

การศึกษาความเป็นไปได้ทางกระบวนการของสารเติมแต่งที่มีต่อ
พอลิโอดีฟินส์และโพลิเมอร์ที่ใช้แล้ว



นายทวีพันธ์

อำนวยการ

นายสุรัชย์

จรัลศักดิ์ศิริกุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 33491

วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Processability of Additive Effects on Recycled
Polyolefins and Polystyrene Foam**



Mr.Thawipan Umketsakul

Mr.Surachai Jirasaksirikul

**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

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาความเป็นไปได้ทางกระบวนการของผลสารเติมแต่งที่มี
 ต่อพอลิไอธินด์และโพลีพอธิดาไทรินที่ใช้แล้ว

นักศึกษา นายรวิพันธ์ อังกศฤง รหัส 38054223
 นายสุรชัย จิรศักดิ์ศิริกุล รหัส 38054258

ภาควิชา เคมี


อาจารย์ที่ปรึกษา คร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

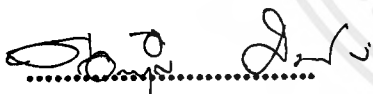

.....
(ผศ.นงนุช เกตราวุธ)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

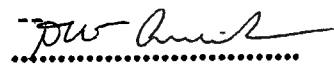
คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


.....
(ผศ.ดร.มาฉิณี ชัยสุขกิจฉินธ์)

ประธานกรรมการ


.....
(ดร.ต้องจิตต์ คิชอบ)

กรรมการ


.....
(ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ

ฉันทิทธิของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาความเป็นไปได้ทางกระบวนการของผลสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และโพลีเอทิลีนที่ไร้แล้ว
นักศึกษา	นายวิพันธ์ อ่ำเกตุสกุล นายสุรชัย จิรศักดิ์ศิริกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางกระบวนการผสมโพลีเอทิลีนและพอลิโอลิฟินส์ (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีน) ที่ไร้แล้วโดยอาศัยเทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผสมและผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

จากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนการผสมที่ 75/25 ของโพลีเอทิลีนและพอลิโอลิฟินส์ ให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าอัตราส่วนการผสมอื่น ๆ สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผสมในทุกๆ อัตราส่วนโดยรวมอยู่ในช่วง 180°C - 190°C และอัตราเร็วรอบของสกรูเป็น 30 - 50 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาผลจากการเติมสารเติมแต่งพบว่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีการปรับปรุงดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยแก้ว (Glass fiber) ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) ที่ได้จากตัวรอดไฟที่ไร้แล้วทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะของเส้นใยและความสามารถในการกระจายตัวที่ดีกว่า

Special Project Title	Processability of Additive Effects on Recycled Polyolefins and Polystyrene Foam
Name	Mr.Thawipan Umketsakul Mr.Surachai Jirasuksilikul
Special Project Advisor	Dr.Somsak Woramongconchai
Department	Chemistry
Academic Year	1998

Abstract

This special project aims to study the processability blending of polystyrene foam and polyolefins (high density polyethylene , low density polyethylene and polypropylene) by using the melt blending technique with a two-roll mill and a single-screw extruder for study the influence factor of mixing process and additive effects on mechanical properties .

The research showed that the ratio of 75 to 25 of polystyrene foam to polyolefins had better mechanical properties than the other ratios . The optimum conditions of mixing process of every ratio were between 180°C - 190°C and the screw speeds were 30 –50 rpm. The additive effects indicated that all the mechanical properties were improved , especially the fiber glass enhanced the mechanical properties better than the cellulose fiber from the train's tickets because of the fiber characteristic and the better disperse ability.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงาน โครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ และ คร.ต้องจิตต์ ทิศขอบ อาจารย์คณะ กรรมการตรวจสอบ โครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไข โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณ เพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกเหนือจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึงทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายวิพันธ์ อ่ำเกตุสกุล

นายสุรชัย จิรศักดิ์ศิริกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์โครงการ	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พอลิเมอร์ผสม	5
2.2 พอลิโอดีฟีนส์	7
2.2.1 พอลิเอทีลิน	7
2.2.2 พอลิพรอพิลีน	10
2.3 พอลิสไตรีน	11
2.4 สารเติมแต่ง	13
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	15
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	18
3.1 สารเคมี	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.3 วิธีทำการทดลอง	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	25
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอดีฟีนส์	25
4.2 การศึกษาสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสม	26
4.3 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง	46

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 ศึกษาสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ	50
5.2 ศึกษาผลที่ได้จากเครื่องบดผสมและผลที่ควรเป็นตามทฤษฎี	51
5.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่ง	51
5.4 ข้อเสนอแนะ	51
ภาคผนวก	52
เอกสารอ้างอิง	57



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์	6
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสมบัติบางประการของพอลิโอดีฟินส์	11
ตารางที่ 3.1 แสดงการผสมโพลิเมอร์ชนิดไตรีนและพอลิโอดีฟินส์ในอัตราส่วนต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและเวลาในการผสม	20
ตารางที่ 3.2 แสดงการผสมโพลิเมอร์ชนิดไตรีนและพอลิโอดีฟินส์ในอัตราส่วนต่างๆ โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและอัตราเร็วรอบของสกรูในการผสม	20
ตารางที่ 3.3 แสดงสถานะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม	22
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ชนิดไตรีนและพอลิโอดีฟินส์	25
ตารางที่ 4.2 สรุปสถานะที่เหมาะสมและแสดงค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	29
ตารางที่ 4.3 สรุปสถานะที่เหมาะสมและแสดงค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคียว	40
ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติเชิงกลต่างๆตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสม	41
ตารางภาคผนวก	52

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	6
รูปที่ 2.2 แสดงการผลิตโฟม	13
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	14
รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเครื่องอัดรีด	17
รูปที่ 4.1 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	27
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	27
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทกจาก เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	28
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	28
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	29
รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	33
รูปที่ 4.7 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	33
รูปที่ 4.8 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	34
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	34
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	35
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	35
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วน 75/25	36
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอัตราส่วน 50/50	36

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวอัตราส่วน 25/75	37
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งแรงเชิงยึดหยุ่นจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวอัตราส่วน 75/25	37
รูปที่ 4.16 แสดงค่าความแข็งแรงเชิงยึดหยุ่นจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวอัตราส่วน 50/50	38
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงเชิงยึดหยุ่นจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวอัตราส่วน 25/75	38
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	39
รูปที่ 4.19 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	39
รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	40
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของการดึง	43
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง	43
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทก	44
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงเชิงยึดหยุ่น	44
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรง	45
รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของการดึง ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	47
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	47
รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	48
รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงเชิงยึดหยุ่น ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	48
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรง ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ โดยสามารถใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ โลหะ กระดาษ ฯลฯ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความใส น้ำหนักเบา ความเหนียวสูง ทนทานต่อสถานะแวดล้อมได้ดี และอื่นๆแล้วแต่การประยุกต์ใช้งาน

จากผลของการใช้กันอย่างแพร่หลายจึงทำให้มีแนวโน้มของการใช้งานมากขึ้น สิ่งก็ตามมาคือ ปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสถานะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยนำมาผสมกับพลาสติกอื่นๆ (Plastics blending) ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกผสมที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพลาสติกที่นำมาผสมนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกผสมที่ได้อาจมีสมบัติ ค่อนข้างหรือไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกผสมด้วยการเติมสารเติมแต่ง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ พอลิโอลิฟินส์ เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิพรอพิลีน (PP) และโฟมพอลิสไตรีน (PS foam) โดยนำพอลิโอลิฟินส์มาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากันก่อน จากนั้นจึงนำมาผสมกับพอลิสไตรีน ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันดังนี้คือ 25/75 50/50 และ 75/25 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เวลาและอัตราเร็วของสกรูของเครื่องผสมแบบสองลูกกอล์ฟและเครื่องอัดรีด เพื่อเลือกสถานะที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนก่อนนำไปเติมสารเติมแต่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เส้นใยแก้ว (Glass fiber) และเซลลูโลส (Cellulose) จากคั้วรตไฟฟ้าที่ใช้แล้วเป็นสารเติมแต่งในการพิจารณาถึงผลที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แล้วทั้งสองชนิด โดยผลจากการศึกษาทำให้สามารถทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการผสมและปริมาณสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1982 A.K. Gupta and S.N. Purwar ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน(PP) กับพอลิเอทิลีน (PE) และพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน(PS) โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวในอัตราส่วน 90/10 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน จะทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงดึงมากขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๗ จุดขาดลดลง และในกรณีของพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีนจะให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ๗ จุดขาดลดลงอย่างมาก¹

ในปี ค.ศ. 1994 Akin Adewole และคณะได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิพรอพิลีน(PP) ที่ใช้แล้ว โดยไม่เติมสารช่วยในการผสม (Compatibilizer) ซึ่งทำการผสมในเครื่องอัดรีดโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 160 - 210 องศาเซลเซียส อัตราเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 300 – 500 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่า PP กับ HDPE จะเกิดการแยกวัฏภาคกัน ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของ HDPE จะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น (Flexural strength) ลดลงแต่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) เพิ่มขึ้น²

ในปี ค.ศ. 1994 Z. Horak, V. Fort, D. Hlavata and F. Lednicky, ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีน (PP) กับ HIPS โดยใช้ สไตรีน บิวทาไดอีน เป็นสารช่วยผสม ซึ่งสไตรีนบิวทาไดอีนที่ใช้จะมีลักษณะโครงสร้างดังนี้ Diblock Triblock และ Pentablock จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Triblock เป็นสารช่วยผสม จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ๗ จุดขาดสูงสุด สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสมจะให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำสุด³

FORTELNY, I; MICHALKOVA, D. ; MIKESOVA, J. ทำการศึกษาผลของสภาวะของการผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน (PP/PS)⁴ การทดลองนี้ได้ศึกษาขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่กระจายตัวพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ยและอัตราการผสม ที่อัตราส่วน (PP/PS) 75/25 แต่ขนาดอนุภาคลดลงและมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการผสมที่อัตราส่วน (PP/PS) 95/5 เป็นผลเนื่องมาจากการแข่งขัน การแตกหัก และ การรวมตัว ของอนุภาคที่กระจายตัว

FUJIYAMA, M. ทำการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของกระบวนการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP/PS⁵ จากการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของการผสม PP/PS โดยวิธีฉีดขึ้นรูปพบว่า

1. ค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทกและความต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PS
2. อุณหภูมิการตกผลึกและความร้อนแฝงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PS เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาของ PP และ PS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาค่าจะลดลงเมื่อปริมาณ PS มากขึ้น
4. สมบัติการไหลจะมากขึ้นเมื่อ PS มากขึ้น
5. พอลิเมอร์ผสมจะขาวขึ้นเมื่อเพิ่ม PS มากขึ้นและไม่มีตำหนิที่พื้นผิว.
6. ความเป็นผลึกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PS
7. พอลิเมอร์ผสม ไม่แสดงโครงสร้างที่มีแกนกลางและผิวไฮโดรโดยเครื่อง Polarize Microscopy

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมระหว่างพอลิโอฟีนส์และโพลีเอทิลีนไดโอฟีนเพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยใช้สารเติมแต่ง

- เพื่อศึกษาถึงผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วน โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
- เพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและอัตราเร็วรอบของสกรูที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
- เพื่อศึกษาและเลือกสถานะในการผสมที่ดีที่สุดเพื่อนำมาศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล

1.3.2 ศึกษาผลของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางกระบวนการของผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอเลฟินส์ และโพลีพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและมีสมบัติเชิงกลดีที่สุดจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวจากนั้นเติมสารเติมแต่งได้แก่เส้นใยแก้วและเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากตัวรถไฟที่ใช้แล้ว ศึกษาหาผลที่ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและปริมาณที่เหมาะสมในพอลิเมอร์ผสมนั้น

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารเติมแต่งของกระบวนการผสมพอลิโอเลฟินส์และโพลีพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว โดยที่พอลิโอเลฟินส์ที่ใช้แล้วมาจากการผสมพอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในอัตราส่วนที่เท่ากันและโพลีพอลิสไตรีน (PS) ที่นำมาจากโพลีที่ใช้ในการบรรจุสิ่งของกันการกระแทกโดยทำการผสมพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ 25/75 50/50 75/25 โดยน้ำหนัก ศึกษาสภาวะการผสมในเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) ในสภาวะต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องมือทั้งสอง เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดก่อนนำมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง จากนั้นจึงทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสมต่อไป

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผสมโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอเลฟินส์
- 1.6.2 ทราบถึงผลของสารเติมแต่งที่ช่วยทางการผสมระหว่างโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอเลฟินส์
- 1.6.3 ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันอยู่ร่วมกัน โดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่มาผสมกัน

พอลิเมอร์ผสมจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่สามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) และ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend)

การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมสามารถพิจารณาได้จากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ มีหน่วยเป็น $J^{2/3} cm^{-3/2}$ ซึ่งอาจหาได้จากการคำนวณหรือจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.1

ถ้าค่าตัวแปรความสามารถในการละลาย⁶ มีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จะทำให้ค่า $\Delta H_m = 0$ ดังสมการ(2.1)

$$\Delta H_m = \phi_1 \phi_2 (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ ΔH_m คือ เอนทาลปี

