได้รับแรงกด 4.6 kg/cm^2 ทำการเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางในอัตรา 2 ± 0.2 องศาเซลเซียส/นาที บันทึกอุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูปไป 0.25 มม. (0.010 นิ้ว) โดยใช้เครื่องวัดสมบัติทางความร้อน

3.3 การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

Scanning Electron Microscope (SEM)

นำชิ้นงานแบบ Izod ไปแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 10 นาที หักชิ้นงานที่ได้ จากนั้นเฉือนผิวหน้าของชิ้นงาน และเคลือบผิวด้วยทองเพื่อนำไปตรวจดูโครงสร้าง โดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

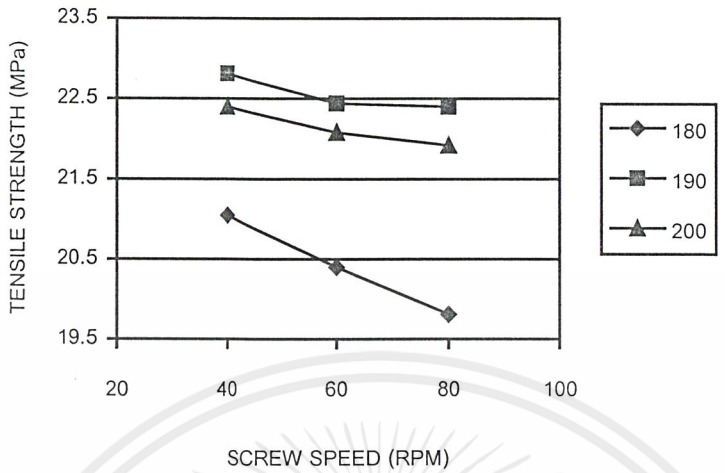
4.1 สภาวะของพอลิโอเลฟินส์ก่อนการผสมรงควัตถุโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

4.1.1 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) ที่อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสกรูที่ 40 60 และ 80 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 190 °C และ 200°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-1 ถึง 4-3

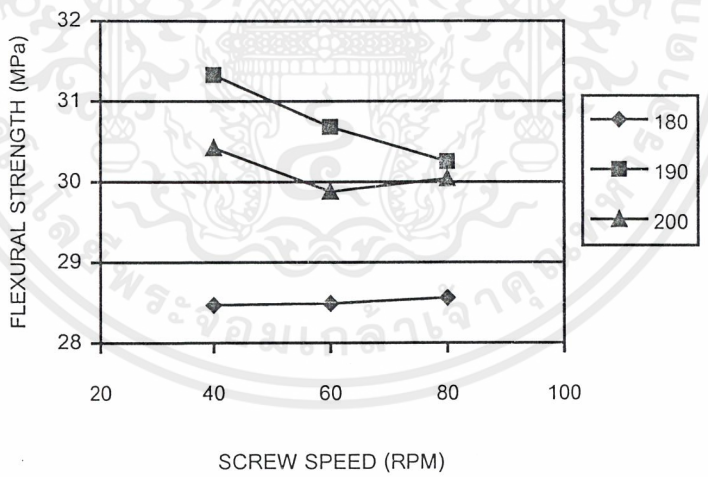
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วของสกรูกับค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4-1) พบว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิโอเลฟินส์ มีเวลาอยู่ในกระบวนการน้อยลง ทำให้การผสมกันระหว่างวัสดุน้อยลงและขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงที่อุณหภูมิ 190°C หลังจากนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจากพอลิโอเลฟินส์เริ่มเสียคุณภาพ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับความโค้งงอและความทนทานต่อแรงกระแทกให้ผลสอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4-2 และ 4-3)

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1

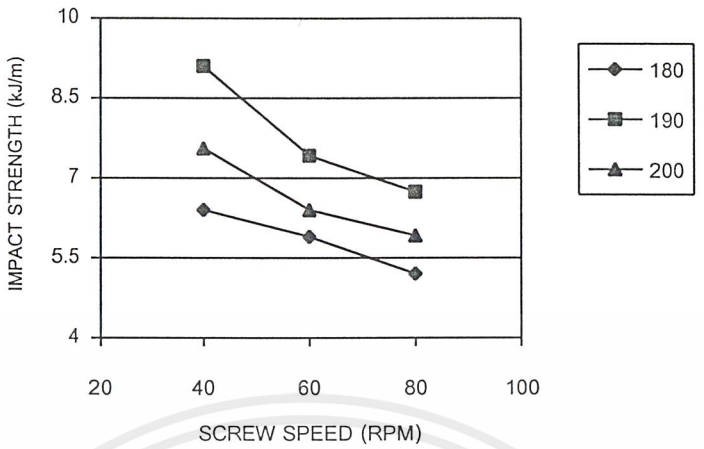
อุณหภูมิของสกรู (°C)				ความเร็วของสกรู (รอบ/นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
150	160	170	180	40	21.05	28.47	6.40
				60	20.4	28.49	5.90
				80	19.81	28.56	5.20
160	170	180	190	40	22.81	31.33	9.10
				60	22.44	30.65	7.43
				80	22.4	30.25	6.75
170	180	190	200	40	22.4	30.42	7.56
				60	22.08	29.88	6.40
				80	21.92	30.04	5.93



รูปที่ 4-1แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1



รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1



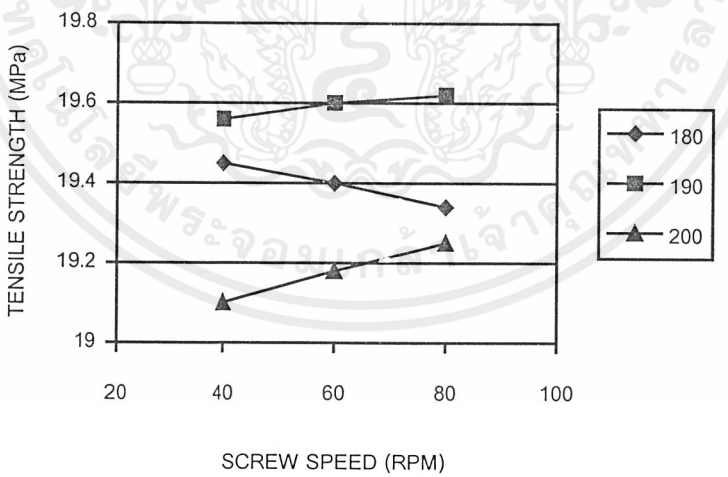
รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1

4.1.2 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสกรูที่ 40 60 และ 80 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 190°C และ200°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-4 ถึง 4-6

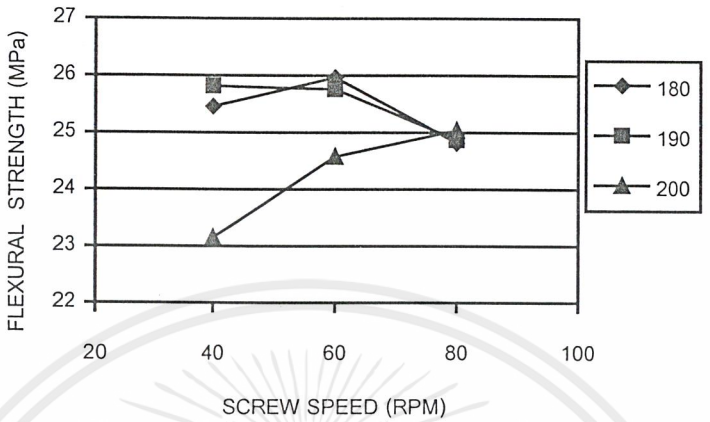
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับค่าความความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.4) ที่อุณหภูมิต่างมีค่าความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิ 180°C ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วสกรูเป็นผลจากสูตรนี้มี PP ในสัดส่วนมากกว่า HDPE และ LDPE จึงมี PP บางส่วนหลอมเหลวไม่สมบูรณ์หรือต้องใช้เวลาในกระบวนการนานกว่า แต่ที่อุณหภูมิ 190°C และ 200°C ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นตามความเร็วสกรู เนื่องจากเมื่อพอลิโอเลฟินส์อยู่ในกระบวนการนานขึ้นพอลิโอเลฟินส์บางส่วนจะเริ่มเสียคุณภาพ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วของสกรูกับความโค้งงอและความทนทานต่อแรงกระแทกให้ผลที่สอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1