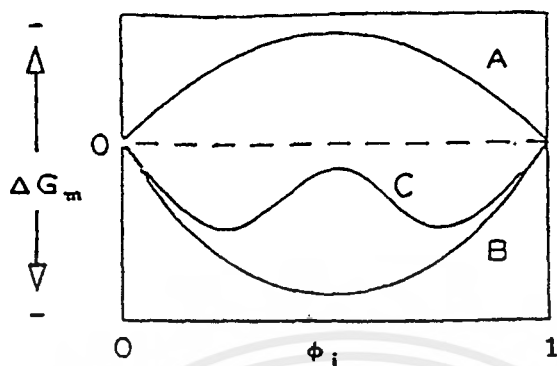
ϕ_1, ϕ_2 คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของแต่ละอัตราส่วน 1 และ 2

δ_1, δ_2 คือ ค่าความสามารถของการละลาย

และจากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระของกิบส์ เอนทาลปีและเอนโทรปีดังสมการ (2.2)

$$\Delta G = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (2.2)$$

เมื่อ $\Delta H_m = 0$ จะทำให้ค่า ΔG เป็นลบ แสดงว่าพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ ในทางกลับกัน ถ้าค่า $\delta_1 - \delta_2$ แตกต่างกันมาก จะทำให้พอลิเมอร์เข้ากันไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์⁷

- เมื่อ
- A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์
 - B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์
 - C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ (Solubility Parameter)⁶

พอลิเมอร์	δ exp. ($J^{1/2}/cm^{-3/2}$)		δ calc. ($J^{1/2}/cm^{-3/2}$)
	From	To	
พอลิเอทีลีน	15.8	17.1	16.0
พอลิพรอพิลีน	16.8	18.8	17.0
พอลิสไตรีน	17.4	19.0	19.1

วัตถุประสงค์ของพอลิเมอร์ผสม

1. เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติดีขึ้นในราคาที่เหมาะสม โดยเป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
2. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วมากลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
3. เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins)

มีความหมายรวมถึงพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ โดยแบ่งตามปริมาณความเป็นผลึกหรือความหนาแน่น และพอลิพรอพิลีน

2.2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)

สูตร โครงสร้าง



ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว ดูซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ ตามโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติตลอดจนการใช้งานได้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้⁸

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ความหนาแน่น 0.915 – 0.995 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

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อม โยงคดล โรซัล โฟเนเตดพอลิเอทิลีนและโคพอลิเมอร์ต่าง ๆ

ของเอทิลีนด้วย

2.2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene , LDPE)

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ครั้งแรกซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่น่ามาใช้ในทางการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้⁹

- ความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะสูงมาก 1,000–3,000 บรรยากาศ (15,000 – 45,000 psi)
- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 200 – 400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.919 – 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างและมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันมีสองกระบวนการ

1. Autoclave Process ของ ICI

2. Tubular Process ของ UCC

ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะให้โครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกันแต่จะสามารถผลิต LDPE ที่มีช่วงความหนาแน่นและช่วงของดัชนีการไหลเหมือนกันคือ

ความหนาแน่น 0.915 – 0.930 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ดัชนีการไหล 0.1 – 50 กรัมต่อ 10 นาที

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ⁹

- ขอมให้ก๊าซซึมผ่านได้เนื่องจากมีส่วนของอสัณฐานซึ่งมีปริมาตรอิสระขอมให้มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลได้ จึงมีช่องว่างพอที่จะให้โมเลกุลของก๊าซซึมผ่านได้
- การไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ โดยมีอุณหภูมิในการหลอมตัวอยู่ในช่วง 98 – 120 องศาเซลเซียส
- มีค่าความต้านทานแรงกระแทกดีพอสมควร
- เป็นตัวกันความชื้นได้ดี
- ฟิล์มที่แปรรูปมาจาก LDPE จะมีความเป็นเงามันดีและความมีฝ้าต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี

การนำไปใช้งาน⁹

- फिल्मและงานเคลือบหลาย ๆ ชั้น (lamination) เช่น फिल्मห่อหุ้ม (shrink wrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมาก ๆ
- งานฉีดแบบ (injection moulding)
- งานเป่าแบบ (blow moulding)
- อื่น ๆ เช่น फिल्मหลายชั้น (coextrusion) งานรีดท่อ (pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟฟ้าและสายเคเบิล (wire and cable coating)

2.2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

ในปี ค.ศ. 1941 ได้มีการผลิตพอลิเอทิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโททานิยมเทอร์ระคลอไรด์ ซึ่งสามารถทำให้เอทิลีนรวมตัวกันได้โดยไม่ต้องใช้ความดันสูงซึ่งพอลิเอทิลีนที่ได้มีลักษณะของสายโซ่ที่แตกต่างกันไปเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง¹⁰

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง¹¹

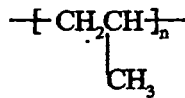
- มีสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเรียงตัวต่อกันเป็นแนวยาวมีกิ่งก้านสาขาน้อย มีความเป็นผลึกสูง มีความหนาแน่น 0.941 – 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมตัว 135 องศาเซลเซียส โดยจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

การนำไปใช้งาน

- ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความดันทานสูงและทนต่อแรงเค้นสูง
- สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีด มีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเค็กเล่นเครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าและสายเคเบิล เป็นต้น

2.2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP)

สูตรโครงสร้าง



สมบัติของพอลิพรอพิลีน ¹¹

- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลางอยู่ในช่วง 164 – 170 องศาเซลเซียส
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 – 200,000 ความหนาแน่น 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป แต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำไปใช้งาน ¹¹

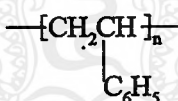
- ชิ้นส่วนของรถยนต์
- อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน
- ใช้ในรูปเส้นใยและฟิล์ม
- พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้าผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ใยแก้ว และแอนติออกซิแดนท์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน¹²

สมบัติ	LDPE	HDPE	PP
ความถ่วงจำเพาะ	0.91-0.93	0.94-0.97	0.90-0.91
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%)	50-70	80-95	82
อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)	98-120	127-135	165-171
ความแข็งแรงดึง (MPa)	4.1-16	21-38	31-41
มอดูลัสการดึง (GPa)	0.10-0.26	0.41-1.24	1.10-1.55
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)	90-800	20-130	100-600
ความแข็งแรงต่อแรงกระแทก (J/m)	no break	27-1068	21-53
อุณหภูมิเบี่ยงเบนความร้อน (°C)	38-49	60-88	225-250

2.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene ,PS)

สูตรโครงสร้าง



ในปี ค.ศ. 1934 เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนในทางการค้าโดยบริษัท Dow Chemical Co. และบริษัท I.G. Farben

สมบัติของพอลิสไตรีน¹¹

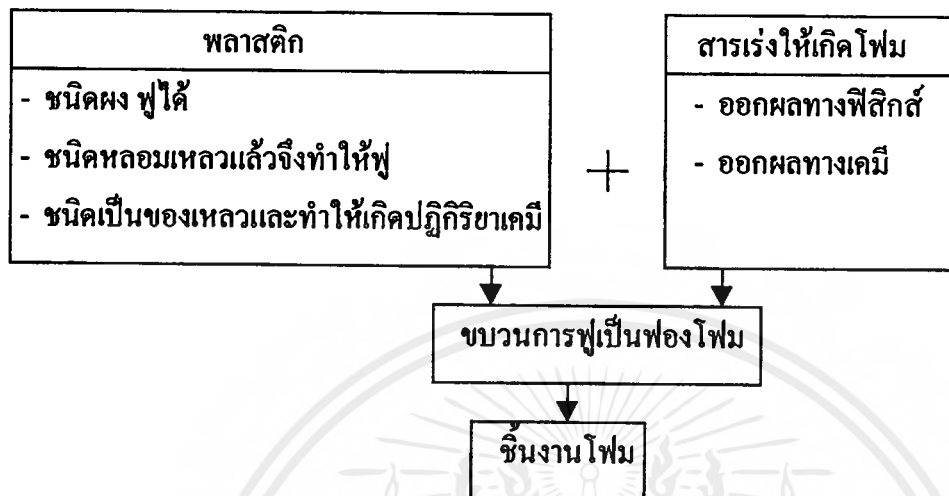
- มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงแบบอะแทกติก จึงอยู่ในรูปอสัณฐาน มีลักษณะแข็งเปราะ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ค่อยดูดความชื้น ไม่ค่อยนำไฟฟ้า เชื้อข่อยสารเคมี ทนต่อกรด เฮไลด์ ต่าง ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์ เมื่อถูกย่อยสลายจะให้โมเลกุลเล็กลงเมื่อถูกความร้อน ซึ่งปกติจะมีมวลโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000 ทนต่อแรงดึงได้ดี แต่ทนต่อความร้อนต่ำ เนื่องจากมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วประมาณ 80 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.05 - 1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรมาติก เวลาผลิตขึ้นรูปต่างๆ ได้ง่ายข้อด้อยคือเปราะ

การนำไปใช้งาน ¹¹

● การปรับปรุงสมบัติทำได้โดยการเติมสารเติมแต่งบางอย่างลงไปช่วยให้สมบัติของพอลิสไตรีนดีขึ้น นำมาใช้เป็นถังพลาสติก ขวดพลาสติก ภาชนะใส่อาหารชนิดใส ชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมทำเป็นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของป้องกันการแตก การสะท้อน โดยนำเอาเม็ดพลาสติกที่เติมได้มาหลอมแล้วอัด เช่น เพนเทน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เม็ดจะขยายตัวถึง 40 เท่า แล้วอัดลงในเบ้าจะได้โฟมตามต้องการ

สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะเลือกใช้พอลิสไตรีนจากชิ้นงานโฟม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กันอย่างแพร่หลาย และสามารถหาได้ง่าย โฟมพลาสติกประกอบด้วยโครงสร้างของเซลล์ซึ่งได้จากการใช้สารเร่งให้ฟูเป็นฟอง สารเร่งให้เกิดฟองนี้หมายถึงสารที่เมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซขึ้น ทำให้พลาสติกฟูเป็นฟอง และในขณะที่ขยายตัวออกนี้จะต้องขยายแม่แบบให้มีปริมาตรโตขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าพลาสติกปกติซึ่งไม่ได้ทำเป็นโฟม พลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นโฟมจะต้องเป็นพลาสติกที่ลดความหนาแน่นได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ¹³

1. กลุ่มที่สามารถเร่งให้ผงฟูเป็นโฟมได้ เช่น PS
2. กลุ่มที่หลอมเหลวแล้วจึงทำให้ฟู เช่น PS PE PVC
3. กลุ่มสารเริ่มต้นเป็นของเหลวและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นโฟม เช่น PUR
PF UF



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการผลิตโฟม¹³

2.4 สารเติมแต่ง (Additive)

คือ สารที่อยู่ในรูปของแข็งหรือพวกเส้นใยที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้¹⁴

- ลดต้นทุนการผลิต
- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ
- ปรับปรุงสมบัติการไหล
- ปรับปรุงสมบัติทางเคมี
- ปรับปรุงสมบัติทางความร้อน

2.4.1 เส้นใยแก้ว (Glass fiber)¹⁴

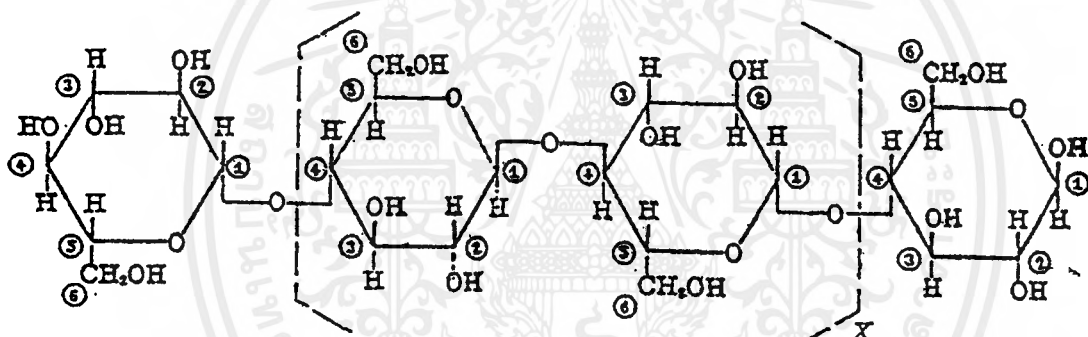
เส้นใยแก้วเสริมแรงที่ใช้กันอยู่มีหลายรูปแบบ การนำมาใช้งานมักจะขึ้นกับราคา ความแข็งแรง ความสามารถในการเข้ากันได้กับเรซิน และ กระบวนการผลิตของเส้นใยแก้ว สาเหตุที่นิยมใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงเพราะมีค่าความแข็งแรงสูง แก้วเมื่ออยู่เป็นก้อน จะมีความเปราะ มีความแข็งแรงต่ำ แต่เมื่อนำมาริดคิงเป็นเส้นใยจะทำให้ค่าความแข็งแรงสูงขึ้น ในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยแก้วอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำโครงสร้างและใช้ในงานเสริมแรง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตเส้นใยแก้วทำได้โดยการผสมส่วนประกอบต่างๆ จากนั้นทำการหลอม ซึ่งอุณหภูมิของการหลอมจะขึ้นกับส่วนประกอบและชนิดของเส้นใย โดยปกติจะมีค่าประมาณ 1250 องศาเซลเซียส แก้วที่หลอมจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนดึงเพื่อให้เกิดเป็นเส้นใยขึ้น โดยในระหว่างการผลิตเส้นใยแก้วนั้นเส้นใยจะถูกทำลายได้ง่ายมาก ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างมาก

2.4.2 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose)¹⁴

เส้นใยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากธรรมชาติ เช่น ไม้ ใยมะพร้าว ใยฝ้าย ก่อนใช้งานต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เกิดจากเบตากลูโคส ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส¹⁴

เซลลูโลสที่ได้มาจากเนื้อไม้จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 160,000 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงสมบัติได้โดยการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล การกระจายโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญเพราะส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้มีสมบัติทางกายภาพไม่ดี และจากการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสพบว่าโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบส่วนที่เป็นผลึกจะแยกออกจากส่วนที่เป็นอสัณฐานอย่างชัดเจน

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1. การดูดซับความชื้น เซลลูโลสจะมีการดูดหรือคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ซึ่งปริมาณความชื้นในเซลลูโลสจะมีผลต่อสมบัติเชิงกล
2. การละลายและความหนืด เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้นและจะเกิดไฮโดรไลสอย่างรวดเร็วมื้อเมื่อแช่ไว้ในกรดที่อุณหภูมิห้อง
3. ความหนาแน่น พบว่าความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าไม่แน่นอน ค่าเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสจะแปรตามชนิด และอาจจะเปลี่ยนเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.5.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

เทคนิคการบดผสมแบบสองลูกกลิ้งนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1) ทำการบดและผสมของผสมที่แห้งเข้าด้วยกัน
- 2) เพื่อวิจัยและพัฒนาในห้องทดลองอันจะนำไปสู่การปฏิบัติในปริมาณที่มากขึ้นต่อไป
- 3) อุตสาหกรรมขนาดย่อมสามารถใช้ในการขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือสายเพื่อทำเป็นเม็ดต่อไป

ขนาดของลูกกลิ้งจะมีตั้งแต่ ยาว 18 เซนติเมตร กว้าง 8 เซนติเมตรถึงยาว 213 เซนติเมตร กว้าง 66 เซนติเมตร โดยจะถูกติดตั้งรวมกับส่วนของมอเตอร์และเกียร์ โดยทั่วไปความเร็วของลูกกลิ้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ และถ้ากำหนดให้อัตราการหมุนของลูกกลิ้งคงที่แล้ว ลูกกลิ้งที่มีขนาดเล็กจะหมุนด้วยอัตราเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งที่มีขนาดใหญ่เสมอ โดยทั่วไป ลูกกลิ้งตัวหลังจะเป็นตัวบังคับการขับเคลื่อนจึงมักจะมีความเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งตัวหน้าแต่ความเร็วดังกล่าวต้องมีไม่มากเกินไปกว่า 1.4 เท่าของความเร็วของลูกกลิ้งตัวหน้า ลูกกลิ้งจะหมุนเข้าหากัน ช่วยบังคับให้พอลิเมอร์เข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้สะดวกขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเกิดแรงเฉือนและผสมเข้ากัน ตัวลูกกลิ้งมักทำจากเหล็กกล้าที่ผ่านการขัดผิวหรือชุบโครเมียมบริเวณแกนกลางของลูกกลิ้งจะเป็นตัวรับความร้อนและมีสารหล่อเย็นเป็นไอน้ำ น้ำ หรือน้ำมันก็ได้

ขณะทำการทดลอง พอลิเมอร์ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดหรือผง จะถูกป้อนเข้าสู่บริเวณเหนือช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งโดยจะมีการปรับช่องว่าง ให้แคบเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดแรงเฉือนและผสมกันได้ดี ในระยะแรกจนถึงอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มหลอมจึงปรับช่องว่างให้มีความกว้างเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถผ่านลงไปตามลูกกลิ้งได้มากขึ้น ผู้ทำการทดลองต้องใช้เกรียงคัดหรือกรีดเส้นพอลิเมอร์โดยวางทับบนลูกกลิ้งเพื่อทำให้เกิดการผสมดีขึ้นจึงนับว่าเป็นเครื่องจักรที่อันตราย ผู้ทำการต้องมีความรู้ ผ่านการฝึกหัดมาอย่างดี โดยจะต้องเข้าใจและรู้จักระบบความปลอดภัยของเครื่อง เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่

เกิดจากลูกกลิ้งได้โดยความหนาของแผ่นงานสามารถกำหนดได้จากการปรับระยะระหว่างลูกกลิ้งให้เหมาะสม¹⁵

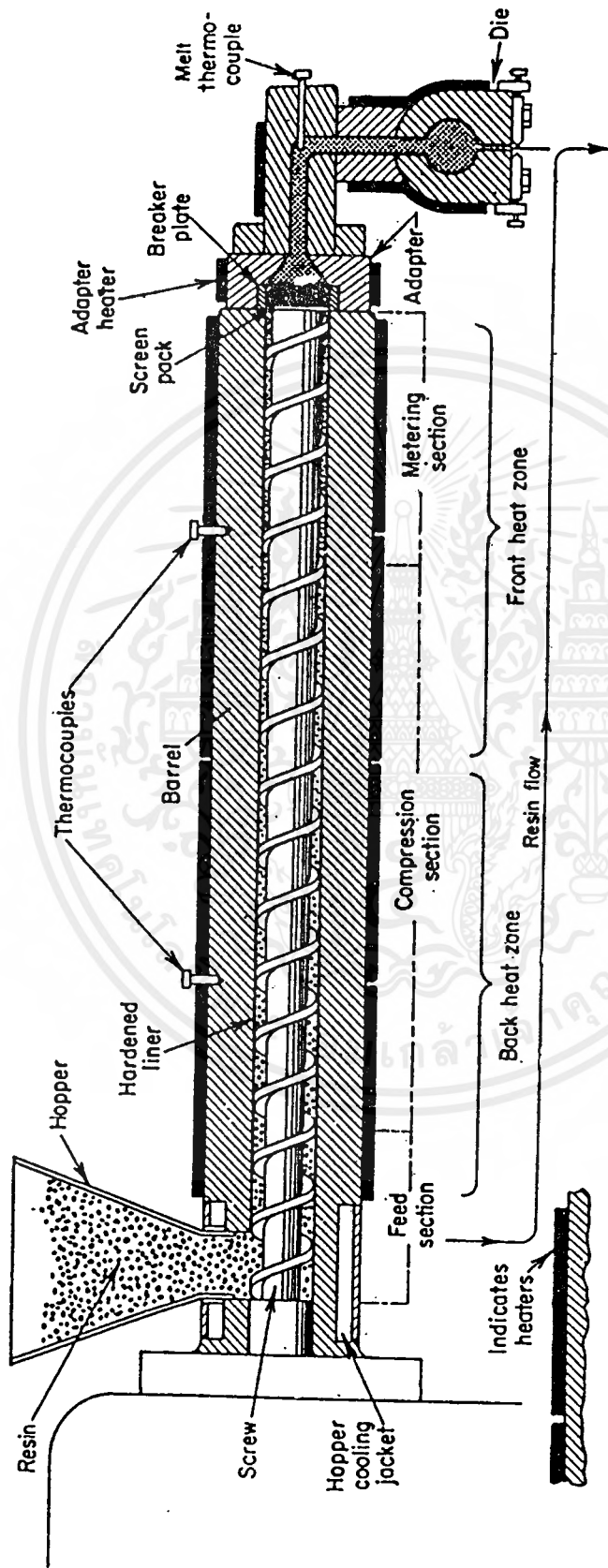
2.5.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder)

กระบวนการอัดรีด

กระบวนการอัดรีด เป็นการบังคับให้วัสดุหลอมเหลวผ่านคายน์ เพื่อให้ได้รูปร่างตามต้องการ เครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการอัดรีด เป็นเครื่องมือที่พาเอาเม็ดหรือผงพลาสติกจากจุดที่ป้อน ผ่านเข้าไปในกระบอกลอดเม็ดพลาสติกจะหลอมเหลวด้วยความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์ให้ความร้อน และแรงเสียดทานระหว่างเม็ดพลาสติกกับผนังกระบอกลอดเม็ดพลาสติกที่หลอมเหลวแล้วจะถูกอัดด้วยความดันผ่านช่องหรือรูเล็กๆ ออกมาเข้าคายน์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นรูปร่างตามต้องการ¹⁵ แสดงดังรูปที่ 2.4

ส่วนประกอบเครื่องอัดรีด

1. กระบอกลอด เป็นทรงกระบอกลอดที่มีสกรูอยู่ภายใน ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ช่องป้อนเม็ด เครื่องให้ความร้อนแก่กระบอกลอด ช่องระบายอากาศและแจ็กเกตของกระบอกลอด เพื่อสำหรับใส่ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน
2. สกรู เป็นส่วนที่หมุนอยู่ในกระบอกลอด มีหน้าที่ผสมวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์
3. Breaker plate แผ่นโลหะวงแหวนที่ขวางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวจะติดอยู่ระหว่างปลายของสกรู และคายน์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูเล็กๆ ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านออกมาด้วยความดันสูง
4. Hopper หรือ feed hopper เป็นบริเวณ หรือส่วนที่เก็บเม็ดพลาสติก เพื่อเตรียมป้อนเข้าในเครื่องอัดรีด
5. ทางระบายอากาศ หรือรูระบายอากาศ เป็นช่องแคบหรือรูขนาดเล็ก เพื่อให้อากาศที่ติดเข้าไปในระหว่างการผสมถูกขับออกไปก่อนที่พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกอัดเข้าไปในแม่พิมพ์ เป็นการป้องกันไม่ให้มีโพรงอากาศเกิดขึ้นในชิ้นงาน
6. มอเตอร์ขับเคลื่อน เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนให้กระบอกลอด และสกรู หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเครื่องอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

3.1 วัสดุ

High Density Polyethylene (HDPE)	ชนิดขวดน้ำขาวขุ่น
Low Density Polyethylene (LDPE)	บริษัท TPI
Polypropylene (PP)	บริษัท HMC
Polystyrene foam (PS foam)	โฟมที่ใช้บรรจุสิ่งของที่ใส่แล้ว
เส้นใยแก้ว (Glass fiber)	ไม้ทราบบริษัท
เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose)	ตัวรดไฟที่ใช้แล้วของการรถไฟแห่งประเทศไทย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องไมบด รุ่น NEMA 600
- เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder)
- เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)
- เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Banbury Mixer)
- เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (Injection Moulding)
- เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester)
- เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester)
- เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness DXT)

3.3 วิธีทำการทดลอง

1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์และโพรพอลิสไตรีน

1.1 การผสมพอลิโอลิฟินส์

- ผสม HDPE : LDPE : PP ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1
- นำพลาสติกมาหลอมรวมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคี้ยว
- อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมแต่ละบริเวณเท่ากับ 170 160 150 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
- อัตราเร็วของสกรูเท่ากับ 50 รอบต่อนาที
- นำพอลิโอลิฟินส์ ที่ได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมไว้ทำการผสมต่อไป

1.2 การหลอมโพรพอลิสไตรีน

- ทำการหลอมโพรพอลิสไตรีนด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
- อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส
- นำโพรพอลิสไตรีน ที่หลอมได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมไว้ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคี้ยว

หมายเหตุ จะทำการหลอมโพรพอลิสไตรีนครั้งละ 0.5 กิโลกรัม

2. การผสมพอลิโอลิฟินส์ และ โพรพอลิสไตรีน

ในโครงการวิจัยนี้จะแบ่งการผสมออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

2.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

- ผสมพอลิโอลิฟินส์กับโพรพอลิสไตรีน ตามอัตราส่วนและอุณหภูมิดังตารางที่ 3.1
- นำพอลิโอลิฟินส์ที่ได้จากข้อ 1.1 เทลงบนลูกกลิ้ง
- นำโพรพอลิสไตรีน (ที่ไม่ผ่านการหลอมข้อ 1.2) เทลงบนลูกกลิ้งผสมรวมกับพอลิโอลิฟินส์โดยใช้อุณหภูมิกับเวลาในการผสมดังตารางที่ 3.1
- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

รวบรวมข้อมูล สรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดในแต่ละอัตราส่วน

ตารางที่ 3.1 แสดงการผสมพอลิโอฟีนส์และโพรพอลิสไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อุณหภูมิ และเวลาในการผสม

อัตราส่วน PS / PO	อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลอง (องศาเซลเซียส, นาที)					
	ครั้งที่ 1 (3 นาที)		ครั้งที่ 2 (4 นาที)		ครั้งที่ 3 (5 นาที)	
	ลูกหน้า	ลูกหลัง	ลูกหน้า	ลูกหลัง	ลูกหน้า	ลูกหลัง
75/25	190	180	180	170	170	160
50/50	190	180	180	170	170	160
25/75	190	180	180	170	170	160

2.2 เครื่องจักรแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder)

ทำการผสมพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ และใช้อุณหภูมิพร้อมกับอัตราเร็วของสกรู ดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการผสมพอลิโอฟีนส์และโพรพอลิสไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อุณหภูมิ และอัตราเร็วของสกรูในการผสม

อัตราส่วน PS / PO	อุณหภูมิแต่ละ บริเวณ (องศาเซลเซียส)				อัตราเร็วรอบของสกรู (รอบ / นาที)		
	190	180	170	160	70	50	30
75/25	190	180	170	160	70	50	30
	180	170	160	150	70	50	30
	170	160	150	140	70	50	30
50/50	190	180	170	160	70	50	30
	180	170	160	150	70	50	30
	170	160	150	140	70	50	30
25/75	190	180	170	160	70	50	30
	180	170	160	150	70	50	30
	170	160	150	140	70	50	30

- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน และทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป
- รวบรวมข้อมูล สรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะอุณหภูมิและอัตราเร็วสกรูที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราส่วน

3. การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding)

- ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน พอลิโอฟีนส์
- ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โฟมพอลิสไตรีน
- ทำการขึ้นรูปชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์กับโฟมพอลิสไตรีน โดยมีสภาวะในการฉีด ดังตารางที่ 3.3