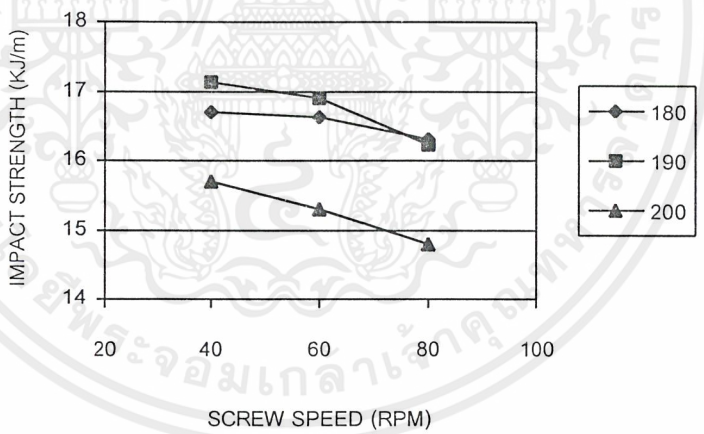
อุณหภูมิของสกรู (°C)				ความเร็วของสกรู (รอบ/นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
150	160	170	180	40	19.45	25.46	16.70
				60	19.40	25.97	16.63
				80	19.34	24.82	16.30
160	170	180	190	40	19.56	25.82	17.13
				60	19.60	25.76	16.90
				80	19.42	24.87	16.23
170	180	190	200	40	19.10	23.15	15.70
				60	19.18	24.56	15.30
				80	19.25	25.04	14.80



รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1



รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1



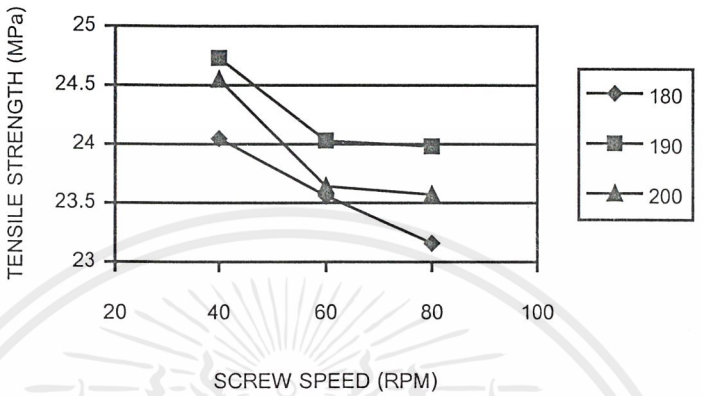
รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1

4.1.3 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของสกรูที่ 40 60 และ 80 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 190°C และ 200°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-7 ถึง 4-10

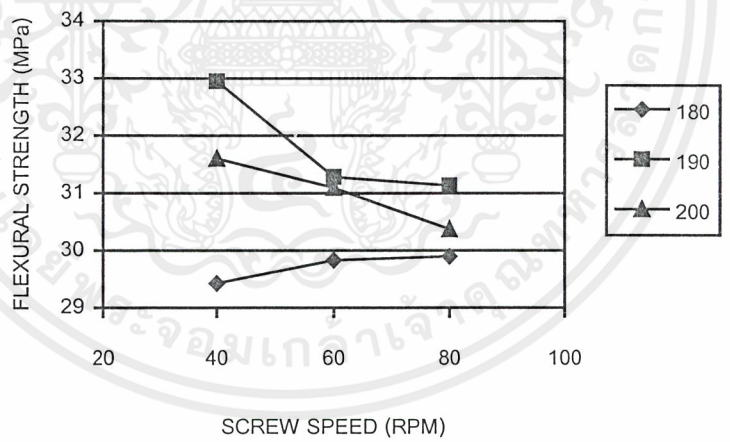
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับค่าความ แข็งแรงดึง (รูปที่ 4-7) เมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิโอเลฟินส์มีเวลาในกระบวนการน้อยลงการผสมกันระหว่างวัสดุจึงน้อยลงและในสูตรนี้มี HDPE (ที่นำกลับมาใช้ใหม่) ในปริมาณมากซึ่งมีน้ำหนักเบา ปริมาตรมากและขนาดไม่สม่ำเสมอจึงทำให้การอัดรีดไม่ทั่ว-ถึงและต้องใช้เวลาในการผสมนาน ขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึง 190°C หลังจากนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเนื่องจากพอลิโอเลฟินส์บางส่วนเริ่มเสียคุณสภาพ ทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับความโค้งงอและค่าทนทานต่อแรงกระแทกให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1

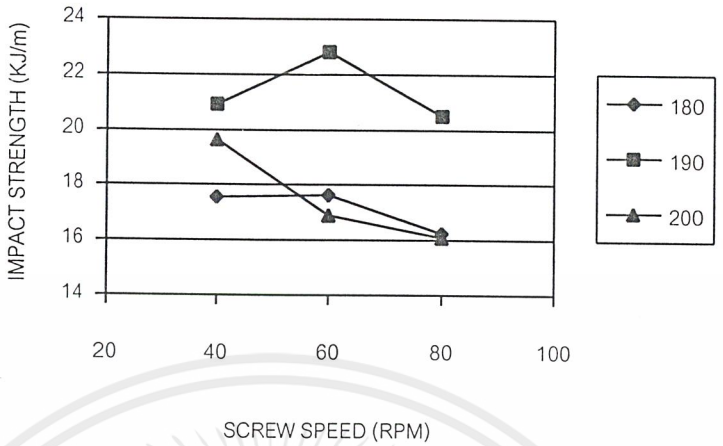
อุณหภูมิของสกรู (°C)				ความเร็วของสกรู (รอบ/นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
150	160	170	180	40	24.05	29.43	17.57
				50	23.56	28.83	17.63
				60	23.16	29.90	16.23
160	170	180	190	40	24.73	32.95	20.90
				60	24.03	31.28	22.81
				80	23.98	31.13	20.49
170	180	190	200	40	24.55	31.60	19.62
				60	23.64	31.09	16.40
				80	23.57	30.37	16.10



รูปที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1



รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1



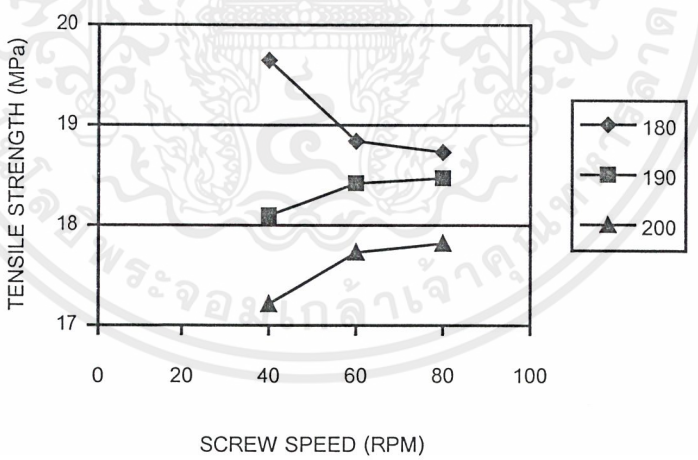
รูปที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1

4.1.4 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสกรูที่ 40 60 และ 80 รอบต่อนาที และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 190°C และ 200°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-10 ถึง 4-12

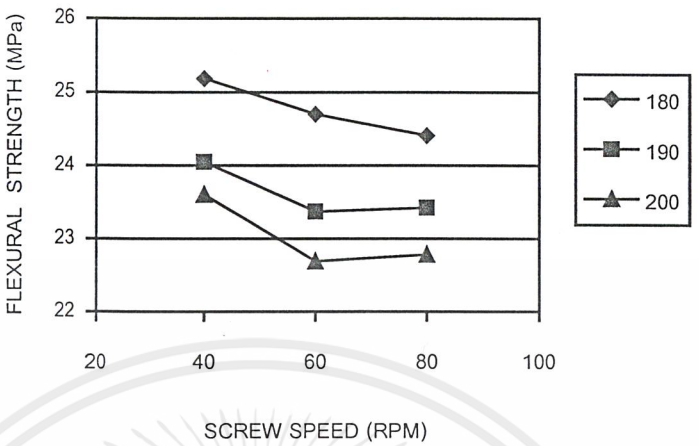
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.10) ที่อุณหภูมิ 180°C ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงในขณะที่อุณหภูมิ 190°C กับ 200°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงยังคงมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 180°C เนื่องจากอุณหภูมิที่ 190°C กับ 200°C อุณหภูมิสูงพอที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมเสียคุณภาพและเมื่อพอลิเมอร์ผสมอยู่ในกระบวนการนานจึงทำให้เสียสภาพมากขึ้น ขณะที่เมื่อความเร็วสกรูคงที่ ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสกรูกับความโค้งงอ ให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึง ยกเว้นค่าทนทานต่อแรงกระแทกให้ผลที่ใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการศึกษาสภาวะในการเตรียมพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2