ตารางที่ 3.3 สภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์และ โฟมพอลิสไตรีน

อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป			
อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป			
NOZZLE TEMP.	180		
ZONE 1 TEMP.	170		
ZONE 2 TEMP.	160		
เวลาในการฉีดขึ้นรูป			
DIE CLS/OPN	30	MELTING	150
SID-COR ACT	0	DECOMP.	2
1 ST STG. INJ.	25	COOLING TIME	250
2 ND STG. INJ.	20	EJECTOR COUNT	1
3 RD STG. INJ.	15	SCW. FWD.	0
EJE. FWD. DLY	0	SCW. BWD. TIME1	0
MELTING DLY	0	SCW. BWD. TIME2	0
EJE. BKD. DLY	0	ALARM	500
ความเร็วในการฉีด			
RAPID LS SPD	22	1 ST STG. INJ. SPD.	40
HIGH CLS. SPD.	31	2 ND STG. INJ. SPD.	30
CLAMPING SPD.	30	3 RD STG. INJ. SPD.	30
DIE OPN. SLW.1	10	MELTING SPD.	64
RAPID OPN. SPD.	20	DECOMP.	40
DIE OPN. SLW.2	20	EJETOR SPD.	20
PLUNGER SPD.	20	SCW. IN	0
DIE ADJ. SPD.	0	DIE CHANGE	0
ความดันในการฉีด			
DIE CLS.	40	MELTING	70
CLS. SLW.	20	DECOMP	25
CLS. HIGH	30	PLUGER	25
DIE OPN.	40	EJECTOR	40
1 ST INJ.	50	SCW. IN	0
2 ND INJ.	45	DIE ADJ.	80
3 RD INJ.	40		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.1 ทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐาน ASTM D638

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปคัมเบลล์ (Dumbell)

ทดสอบด้วยสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

Crosshead speed	50	มิลลิเมตรต่อนาที
Gauge length	100	มิลลิเมตร
Load cell	5000	นิวตัน
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	6	ชิ้น

- นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

Tensile Strength : Force (N) / Area (m²)

%Elongation : $(\Delta \text{Length} / \text{Original length}) \times 100$

Modulus : Stress / Strain

4.2 การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น (Flexural Strength) มาตรฐาน ASTM D790

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นคัมเบลล์ (Dumbell) มาทดสอบดังนี้

Crosshead speed	10	มิลลิเมตรต่อนาที
Gauge length	6	มิลลิเมตร
Load cell	5000	นิวตัน
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	5	ชิ้น

4.3 การทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Notched Impact Strength)

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาทดสอบแรงกระแทก

มาตรฐาน ASTM D256

Load cell	30	กิโลกรัม
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	6	ชิ้น

4.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามแบบ Shore D มาตรฐาน ASTM D2240

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	6	ครั้งต่อชิ้นงาน
--------------------	---	-----------------

5. การเติมสารเติมแต่ง

5.1 เลือกสถานะที่เหมาะสมระหว่างพอลิโอฟีนส์และโพลีพอลิस्टาไครินที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ดังนี้

- เส้นใยแก้ว (Glass fiber) ทำการผสมเส้นใยแก้วในปริมาณประมาณ 5% ลงในอัตราส่วนต่างๆ ตามสถานะที่เลือก

- เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) ทำการผสมเส้นใยเซลลูโลสในปริมาณประมาณ 5% ลงในอัตราส่วนต่างๆ ตามสถานะที่เลือก

5.2 นำพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเติมแต่งแล้วมาทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลโดยไม่เติมสารเติมแต่ง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำเอาพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันมาผสมรวมกันโดยไม่เกิดพันธะเคมีต่อกัน ซึ่งความสามารถในการเข้ากันได้ นั้นสามารถพิจารณาได้จากค่า Solubility Parameter ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของพอลิเมอร์แต่ละชนิด (ตารางที่ 2.1) และอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลคือสภาวะที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ โดยส่วนใหญ่พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมแต่ละชนิดมีค่าความสามารถในการละลายแตกต่างกันหรือนำมาผสมในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เพื่อเป็นตัวช่วยเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสม จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์

ทำการศึกษาค่าสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ทั้งสองชนิด เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์

Polymer	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
PS	2809.0	42.77	8.18	2.563	75.79
PO	303.0	21.24	35.8	0.416	53.25

4.2 การศึกษาสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ

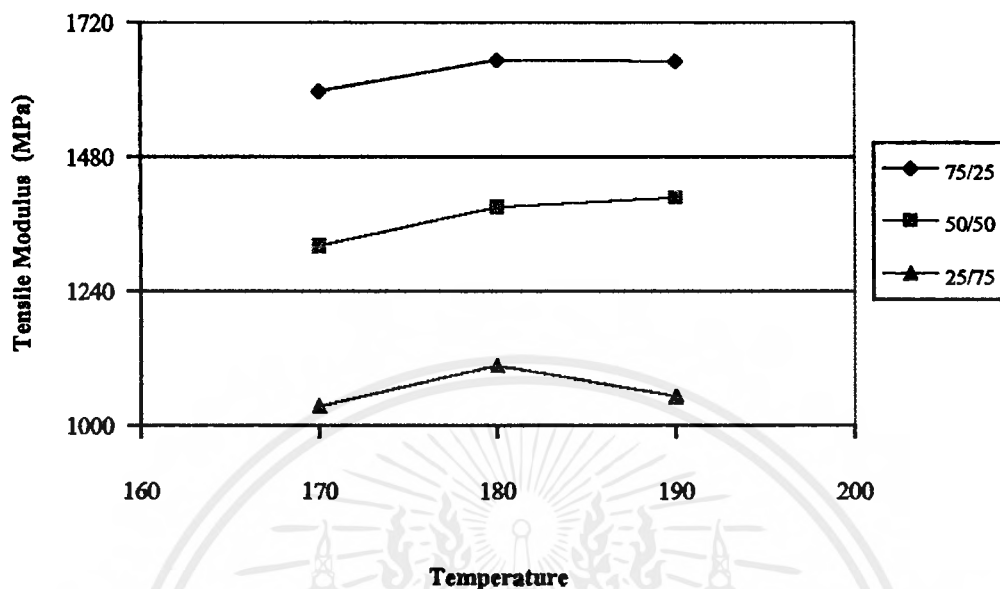
4.2.1 ผลของสมบัติเชิงกลโดยกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของลูกกลิ้งและเวลาในกระบวนการผสมต้องสัมพันธ์กันซึ่งถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้เกิดการสูญเสียสภาพทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผสมต่ำเกินไปพอลิเมอร์ผสมจะเข้ากันได้ไม่ดีซึ่งมีผลทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลงเช่นกัน สมบัติเชิงกลที่ได้จากการวิจัยสามารถแสดงได้ดังภาคผนวกที่ 1 และสามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.1-4.5

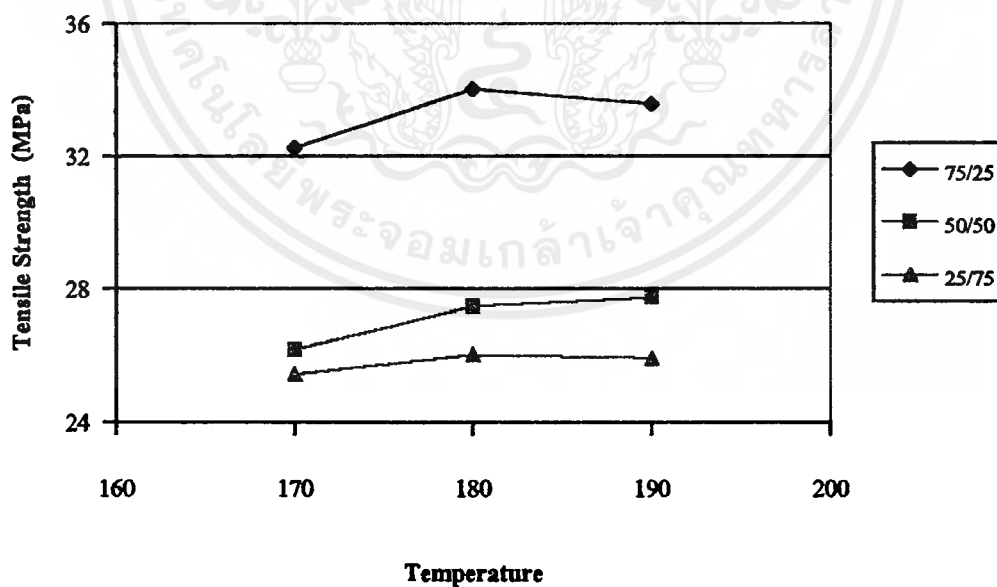
จากผลการทดลองรูปที่ 4.1-4.5 เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนผสมของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์คงที่ สมบัติเชิงกล (มอดุลัสของการดึง ความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงยึดหยุ่นและความแข็ง) มีแนวโน้มเคียวกันกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเพิ่มขึ้นสมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นช่วยให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมเกิดการคลายตัวและเกี่ยวพันเข้าด้วยกันมากขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีแต่ถ้าให้อัตราส่วนผสมของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์เปลี่ยนไปโดยกำหนดอุณหภูมิในการผสมคงที่ พบว่าอัตราส่วนผสมที่มีโพลีพอลิสไตรีนอยู่มาก (75/25) ให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวม (มอดุลัสของการดึง ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงยึดหยุ่นและความแข็ง) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนอื่นๆ นั้นแสดงว่าโพลีพอลิสไตรีนที่มีโครงสร้างของสายโซ่เป็นวงแหวนเบนซีนอยู่ในโมเลกุลมีส่วนช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนผสมที่มีโพลีพอลิสไตรีนอยู่น้อย (25/75) ให้ค่าสมบัติเชิงกล (ความทนทานต่อแรงกระแทก) ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม (รูปที่ 4.1-4.5) กับโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ (ตารางที่ 4.1) พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าอยู่ในระหว่างสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ยกเว้นค่าความทนทานต่อแรงกระแทกที่มีค่าแตกต่างไปจากเดิม ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของโพลีพอลิสไตรีนที่มีต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโอลิฟินส์

ดังนั้นจากผลการทดลอง (รูปที่ 4.1-4.5) สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์แต่ละอัตราส่วนได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่อัตราส่วน 75/25 และ 25/75 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์ผสมคือ 180°C โดยมีเวลาที่ใช้ในการผสมเป็น 4 นาที สำหรับที่อัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 190°C เวลาในการผสมเป็น 3 นาที อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการหลอมรวมกันได้ดีที่สุดส่งผลให้สมบัติเชิงกลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