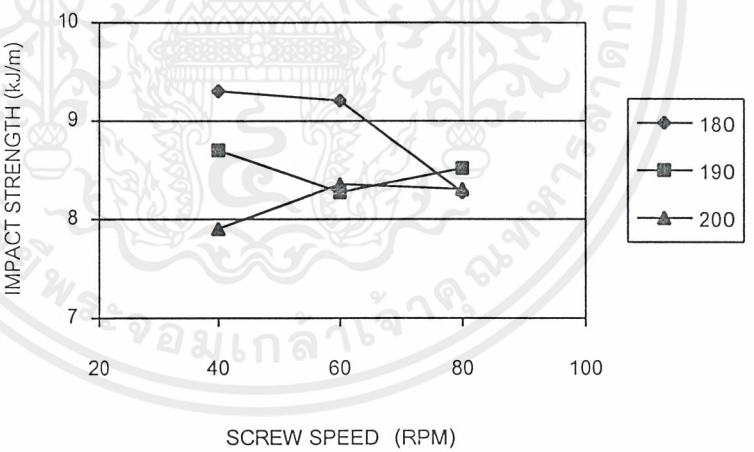
อุณหภูมิของสกรู (°C)				ความเร็วของสกรู (รอบ/นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
150	160	170	180	40	19.65	25.18	9.30
				60	18.84	24.70	9.20
				80	18.73	24.41	8.27
160	170	180	190	40	18.10	24.05	8.70
				60	18.42	23.37	8.27
				80	18.47	23.42	8.52
170	180	190	200	40	17.21	24.03	7.90
				60	17.73	22.69	8.35
				80	17.82	22.78	8.30



รูปที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2



รูปที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2



รูปที่ 4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ความเร็วของสกรูที่อุณหภูมิต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2

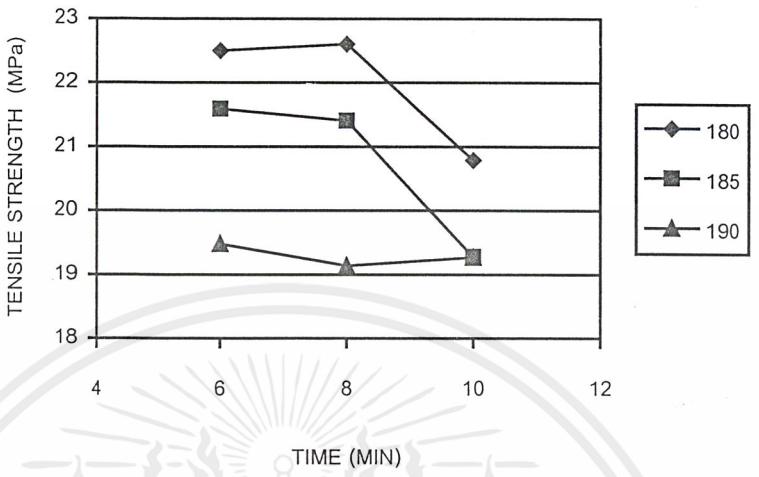
4.2 สภาวะของพอลิโอเลฟินส์ก่อนการผสมรงควัตถุโดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

4.2.1 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ 6 8 และ 10 นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 185°C และ 190°C ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-5 และรูปที่ 4-13 ถึง 4-15

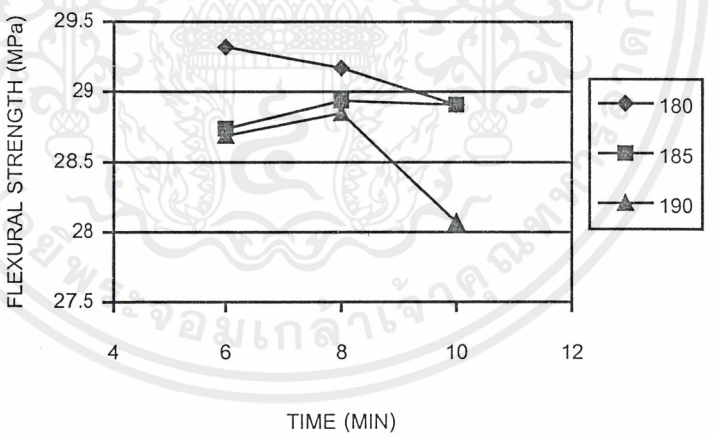
จากรูปที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับค่าความแข็งแรงดึง พบว่าเมื่อเวลาในการผสมคงที่ ที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการผสมเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิโอเลฟินส์ที่ผสมมีเวลาในกระบวนการมากขึ้นได้รับความร้อนนานขึ้นจึงมีแนวโน้มสูญเสียคุณภาพได้มากขึ้นเช่น ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับความสามารถในการโค้งงอ (รูปที่ 4-14) และความทนทานต่อแรงกระแทก (รูปที่ 4-15) มีผลที่สอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1

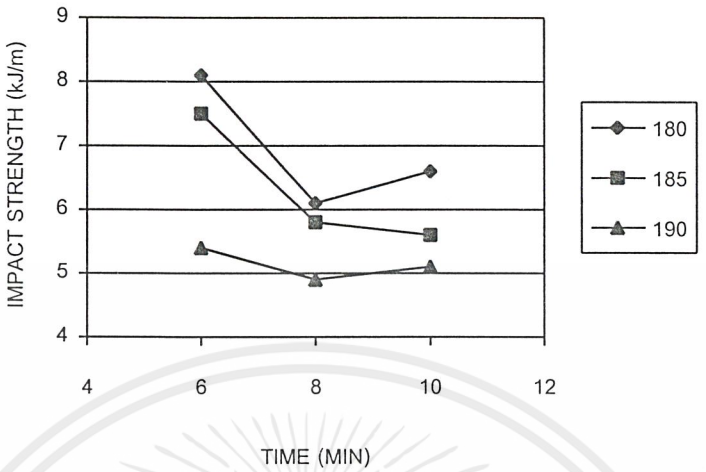
อุณหภูมิของลูกกลิ้ง (°C)		เวลาในการผสม (นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
หน้า	หลัง				
180	190	6	22.50	29.32	8.10
		8	20.79	29.17	6.10
		10	21.59	28.91	6.60
185	190	6	18.72	28.74	7.50
		8	21.41	28.94	5.80
		10	19.28	28.91	5.60
190	200	6	19.48	28.69	5.40
		8	19.14	29.00	4.90
		10	19.27	28.07	5.10



รูปที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1



รูปที่ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1



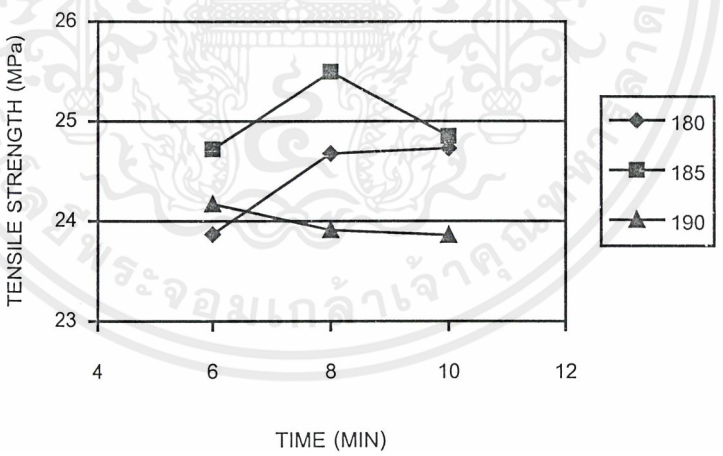
รูปที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:1

4.2.2 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ 6 8 และ 10 นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 185°C และ 190°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-6 และรูปที่ 4-16 ถึง 4-18

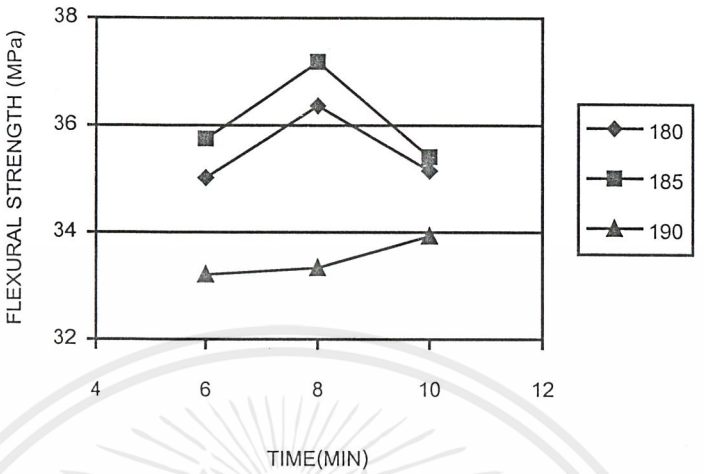
จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลในตารางที่ 4-6 มีค่าสมบัติต่างๆ โดยเฉลี่ยสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆที่ได้แสดงไว้ก่อนหน้านี้ ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลา 8 นาทีจะให้ค่าดีที่สุด ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4-16) พบว่าเมื่อเวลาในการผสมคงที่ ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 185°C จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพอลิโอเลฟินส์เริ่มเสียคุณภาพได้มากขึ้น ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับความสามารถในการโค้งงอ (รูปที่ 4-17) และความทนทานต่อแรงกระแทก (รูปที่ 4-18) ให้ผลที่สอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-6 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1