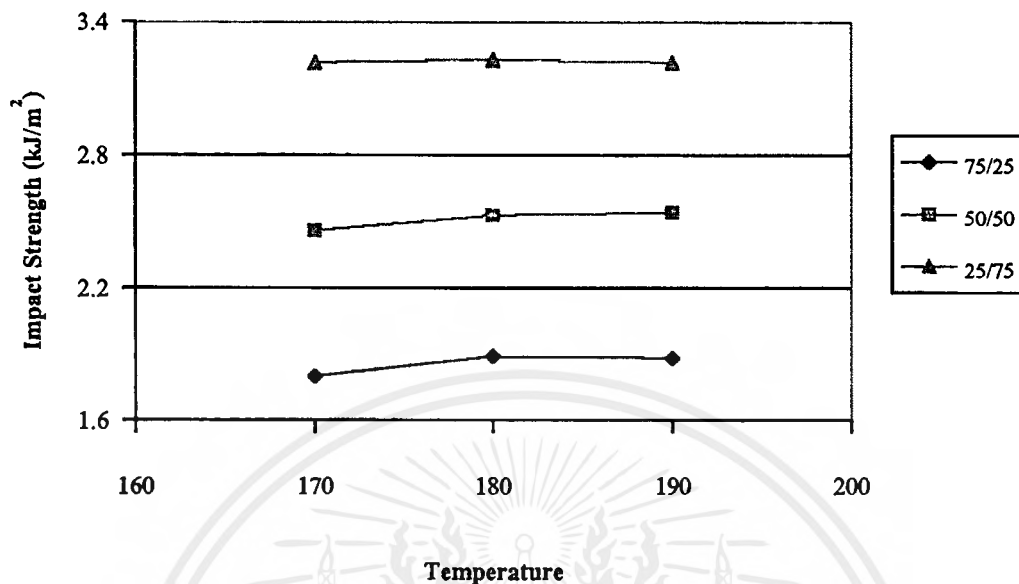


รูปที่ 4.1 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

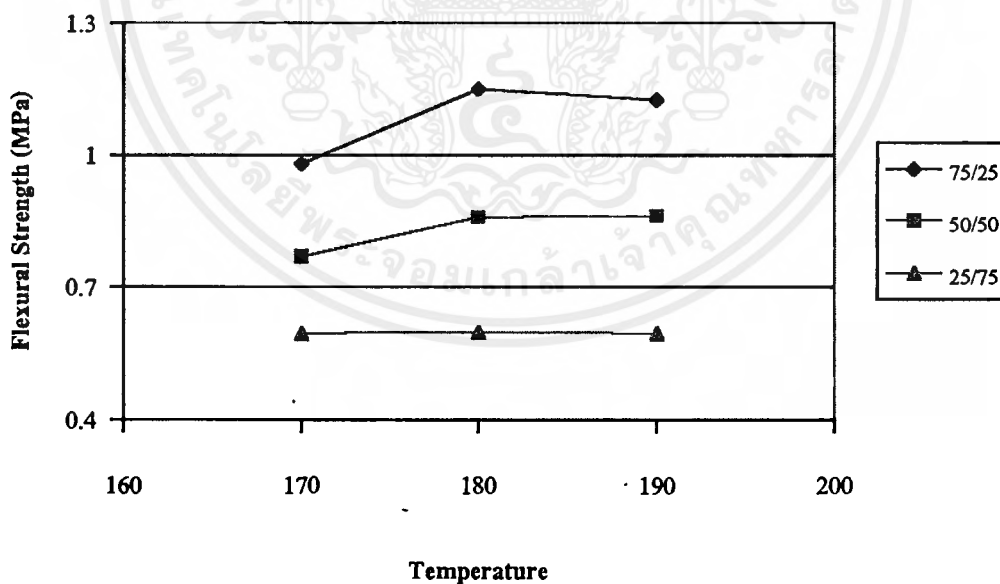


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

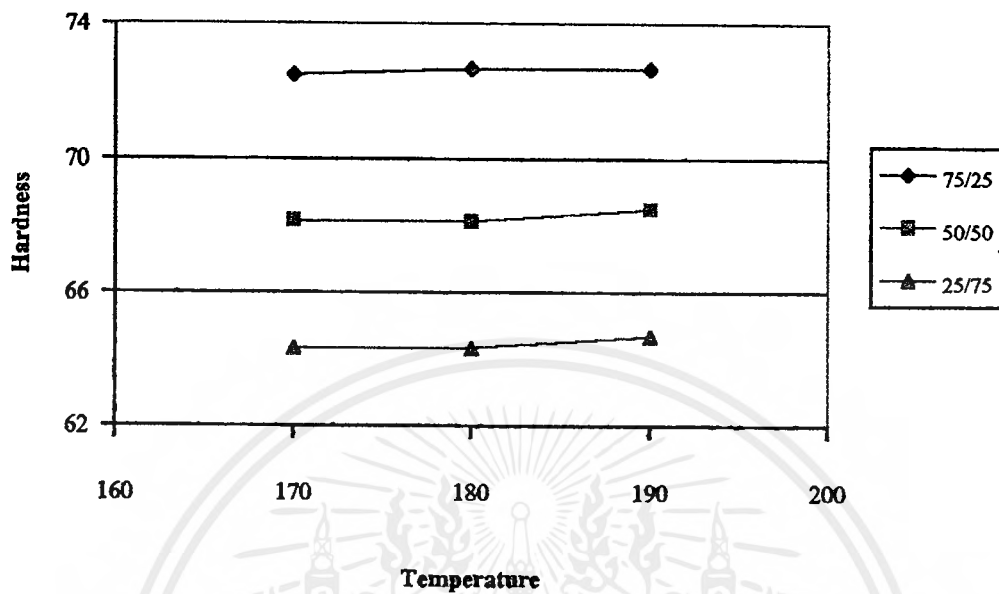


รูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

ตารางที่ 4.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมและค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน PS/PO	อุณหภูมิลูกกลิ้งที่ใช้ในการผสม (°C)		Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	หน้า	หลัง					
75/25	180	170	1652.2	34.02	1.89	1.151	72.67
50/50	190	180	1407.0	27.74	2.54	0.8622	68.17
25/75	180	170	1052.0	26.03	3.23	0.5983	64.33

4.2.2 ผลของสมบัติเชิงกล โดยกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในกระบวนการผสมพอลิเมอร์ ชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผสมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการผสมในแต่ละบริเวณและอัตราเร็วรอบของสกรู ดังนั้นในสภาวะการผสมที่ดีจึงต้องมีความสัมพันธ์กันทั้ง อุณหภูมิและอัตราเร็วรอบของสกรูที่เหมาะสมซึ่งสามารถแสดงได้ในภาคผนวกที่ 2 และนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.6-4.20

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.6-4.8 ค่ามอดูลัสของการดึงที่ได้จากอัตราส่วนผสมของโพรพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ที่ 75/25 ให้ค่าสูงสุดแต่เมื่อเพิ่มความเร็วของสกรูค่ามอดูลัสของการดึงลดลงเนื่องจากเวลาของการผสมน้อยลงไปนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมให้สูงขึ้นค่ามอดูลัสของการดึงจะสูงขึ้นด้วยเพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยที่โพรพอลิสไตรีนมีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสของการดึงมากกว่าพอลิโอลิฟินส์ ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับในกรณีที่ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

จากรูปที่ 4.9-4.11 ค่าความแข็งแรงดึงยังคงสูงสุดที่อัตราส่วน 75/25 และอัตราส่วน 50/50 ถ้ากำหนดให้อัตราเร็วของสกรูคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น ในกรณีให้อัตราส่วนคงที่เมื่อเพิ่มความเร็วของสกรูพบว่าความแข็งแรงดึงลดต่ำลง จากผลที่ได้จะเห็นว่าโพรพอลิสไตรีนยังคงมีบทบาทสำคัญต่อค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าพอลิโอลิฟินส์

จากรูปที่ 4.12-4.14 ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุดที่อัตราส่วน 25/75 50/50 และ 75/25 ตามลำดับและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมให้สูงขึ้นค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่มีผลตรงกันข้ามกับการเพิ่มความเร็วของสกรู จากผลที่ได้พบว่าโพรพอลิสไตรีนยังคงมีบทบาทที่สำคัญต่อค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง

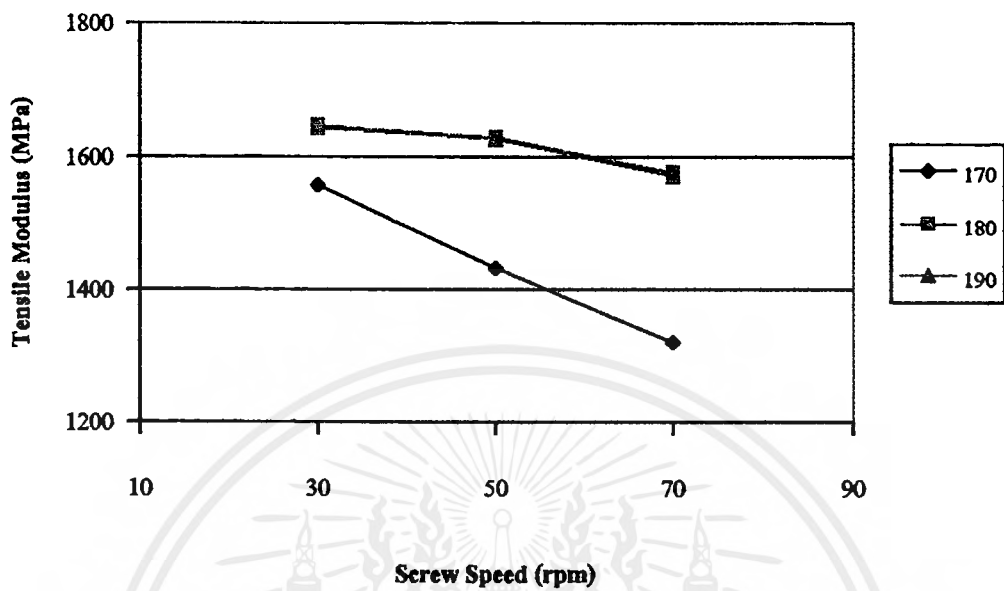
จากรูปที่ 4.15-4.17 ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นในอัตราส่วนผสม 75/25 ให้ค่าสูงสุดที่ความเร็วสกรูครั้งที่ 4 ทำการเพิ่มความเร็วยกของสกรูค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นกลับลดลงและถ้าเพิ่มอุณหภูมิการผสมให้มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นลดลงชกเว้นที่อัตราส่วน 50/50 ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับค่าความแข็งแรงดึง จากผลทั้งหมดคงแสดงให้เห็นว่าโฟมพอลิสไตรีนมีบทบาทต่อค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นมากกว่าพอลิโพลีฟินส์

จากรูปที่ 4.18-4.20 พบว่าที่อัตราส่วน 75/25 ให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุด และมีแนวโน้มค่าลงเมื่อปริมาณของโฟมพอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมน้อยลง ที่ความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงลดลงเช่นกัน ส่วนที่อัตราส่วน 50/50 เมื่ออุณหภูมิในการผสมมากขึ้นในสภาวะที่เหมาะสมให้ค่าความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ก็อีกว่าอิทธิพลของโฟมพอลิสไตรีนส่งผลต่อความแข็งแรงมากกว่าพอลิโพลีฟินส์

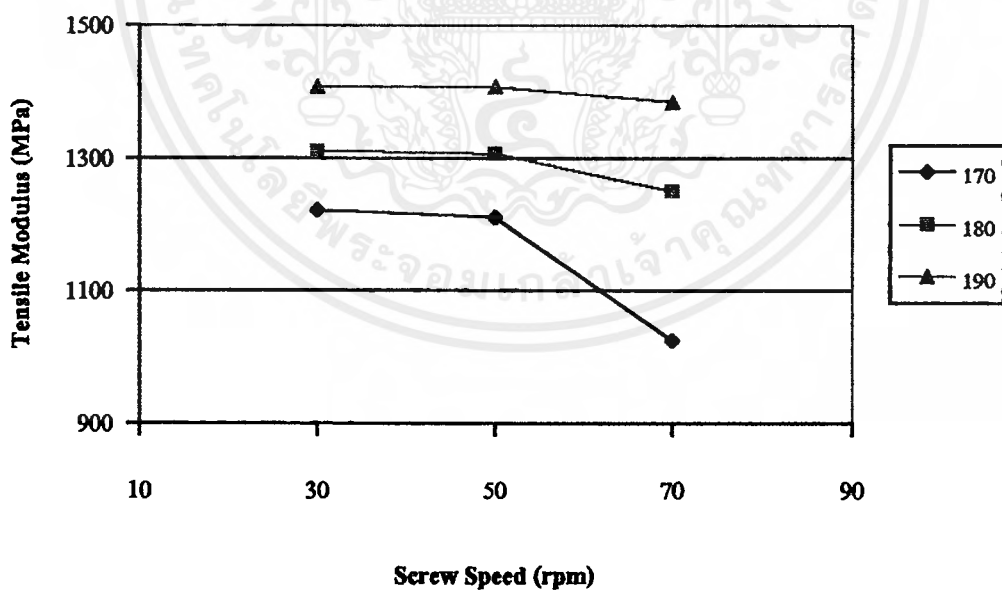
จากผลการทดลองทั้งหมด (รูปที่ 4.6-4.20) สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์แต่ละอัตราส่วนได้ดังตารางที่ 4.3 คือ อัตราส่วนที่ 75/25 และ 25/75 ใช้อุณหภูมิในการผสมแต่ละบริเวณของเครื่องดังนี้ 180°C 170°C 160°C และ 150°C อัตราเร็วรอบของสกรู 30-50 รอบต่อนาที สำหรับที่อัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมแต่ละบริเวณของเครื่องเป็น 190°C 180°C 170°C และ 160°C อัตราเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที เนื่องจากสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะการผสมที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมตัวกัน ได้ดีที่สุดส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย

สมบัติเชิงกลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว (ภาคผนวกที่ 1 และ 2) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของพอลิโพลีฟินส์และโฟมพอลิสไตรีน (ดังตารางที่ 4.1) พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าอยู่ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิโพลีฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนแต่พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มแสดงค่าสมบัติเชิงกลไปทางโฟมพอลิสไตรีนมากกว่าที่เป็นเช่นนี้เพราะ โฟมพอลิสไตรีนมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโพลีฟินส์ โดยสรุปกล่าวได้ว่า ที่อัตราส่วน 75/25 ให้ค่ามอดุลัสของการดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นและค่าความแข็งแรงมากที่สุดแต่ที่อัตราส่วน 25/75 ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมากที่สุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้งกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโคจรรวม (รูปที่ 4.1-4.20) พบว่าค่ามอดุลัสของการคั่งของกระบวนการผสมจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้งมีค่าที่มากกว่าการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้ในกระบวนการผสม โดยในกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้งใช้โฟมพอลิสไตรีนที่เป็นเม็ดโฟมโดยไม่ผ่านการหลอมมาใช้ในการผสมจึงยังคงมีสมบัติของโฟม ซึ่งส่งผลต่อพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีระยะฮีดที่ต่ำลง ดังนั้นค่ามอดุลัสของการคั่งจึงสูงขึ้น แต่สำหรับกระบวนการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวใช้โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านการหลอมมาแล้วหนึ่งครั้ง ทำให้สมบัติความเป็นโฟมลดลง ดังนั้นค่าระยะการคั่งฮีดของพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นทำให้ค่ามอดุลัสของการคั่งลดลง เมื่อพิจารณาค่าความทนทานต่อแรงกระทำ ค่าความแข็งแรงคั่ง ค่าความแข็งแรงฮีดหุ่ย พบว่าการหลอมโฟมพอลิสไตรีนก่อนหนึ่งครั้งไม่ทำให้สมบัติเชิงกลลดลงมากนักเพราะสายโซ่โมเลกุลของโฟมพอลิสไตรีนยังไม่ขาดมากพอที่ทำให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลงค่าเหล่านี้จึงมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้ง

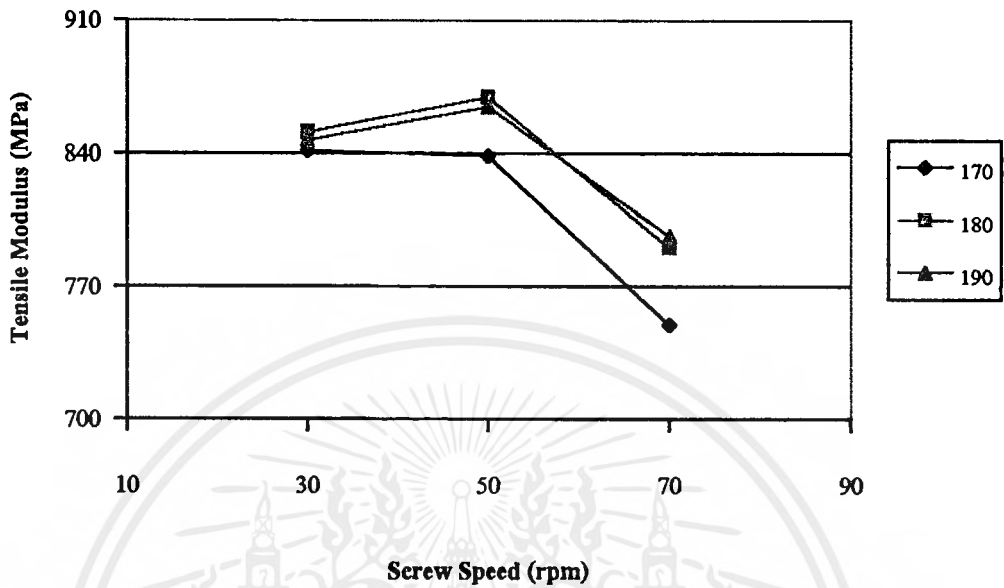


รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคีซว อัตราส่วน 75/25

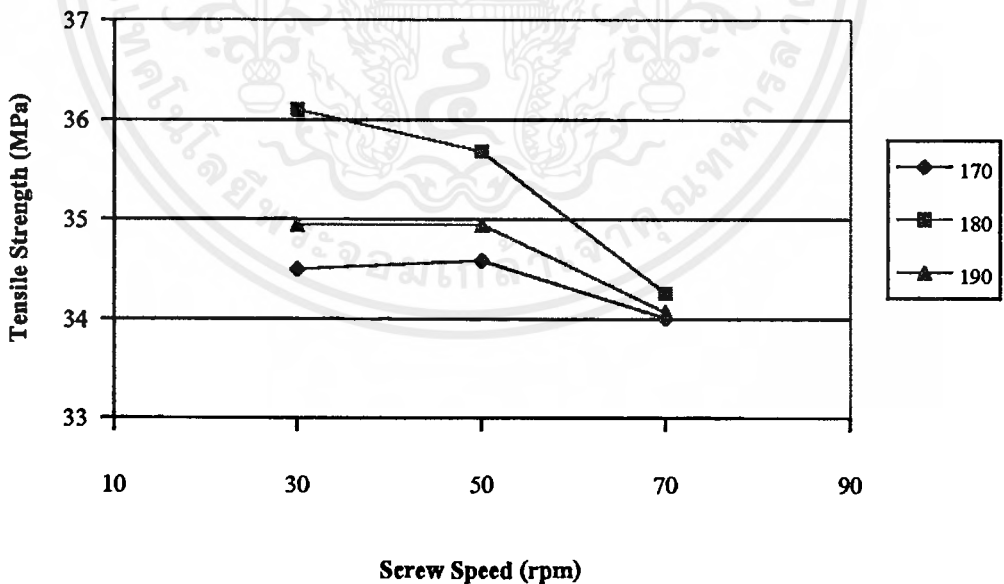


รูปที่ 4.7 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคีซว อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

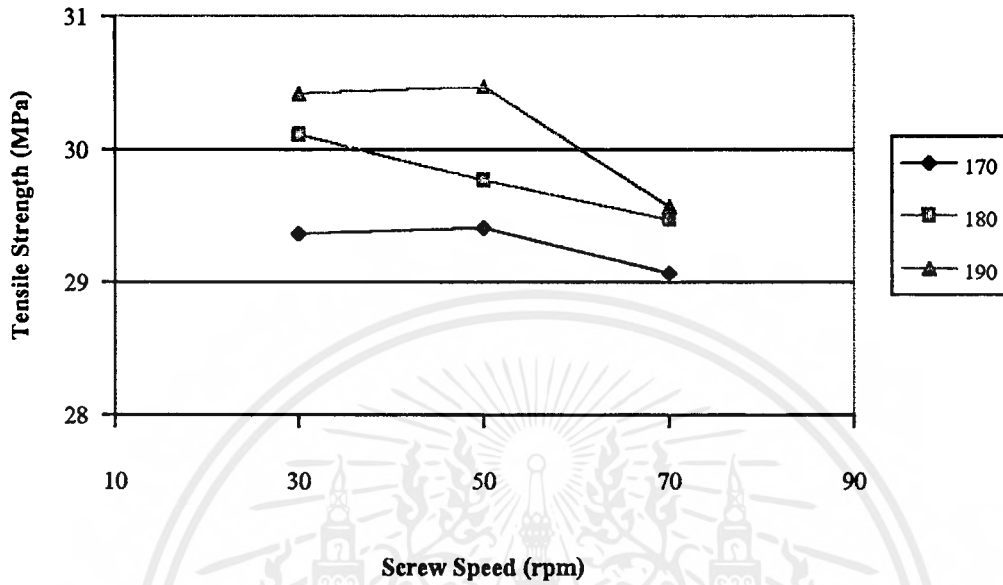


รูปที่ 4.8 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

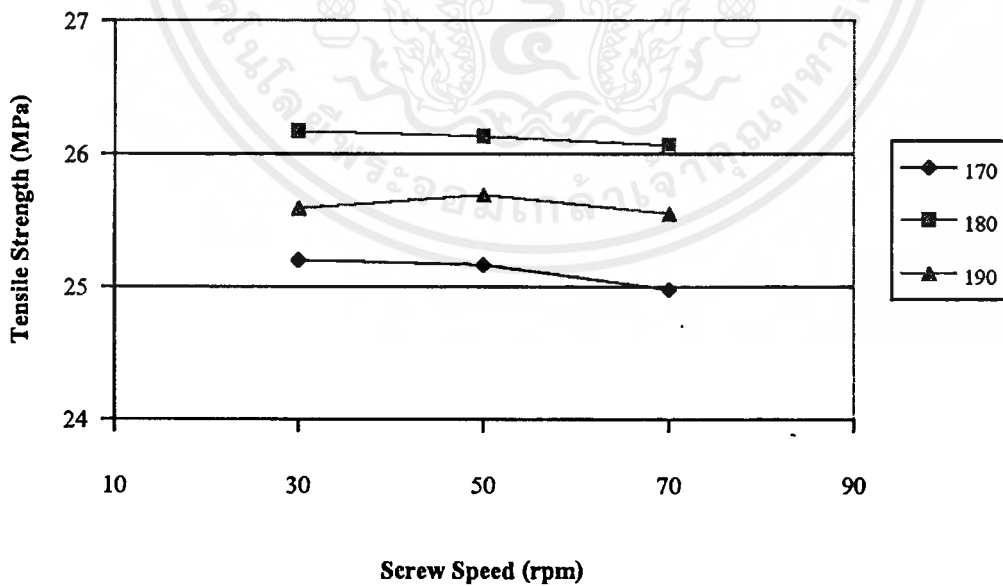


รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

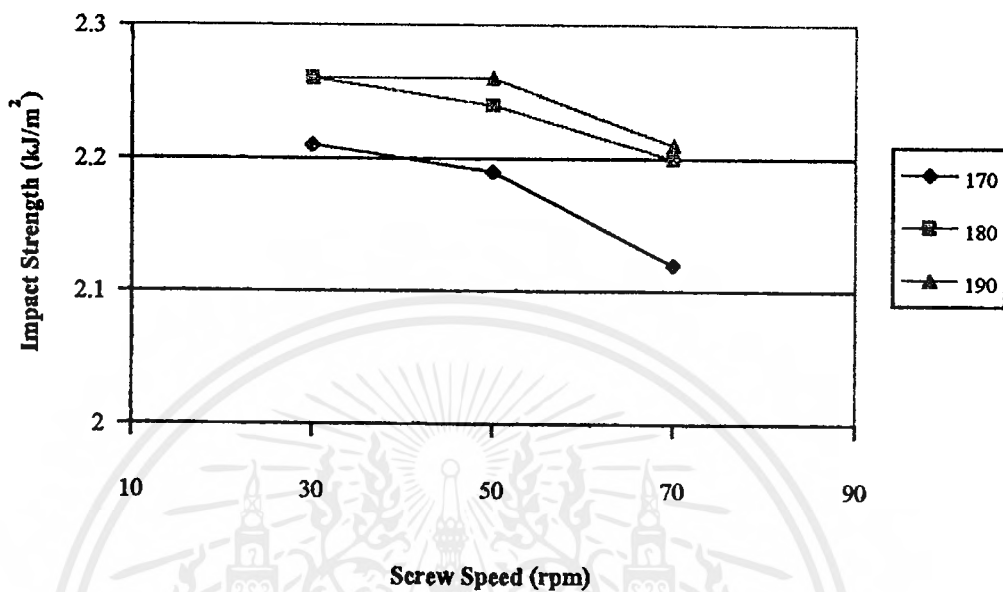
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



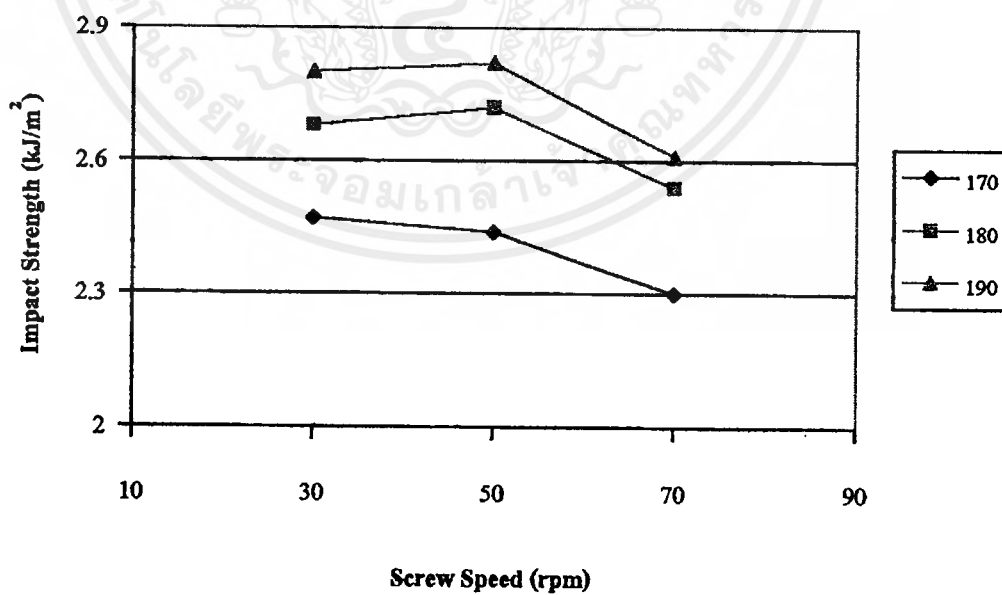
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