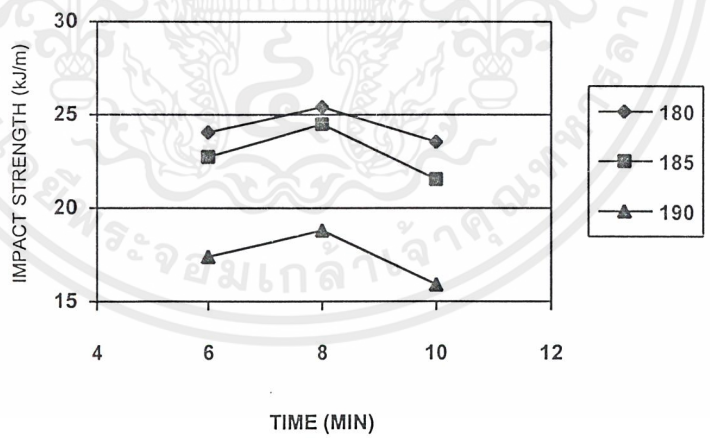
อุณหภูมิของลูกกลิ้ง (°C)		เวลาในการผสม (นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
หน้า	หลัง				
180	190	6	23.87	35.02	24.02
		8	24.68	36.37	25.37
		10	24.30	35.15	23.53
185	190	6	24.72	35.75	22.75
		8	25.50	37.18	24.47
		10	24.85	35.41	21.53
190	200	6	24.17	33.21	17.40
		8	23.91	33.34	18.80
		10	23.86	33.93	15.90



รูปที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1



รูปที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1



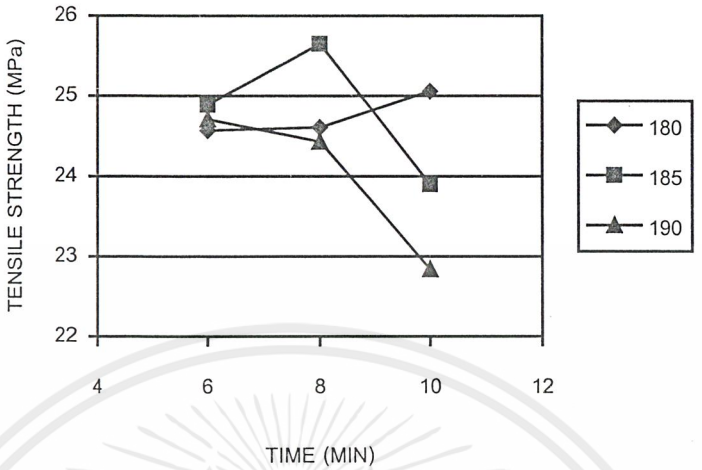
รูปที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1

4.2.3 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ 6 8 และ 10 นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 185°C และ 190°C ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-7 และรูปที่ 4-19 ถึง 4-21

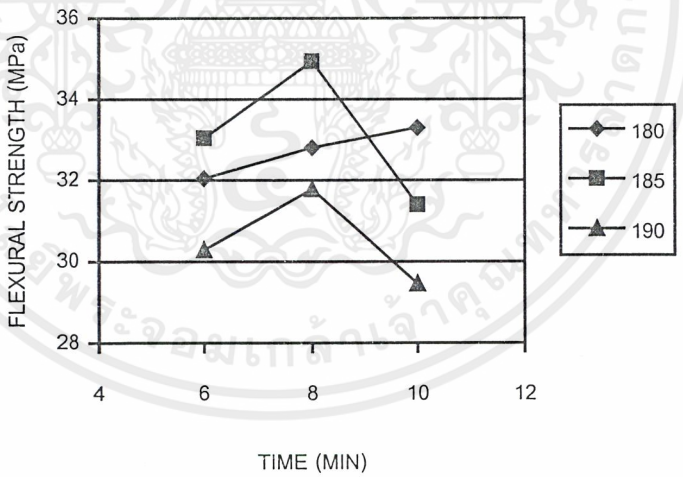
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสม กับ ค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4-19) เมื่อเวลาในการผสมคงที่ อุณหภูมิที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงดีที่สุดคือ 185°C เนื่องจากที่ 180°C พอลิโอเลฟินส์ยังหลอมตัวไม่หมด และที่ 190°C พอลิโอเลฟินส์เริ่มเสียคุณภาพ ขณะที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการผสม พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการผสมมีความสัมพันธ์กันคือ ที่แต่ละอุณหภูมิจะมีเวลาในการผสมที่เหมาะสมต่างกัน โดยอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 นี้ อุณหภูมิ 185°C และเวลาในการผสม 8 นาทีให้ค่าดีที่สุด และมีค่าสูงใกล้เคียงกับ สูตร 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185°C และใช้เวลาผสม 8 นาที ในทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับความสามารถในการโค้งงอ (รูปที่ 4-20) และความทนทานต่อแรงกระแทก (รูปที่ 4-21) ให้ผลที่สอดคล้องในแนวเดียวกันกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1

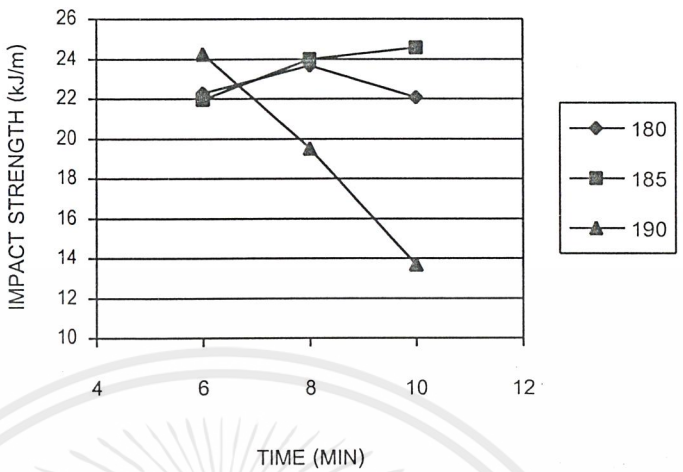
อุณหภูมิของลูกกลิ้ง (°C)		เวลาในการผสม (นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
หน้า	หลัง				
180	190	6	24.57	32.05	22.27
		8	24.61	32.81	23.67
		10	25.06	33.3	22.03
185	190	6	24.89	33.04	21.92
		8	25.65	34.94	23.97
		10	23.9	31.4	24.56
190	200	6	24.71	30.9	24.23
		8	24.43	31.78	19.47
		10	22.84	29.46	13.69



รูปที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1



รูปที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1



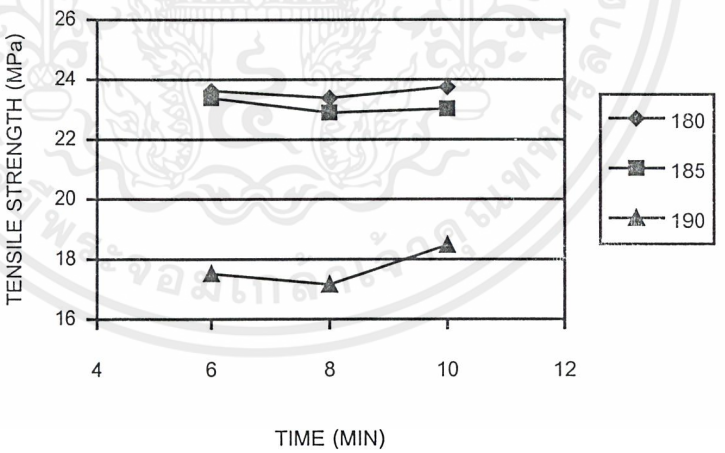
รูปที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลาในการผสมต่างๆของพอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1

4.2.4 การเตรียมพอลิโอลิฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ 6 8 และ 10 นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ 180°C 185°C และ 190°C ผลที่ได้แสดงใน ตารางที่ 4-8 และรูปที่ 4-22 ถึง 4-24