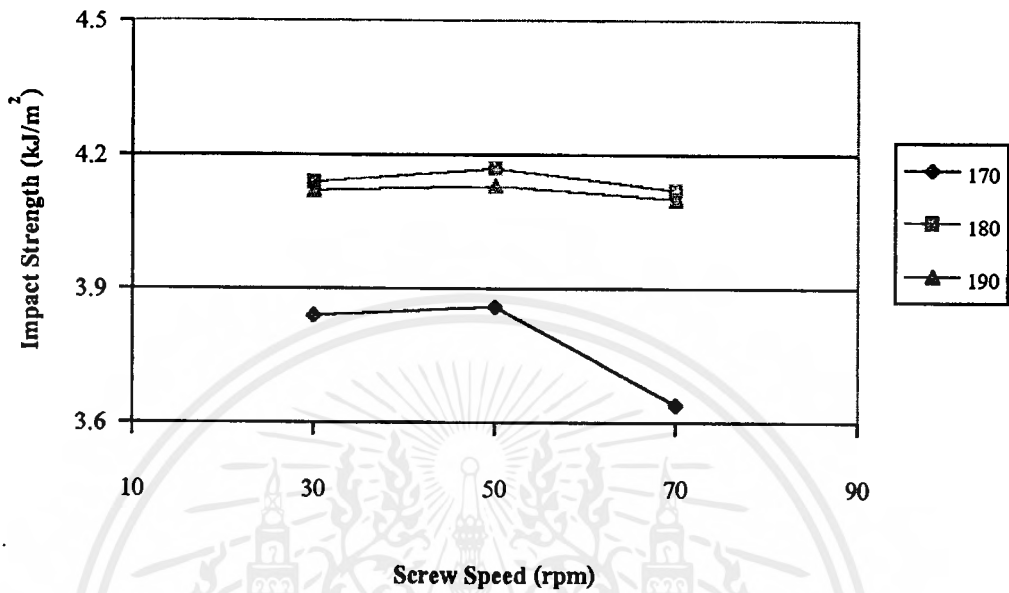


รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

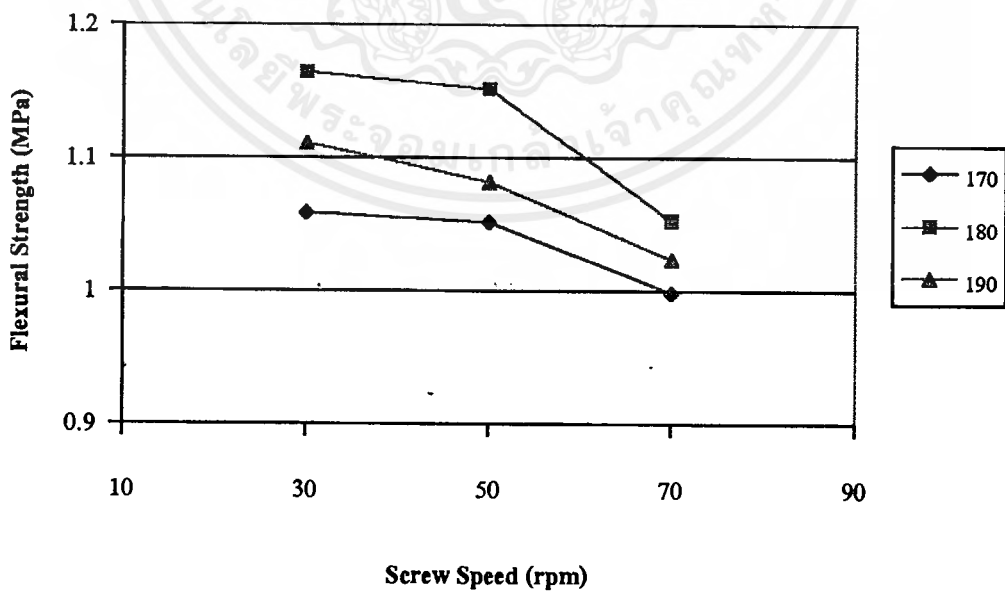


รูปที่ 4.13 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

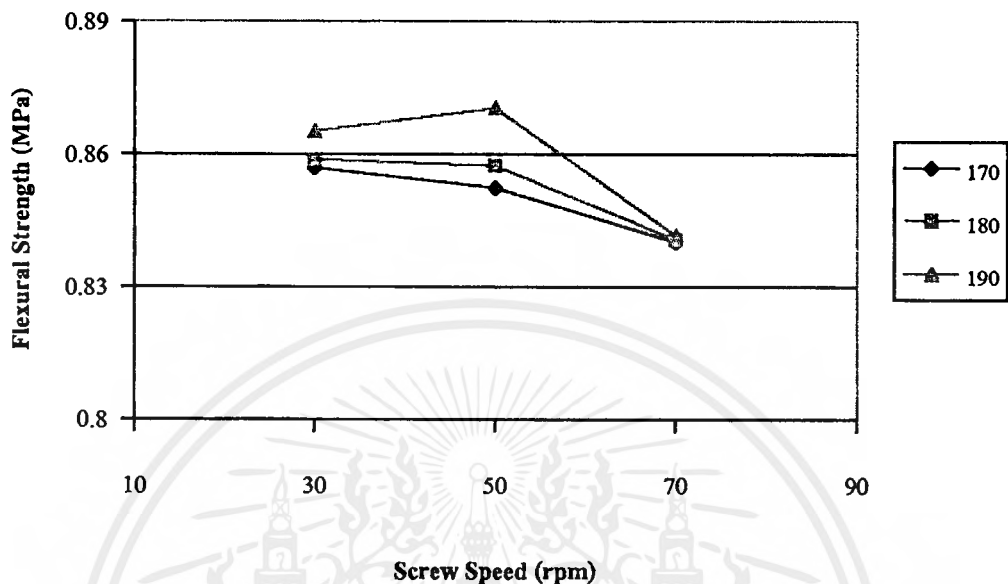


รูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

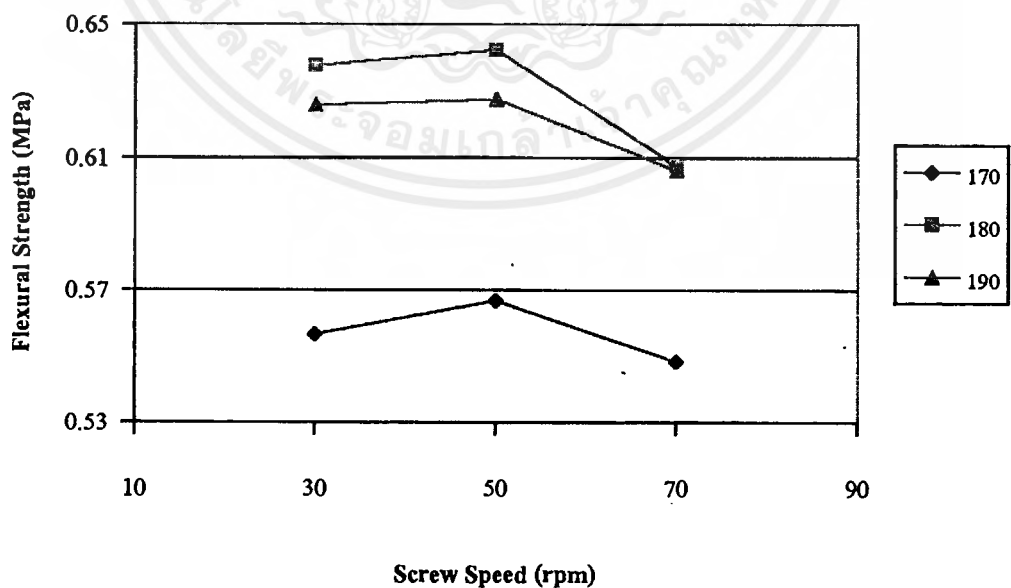


รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งแรงเชิงยืดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

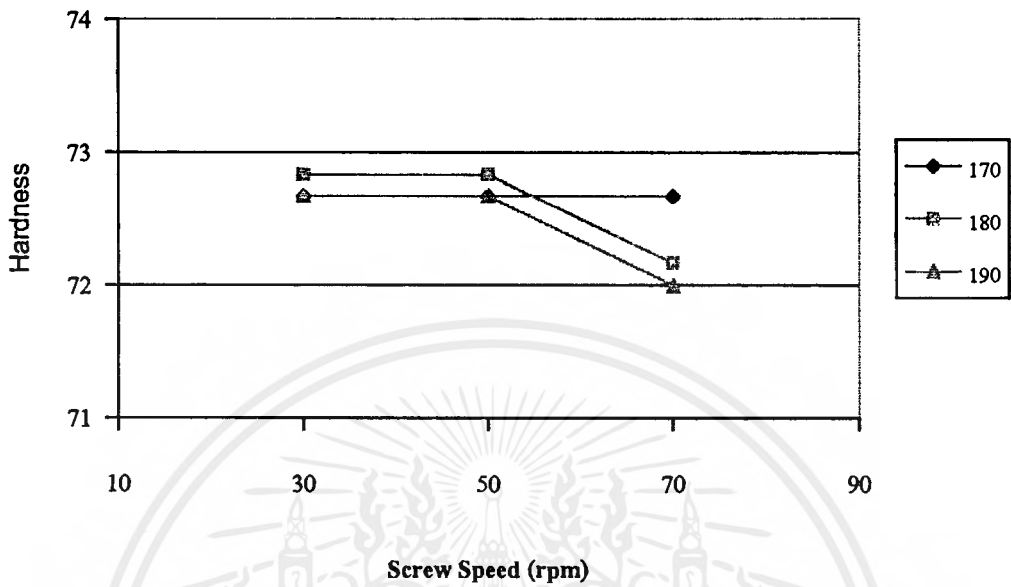


รูปที่ 4.16 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

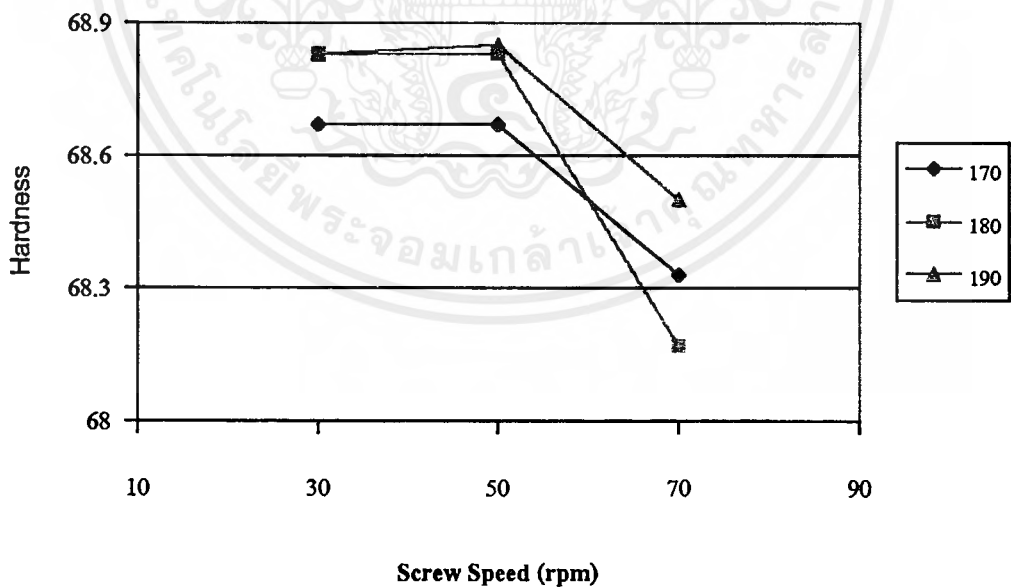


รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

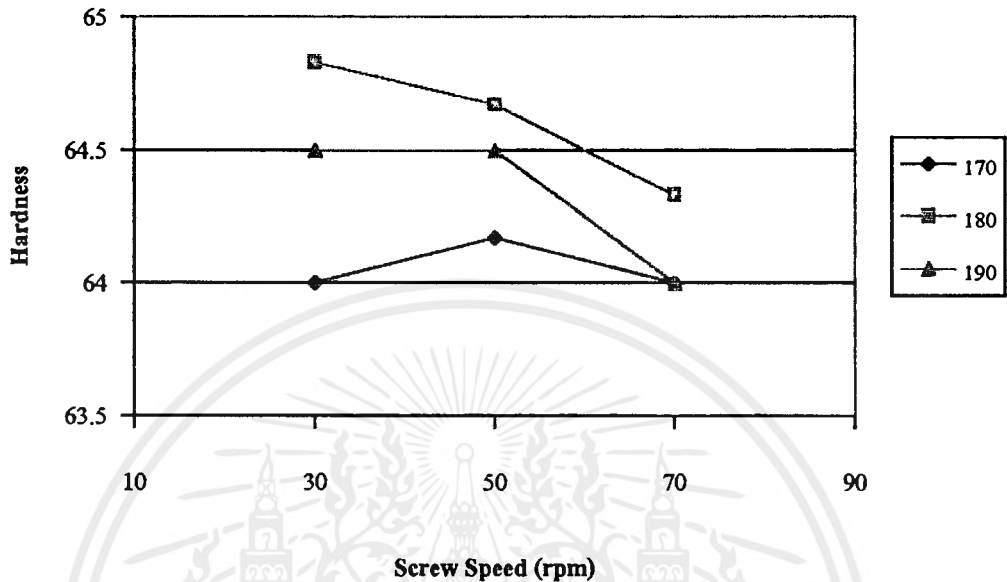


รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

ตารางที่ 4.3 สรุปสภาวะที่เหมาะสมและค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตราส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม ($^{\circ}\text{C}$) แต่ละบริเวณ .				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m^2)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	180	170	160	150						
75/25	180	170	160	150	30	1647.0	36.10	2.26	1.164	72.83
50/50	190	180	170	160	50	1407.0	30.47	2.82	0.8714	68.85
25/75	180	170	160	150	50	869.3	26.13	4.17	0.6423	64.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยว และผลที่ควรเป็นตามทฤษฎี

จากตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลของพอลิโอลิฟินส์และโพลีเอทิลีนไทรอินเมื่อนำพอลิเมอร์สองชนิดนี้มาผสมกันจะสามารถหาค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีได้จากกฎของการผสม¹⁶ (Rule's of mixture) ดังสมการ

$$P = P_1V_1 + P_2V_2$$

P คือ ค่าสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสม

P_1 และ P_2 คือ ค่าสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีของโพลีเอทิลีนไทรอินและพอลิโอลิฟินส์

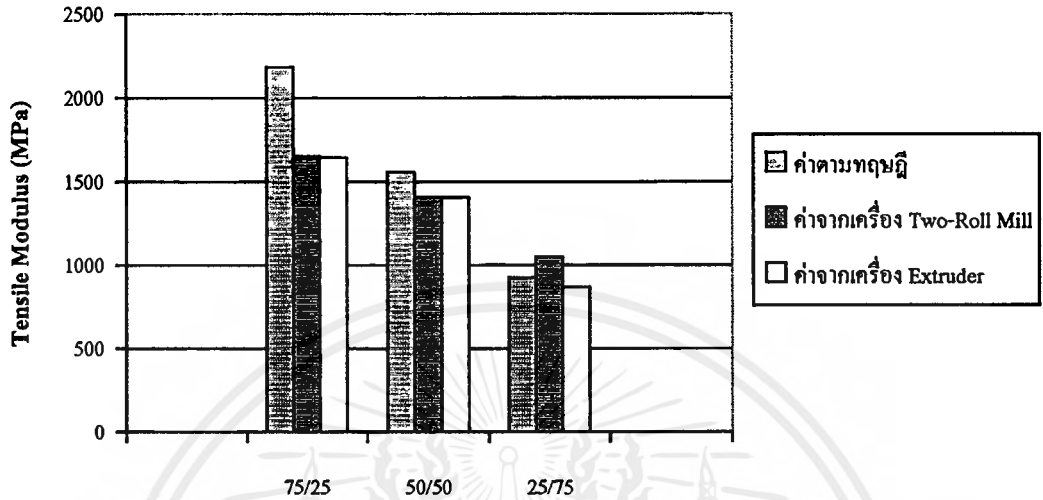
V_1 และ V_2 คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ผสม

จากสมการของกฎการผสมสามารถคำนวณหาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสมได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสม