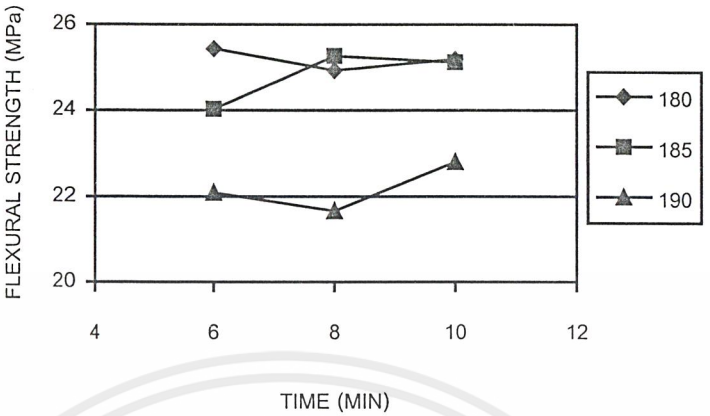
พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสม กับ ค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4-19) เมื่อเวลาในการผสมคงที่อุณหภูมิที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงดีที่สุดคือ 180°C เนื่องจากมีปริมาณของ LDPE อยู่ในสัดส่วนมากกว่า PP และ HDPE แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 185°C มากนัก โดยที่อุณหภูมิ 190 °C พอลิโอลิฟินส์เริ่มเสียคุณภาพ และขณะที่อุณหภูมิคงที่ ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการผสม ทำนองเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมกับความสามารถในการโค้งงอ (รูปที่ 4-23) และความทนทานต่อแรงกระแทก (รูปที่ 4-24) ให้ผลที่สอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการศึกษาสภาวะของพอลิโอเลฟินส์โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2

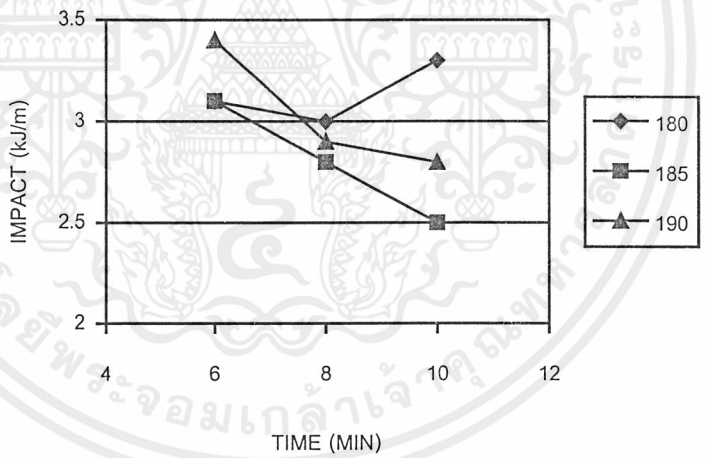
อุณหภูมิของลูกกลิ้ง (°C)		เวลาในการผสม (นาที)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
หน้า	หลัง				
180	190	6	23.63	25.43	3.10
		8	23.39	24.93	3.00
		10	23.76	25.19	3.30
185	190	6	23.39	24.03	3.10
		8	22.90	25.26	2.80
		10	24.87	25.11	2.50
190	200	6	17.52	22.09	3.40
		8	17.16	21.66	2.90
		10	18.47	22.80	2.80



รูปที่ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2



รูปที่ 4-23 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความโค้งงอ กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2



รูปที่ 4-24 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทก กับ เวลาในการผสมต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:1:2

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิโอเลฟินส์กับรงควัตถุ

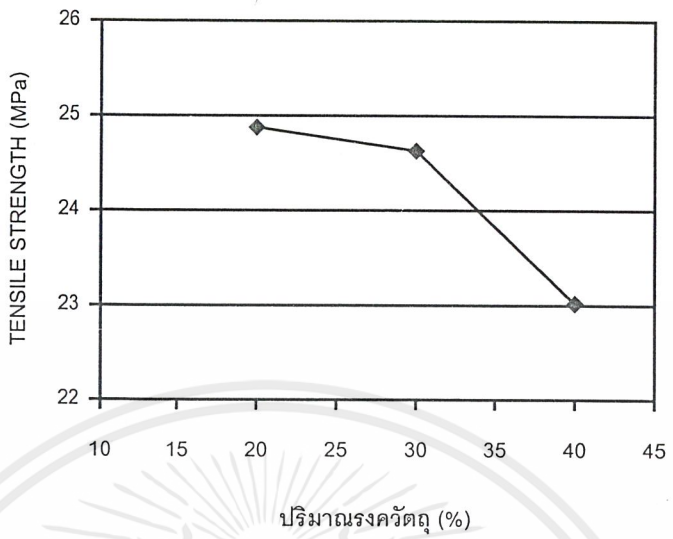
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของการผสมพอลิโอเลฟินส์ พบว่าอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 4.1 และ 4.2 คือพอลิโอเลฟินส์ที่มีอัตราส่วน PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 และ 1:2:1 ซึ่งมีสมบัติที่ดีใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4-9 และรูปที่ 4-25 ถึง 4-28) และเมื่อนำมาผสมกับรงควัตถุ พบว่าปริมาณผงคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิโอลิฟินส์ลดลง แต่ค่าความโค้งงอเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-10 และรูปที่ 4-29 ถึง 4-32) เนื่องจากผงคาร์บอนที่เติมลงไปเป็นเหมือนตำหนิในชิ้นงาน เมื่อปริมาณผงคาร์บอนมากขึ้นทำให้เกิดการรวมกลุ่มกัน ขัดขวางการเชื่อมโยงพันธะของสายโซ่พอลิเมอร์ ดังนั้นจึงมีผลให้ค่าสมบัติเชิงกลลดลง แต่ด้วยลักษณะความแข็งของผงคาร์บอนจึงทำให้ชิ้นงานมีค่าความโค้งงอเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-9 แสดงอัตราส่วนและสภาวะที่ได้รับการคัดเลือก

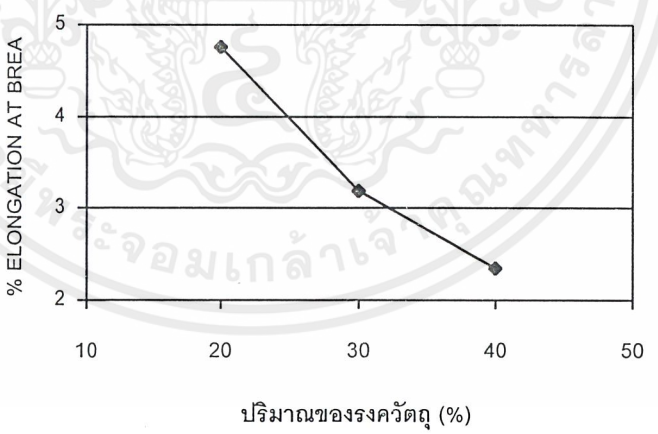
สูตรPO PP:HDPE:LDPE	กระบวนการ	อุณหภูมิของลูกกลิ้ง		เวลาที่ใช้ผสม (นาที)
		หน้า	หลัง	
PO 2:1:1	เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	185	195	8
PO1:2:1	เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	185	195	8

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการศึกษาปริมาณรงควัตถุที่มีผลต่อพอลิโอเลฟินส์

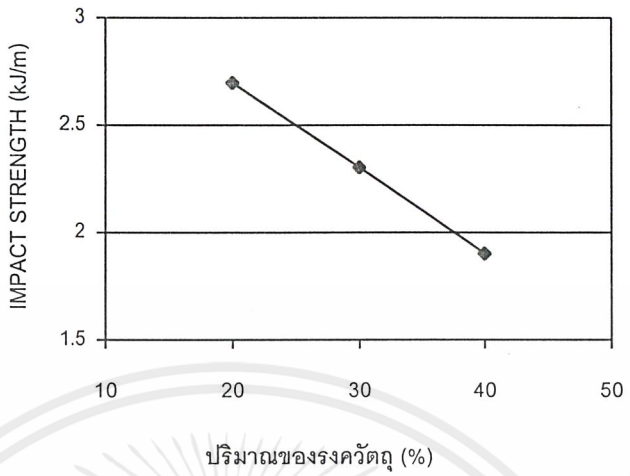
สูตร PO PP:HDPE:LDPE	ปริมาณ Carbon black	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Flexural strength (MPa)	Impact strength (kJ/m^2)
PO 2:1:1	20	24.88	4.76	39.26	2.7
	30	24.63	3.19	41.48	2.3
	40	23.02	2.35	42.74	1.9
PO 1:2:1	20	22.12	6.69	35.95	3.2
	30	21.53	4.08	36.24	2.6
	40	21.58	3.80	37.08	2.3



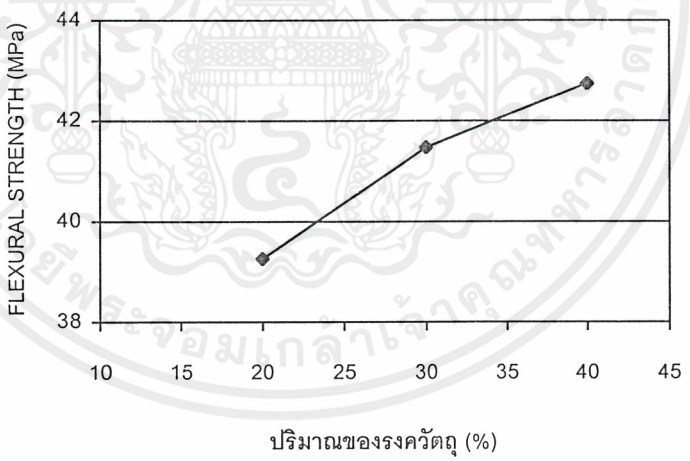
รูปที่ 4-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



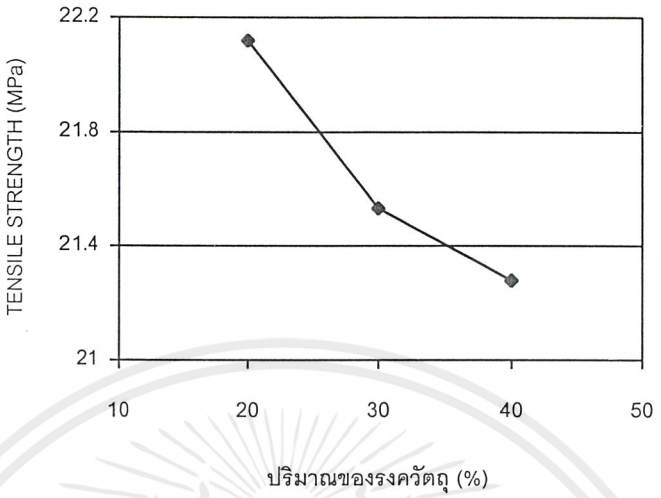
รูปที่ 4-26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความความสามารถในการดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



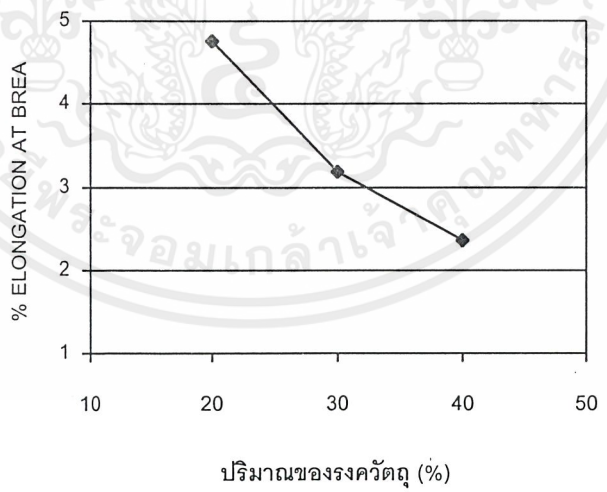
รูปที่ 4-27แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งงอ กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



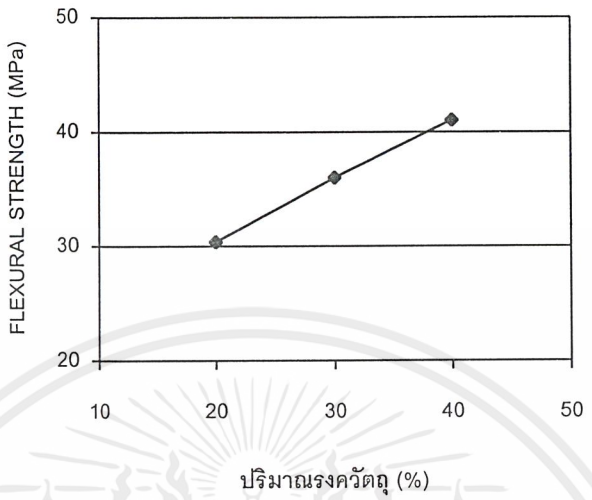
รูปที่ 4-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทานต่อแรงกระแทก กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 2:1:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



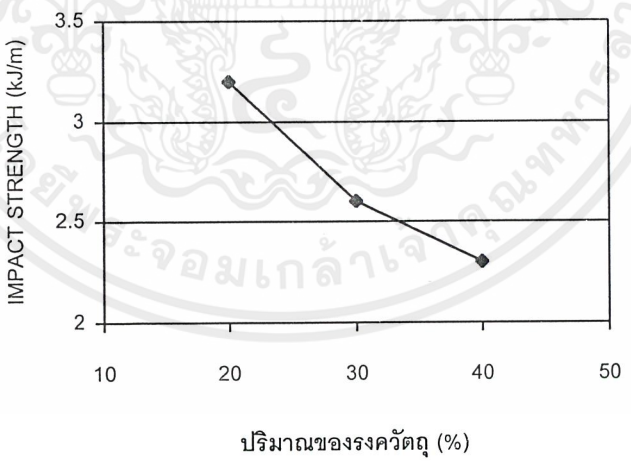
รูปที่ 4-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



รูปที่ 4-30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความความสามารถในการดึง กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆ ของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 ^{o}C เวลาในการผสม 8 นาที



รูปที่ 4-31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งงอ กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที



รูปที่ 4-32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนทานต่อแรงกระแทก กับ ปริมาณรงควัตถุต่างๆของ พอลิโอเลฟินส์ โดยมีอัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE เท่ากับ 1:2:1 ที่อุณหภูมิ 185 °C เวลาในการผสม 8 นาที

4.4 การศึกษาสมบัติของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของการผสมพอลิโอเลฟินส์กับรงควัตถุในข้อ 4.3 พบว่าปริมาณผงคาร์บอนมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิโอเลฟินส์ดังผลที่ได้แสดงไว้แล้ว และสูตรที่ได้รับการคัดเลือก คือ พอลิโอเลฟินส์สูตร 2:1:1 ที่มีผงคาร์บอนเป็นส่วนประกอบอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลสมบัติเชิงกลดีที่สุด ณ สภาวะและส่วนประกอบผสมข้างต้น เนื่องจากปริมาณรงควัตถุของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตกับทางการค้าไม่เท่ากันจึงนำมาเปรียบเทียบกันไม่ได้

4.4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

ตารางที่ 4-11 แสดงสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

สมบัติการทดสอบ	เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า รงควัตถุ 40%	เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB 20%
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	12.77	24.88
ค่าความโค้งงอ (MPa)	24.68	39.26
ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	3.28	4.76
ค่าความแข็ง	57.67	63
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m^2)	2.8	2.7

4.4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับพอลิเมอร์

ตารางที่ 4-12 แสดงสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ PP

สมบัติการทดสอบ	เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า รงควัตถุ 40%	เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB20%
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	33.57	36.24
ค่าความโค้งงอ (MPa)	41.92	45.10
ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	19.18	12.71
ค่าความแข็ง	65	64.75
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m^2)	2.65	2.27

ตารางที่ 4-13 แสดงสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ HDPE

สมบัติการทดสอบ	เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า รงควัตถุ 40%	เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB20%
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	43.14	43.4
ค่าความโค้งงอ (MPa)	36.10	37.29
ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	12.48	12.02
ค่าความแข็ง	56.67	57
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m^2)	30.57	28.03

ตารางที่ 4-14 แสดงสมบัติเชิงกลของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าเมื่อทำการผสมกับ LDPE

สมบัติการทดสอบ	เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า รงควัตถุ 40%	เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB20%
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	16.10	14.14
ค่าความโค้งงอ (MPa)	14.4	15.21
ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	80.77	119.1
ค่าความแข็ง	44.33	43.67
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m^2)	30	28.66

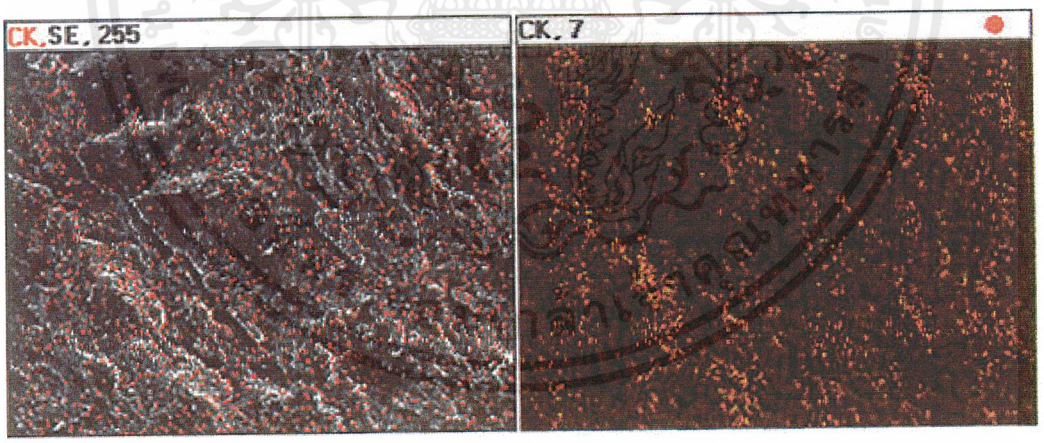
4.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าโดยใช้เครื่อง Heat Distortion Tester (ตารางที่ 4-12)

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความทนทานการเบี่ยงเบนทางความร้อน

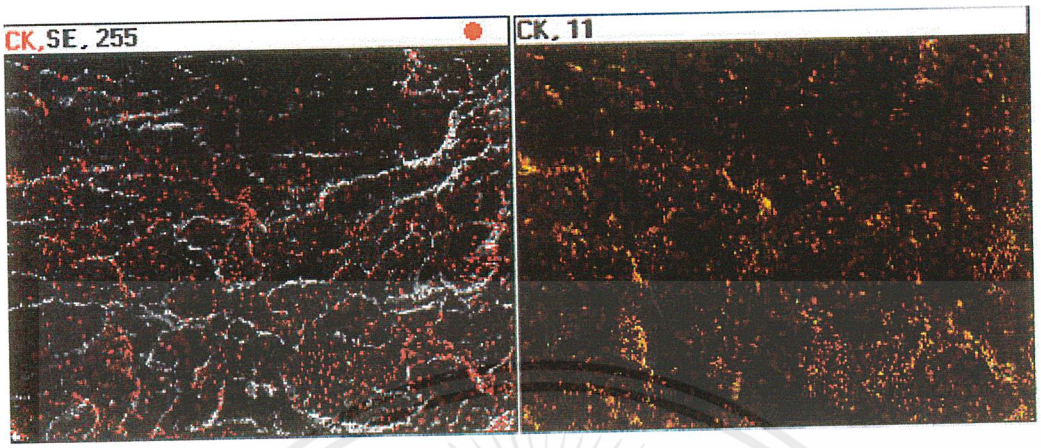
พอลิเมอร์ที่ใช้ผสม	เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า (°C) รงควัตถุ 40%	เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO2:1:1/CB20% (°C)
-	51.3	64.5
PP	62.2	65.8
HDPE	56.0	55.3

4.4.4 การศึกษาสภาพทางสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยเทคนิค Electron Plobe X-Ray Microanalysis แบบ Electron Microprobe Mapping

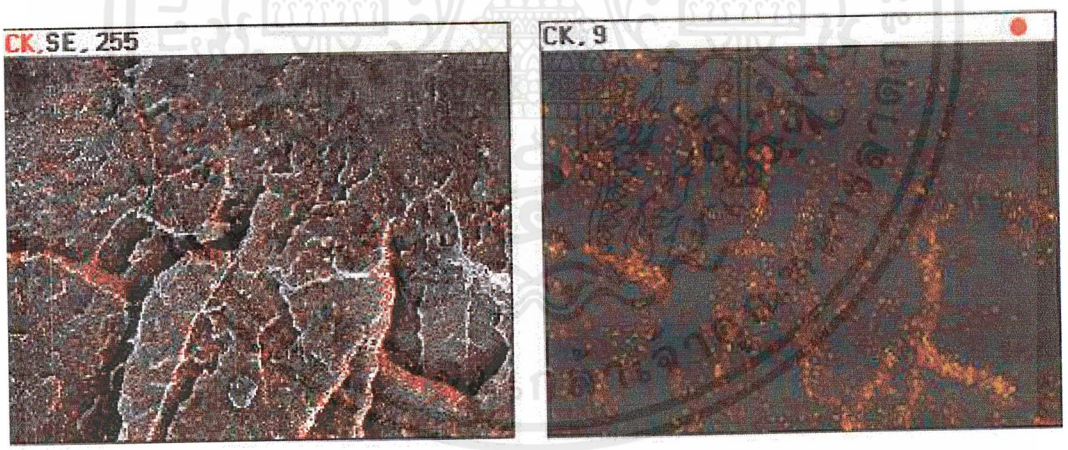
เป็นการศึกษาสภาพทางสัณฐานวิทยา ด้วยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณและตำแหน่งการกระจายตัวของธาตุในชิ้นงานได้ โดยทำการศึกษาจากชิ้นงานที่ได้จากการแตกหักและใช้กำลังขยาย 8000 เท่า ค้นหาตำแหน่งที่มีธาตุคาร์บอนอยู่ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของรงควัตถุและเพื่อยืนยันผลการทดสอบสมบัติเชิงกล จากรูปที่ 4-33 ภาพทางซ้ายแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า และภาพทางขวาแสดงตำแหน่งการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนในตำแหน่งเดียวกับภาพทางซ้าย เห็นได้ว่า บริเวณที่มีรอยแตกหักหรือผิวขรุขระจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนหนาแน่นกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่มีการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนดีจะมีสภาพสัณฐานวิทยารอยแตกหักน้อยกว่าชิ้นงานที่มีการเกาะกลุ่มของธาตุคาร์บอน จากรูปที่ 4-34 ถึง 4-36 แสดงภาพสัณฐานวิทยาของเม็ดสีเข้มข้นทางการค้าที่ผสมกับ LDPE HDPE และ PP ตามลำดับ รูปที่ 4-37 ถึง 4-40 แสดงภาพสัณฐานวิทยาของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้และผสมกับ LDPE HDPE และ PP ตามลำดับ



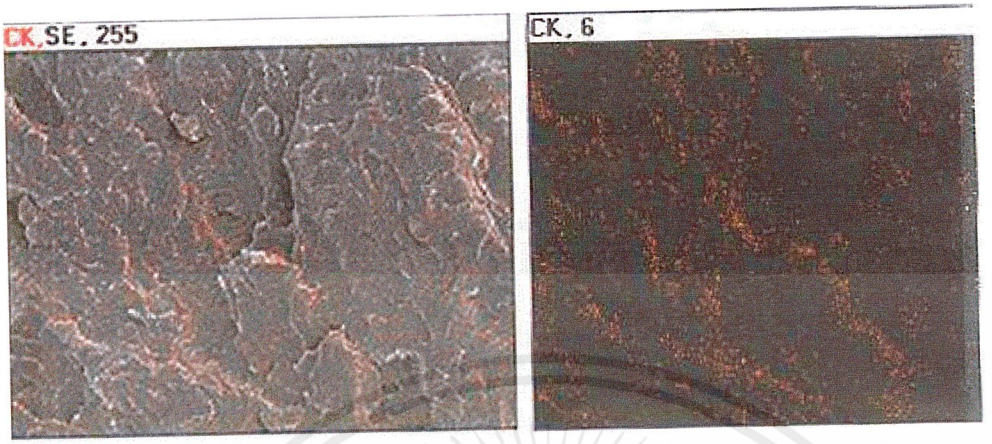
รูปที่ 4-33 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นทางการค้า กำลังขยาย 8,000 เท่า



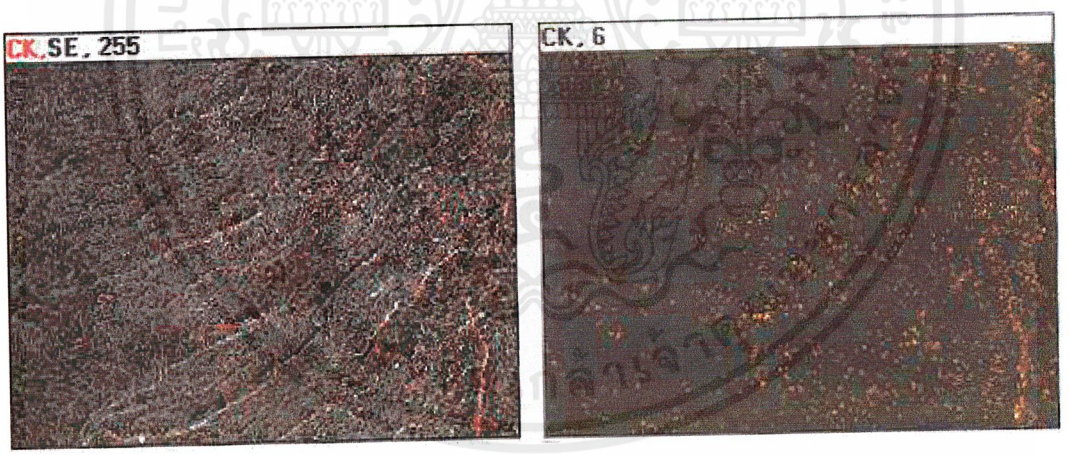
รูปที่ 4-34 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ LDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า



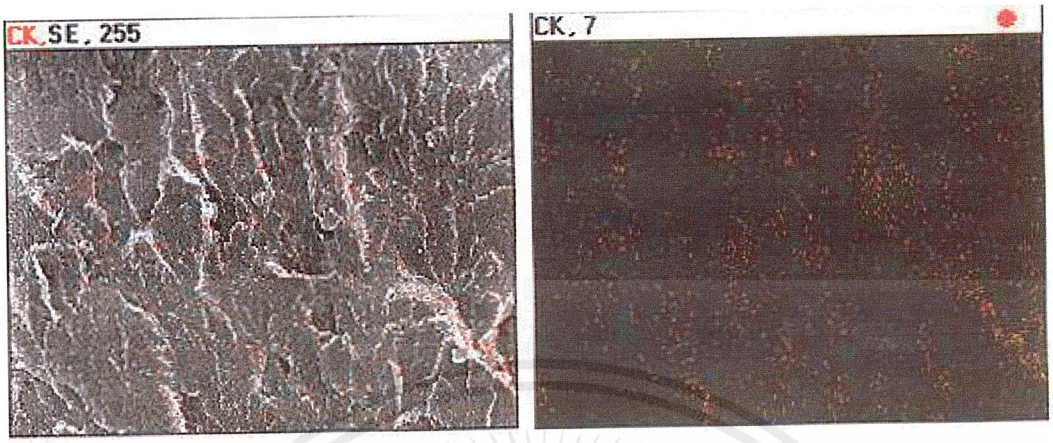
รูปที่4-35 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ HDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า



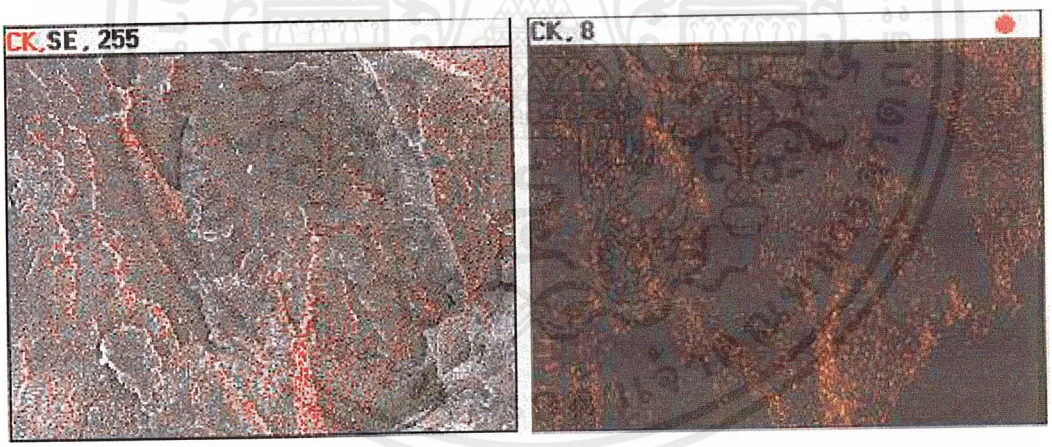
รูปที่ 4-36 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นทางการค้าผสมกับ PP กำลังขยาย 8,000 เท่า



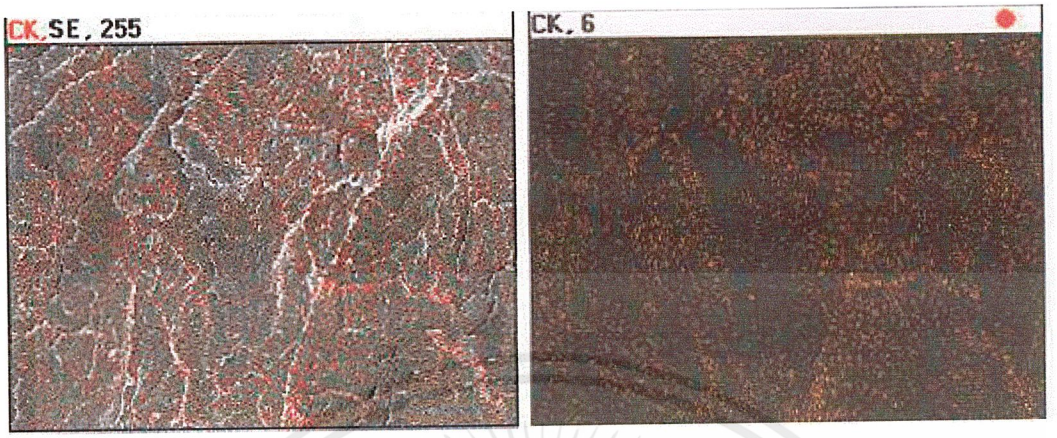
รูปที่ 4-37 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO 2:1:1/CB20% กำลังขยาย 8,000 เท่า



รูปที่ 4-38 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO 2:1:1/CB20% ผสมกับ LDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า



รูปที่ 4-39 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO 2:1:1/CB20% ผสมกับ HDPE กำลังขยาย 8,000 เท่า



รูปที่ 4-40 แสดง Scanning Electron Micrograph ของ เม็ดสีเข้มข้นสูตร PO 2:1:1/CB20% ผสมกับ PP กำลังขยาย 8,000 เท่า

บทที่ 5

สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ดังต่อไปนี้

5.1 สภาวะของกระบวนและอัตราส่วนของพอลิโอเลฟินส์

อัตราส่วน อุณหภูมิ ความเร็วสกรู และเวลาในการผสมมีผลต่อสมบัติของพอลิโอเลฟินส์ทั้งที่ใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ถ้าอัตราส่วนที่มีพอลิพรอพิลีนมาก อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวจะสูงกว่าอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในการผสมมาก ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการสูงไปจะทำให้พอลิโอเลฟินส์เสียคุณภาพ ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการน้อยเกินไป ทำให้การหลอมตัวไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ผลของความเร็วสกรูและเวลาในการผสมที่ใช้ถ้าเร็วเกินไปจะทำให้พอลิโอเลฟินส์เข้ากันไม่สมบูรณ์ ส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกล โดยอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมของพอลิโอเลฟินส์ ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง ในอัตราส่วน 2:1:1 และ 1:2:1 โดยใช้อุณหภูมิ 185^{0}C และเวลาในการผสม 8 นาที

5.2 สภาวะในการผสมพอลิโอเลฟินส์กับรงควัตถุ

ปริมาณผงคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากผงคาร์บอนมีโอกาสเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน การกระจายตัวไม่ดีทำให้เป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน อัตราส่วนที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดคือ 2:1:1 และมีที่มีปริมาณผงคาร์บอน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

5.3 สมบัติของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้กับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

เนื่องจากปริมาณรงควัตถุของเม็ดสีเข้มข้นที่ผลิตได้ (ผงคาร์บอน 20%) และเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า (รงควัตถุ 40%) ไม่เท่ากันจึงไม่สามารถเปรียบเทียบสมบัติต่างได้

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาวัตถุดิบที่จะนำพอลิโอเลฟินส์กลับมาใช้ใหม่นอกจากขวดน้ำขุ่น
2. ศึกษารงควัตถุอื่นๆที่สามารถนำมาผลิตเป็นเม็ดสีเข้มข้น เพื่อการนำไปใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น
3. ศึกษาถึงสมบัติทางแสงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ขึ้น
4. ศึกษาสารตัวเติมต่างๆที่ช่วยให้สมบัติของเม็ดสีผสมดีขึ้น เช่น สารเสถียรภาพทางความร้อน
5. ผลิตเม็ดสีเข้มข้นที่มีปริมาณผงคาร์บอน 40 เปอร์เซ็นต์ และนำไปเปรียบเทียบกับเม็ดสีเข้มข้นทางการค้า

เอกสารอ้างอิง

1. O. bobe, *J.Appl.Polym.Sci.*,**1993,** 49(3), 381.
2 J.Peter, G.Capelle and R.Skubich, International Polymer Science and Technology, **1993**, 20(1),T1-T3.
3. จิราภรณ์ เมฆบริสุทธิ์และคณะ "การใช้สารช่วยผสมในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ผสม"โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539
4. นันทพร พันธุ์ภักดี และ เรวดี สกุลอริยะ "วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
5. ณัฐศิริ ศรีสิทธิพันธกล และ สุชีวิน สงกะมิลินท์ "การจำแนกลักษณะของการผสมเข้ากันได้ของไนลอน-6 อะคริโลไนตริล บิวทาไดอีนสไตรีน และพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว" โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541
6. ปรีชา พหลเทพ "โพลิเมอร์" พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2536
7. นิกร โปณะทอง และ พรพงษ์ โสววัฒนกุล "การศึกษา Impact Modifier ที่มีต่อ Amorphous Polymer และ Semi-crystalline Polymer" โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
8. ดร.อมรรัตน์ สวัสดิทัต "รายงานการสัมมนา LLDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง" ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนยีแห่งประเทศไทย 2532
9. ดร.อมรรัตน์ สวัสดิทัต "รายงานการสัมมนา HDPE บรรจุภัณฑ์ทันสมัย" ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนยีแห่งประเทศไทย 2532
10. ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ "เคมีพอลิเมอร์" พิมพ์ครั้งที่ 3 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540 หน้า 254
11. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล "เทคโนโลยีการผสมสีในพลาสติก" ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537 หน้า 158-163
12 วิภาพร มหจินดาวงษ์ "มารู้จัก ผงคาร์บอน กันเถอะ" *วารสารอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย* 2540 (27) หน้า 15