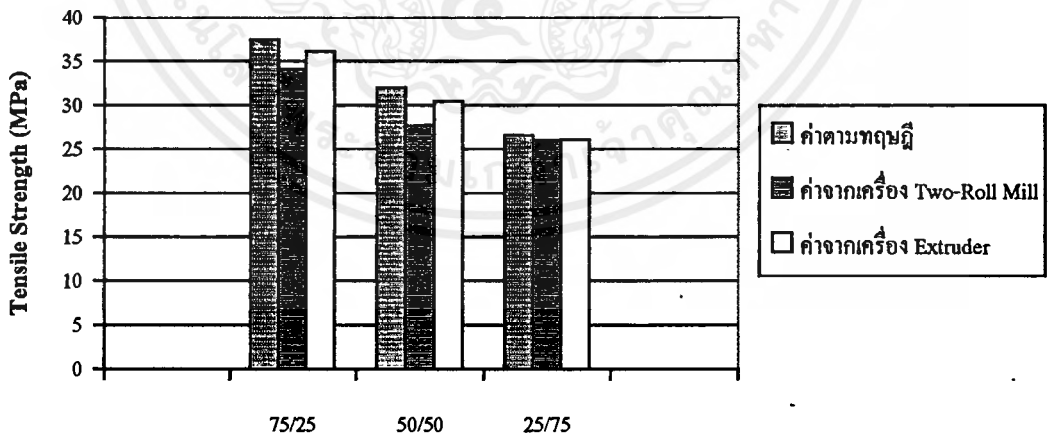
อัตราส่วน	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
75/25	2182.5	37.39	15.08	2.022	70.15
50/50	1556.0	32.00	21.99	1.53	64.51
25/75	929.5	26.62	28.89	0.94	58.87

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 มาทำการเปรียบเทียบผลได้
ดังรูปที่ 4.21-4.25 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนจากค่าตาม
ทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์แต่ละชนิด เช่น จุดหลอม
เหลว ค่าความสามารถในการละลาย เป็นต้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมกันได้เป็น
เนื้อเดียวกันทั้งหมด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความสามารถในการละลายพบว่าพอลิเอทิลีนมีค่า
ใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีนจึงสามารถผสมรวมกันได้บางส่วน แต่เมื่อนำมาผสมรวมกับโพลี
พอลิสไตรีนซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีทั้งส่วนที่รวมเป็นเนื้อ
เดียวกันและส่วนที่แยกตัวออกจากกัน ดังนั้นสมบัติเชิงกลที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมจึงต่ำกว่าที่ควร
จะเป็น และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลในแต่ละอัตราส่วนโดยพิจารณาจากสมบัติ
เชิงกลตามทฤษฎีพบว่าที่อัตราส่วน 25/75 ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากกระบวนการผสมทั้งสอง
ใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีมากที่สุดยกเว้นในกรณีของความทนทานต่อแรง
กระแทกที่ให้ผลต่างไปจากทฤษฎีโดยรวม จึงอาจสรุปได้ว่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วน
ที่มีความเหมาะสมในการผสมโพลีพอลิสไตรีนกับพอลิโพลีฟีนีลตามทฤษฎีแต่ในทางปฏิบัติ
การใช้พอลิเมอร์ผสมที่ 25/75 ให้สมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 75/25 ดังนั้นจึงควร
พิจารณาถึงลักษณะของงานที่นำไปใช้เป็นอย่างสำคัญ



อัตราส่วน PS/PO

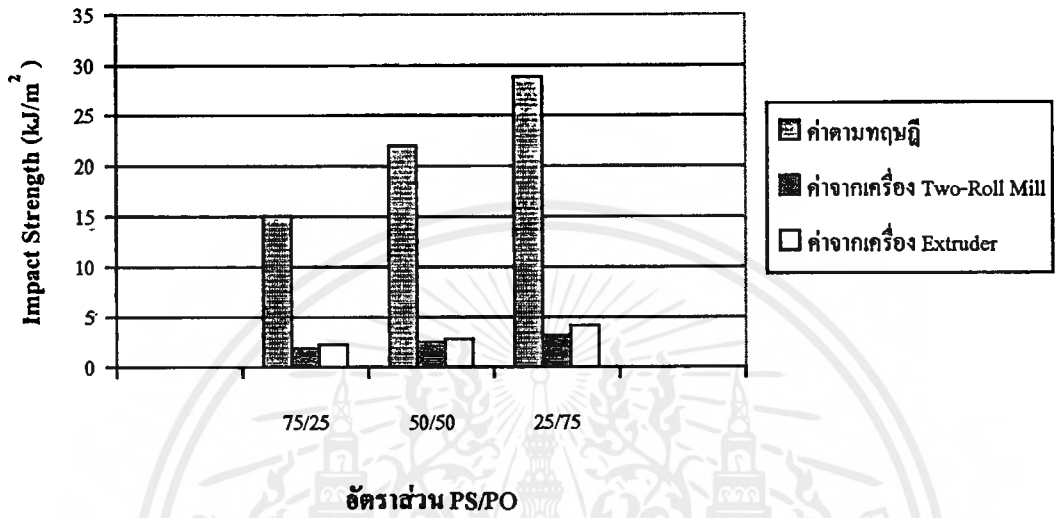
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของการดึง



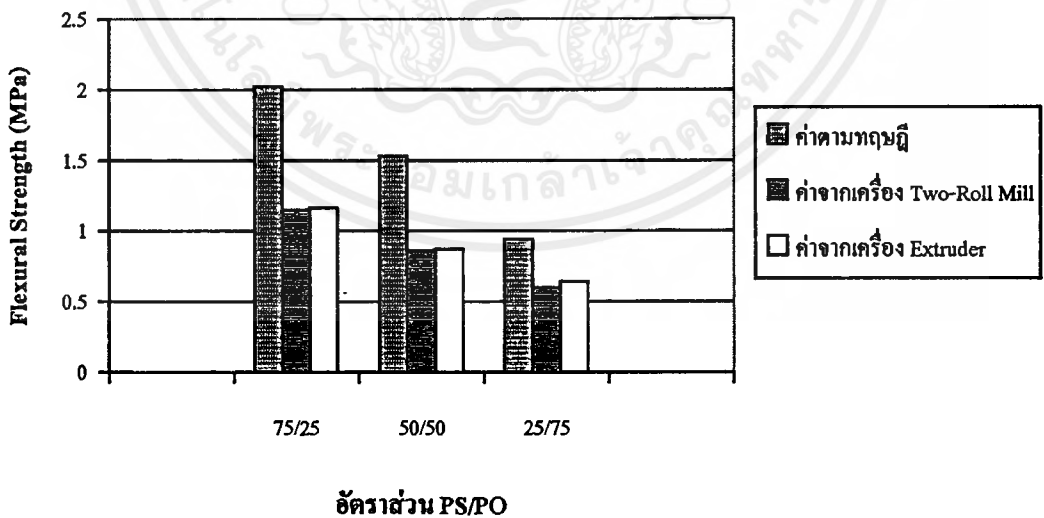
อัตราส่วน PS/PO

รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

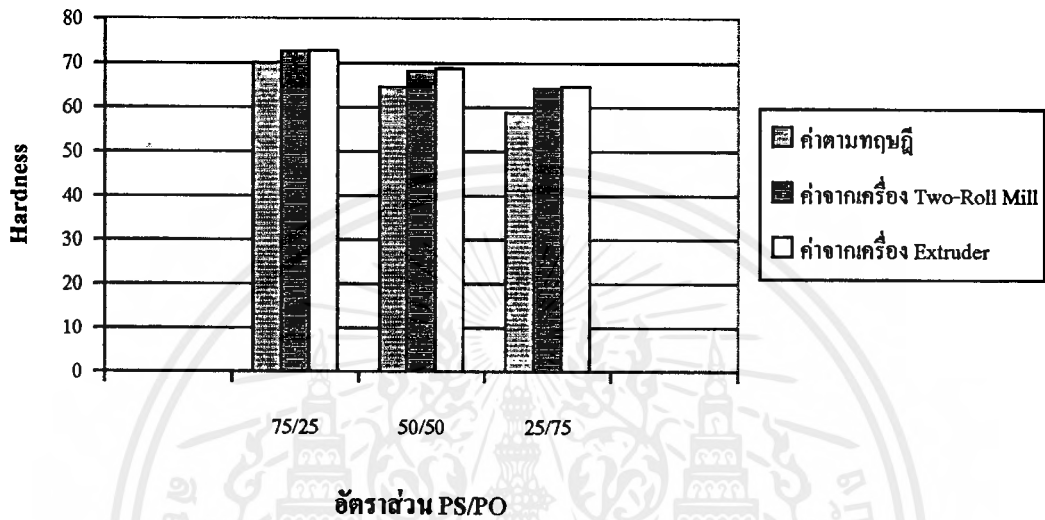


รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแรงยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

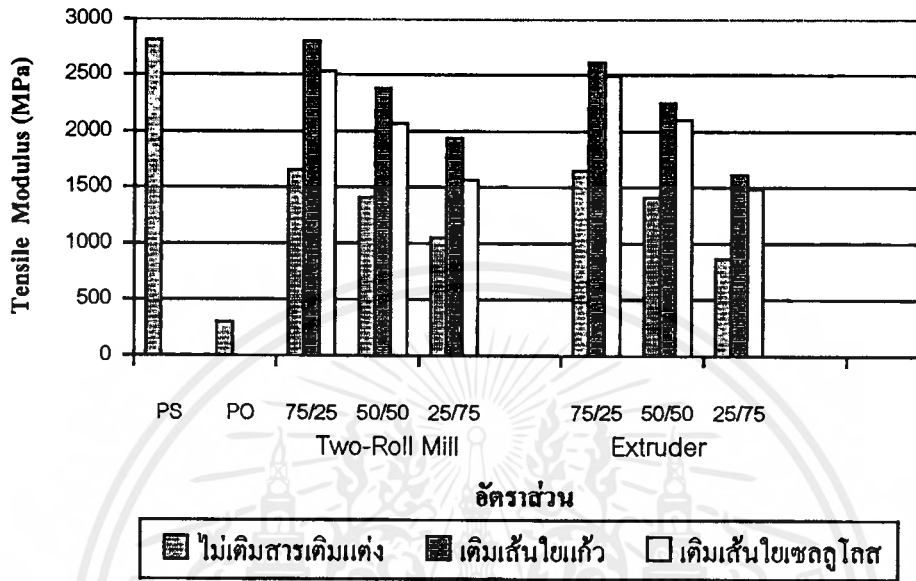


รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง

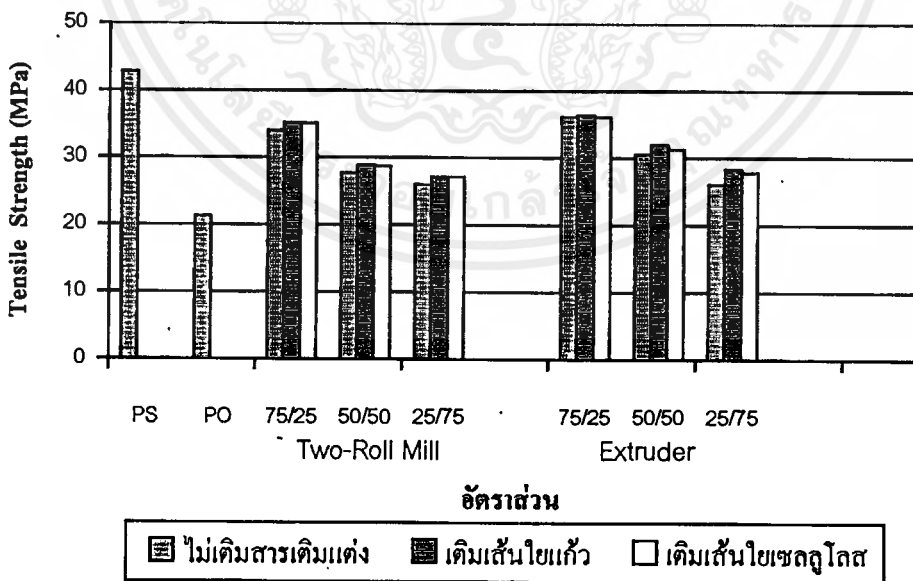
4.3 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง

จากรูป 4.26-4.30 เมื่อเปรียบเทียบโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสมพบว่าสมบัติเชิงกลโดยประมาณเป็นผลเฉลี่ยระหว่างพอลิเมอร์ผสม โดยมีโฟมพอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีบทบาทต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ งานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยแก้วชนิดสั้นและเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากตัวรถไฟที่ใช้แล้วเติมลงไป 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากรูปพบว่าแนวโน้มของสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่ง เพราะลักษณะที่เป็นเส้นใยของสารเติมแต่งช่วยในการเสริมแรงทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นยกเว้นค่าความแข็งเนื่องจากเส้นใยที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมจะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ผสมทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้น เมื่อทำการทดสอบความแข็งจึงได้ค่าความแข็งต่ำลงแต่อย่างไรก็ตามเส้นใยแก้วให้ค่าความแข็งมากกว่าเส้นใยเซลลูโลสเมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลอื่นๆ ระหว่างเส้นใยแก้วกับเส้นใยเซลลูโลสพบว่าสมบัติเชิงกลหลังจากเติมเส้นใยแก้วมากกว่าเติมเส้นใยเซลลูโลสเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะเส้นใยแก้วมีลักษณะเส้นใยที่แข็งแรงกว่า การกระจายตัวและการจัดเรียงทิศทางของเส้นใยดีกว่า ทำให้สามารถเข้าไปแทรกอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้ดี ทำให้เส้นใยแก้วมีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่า

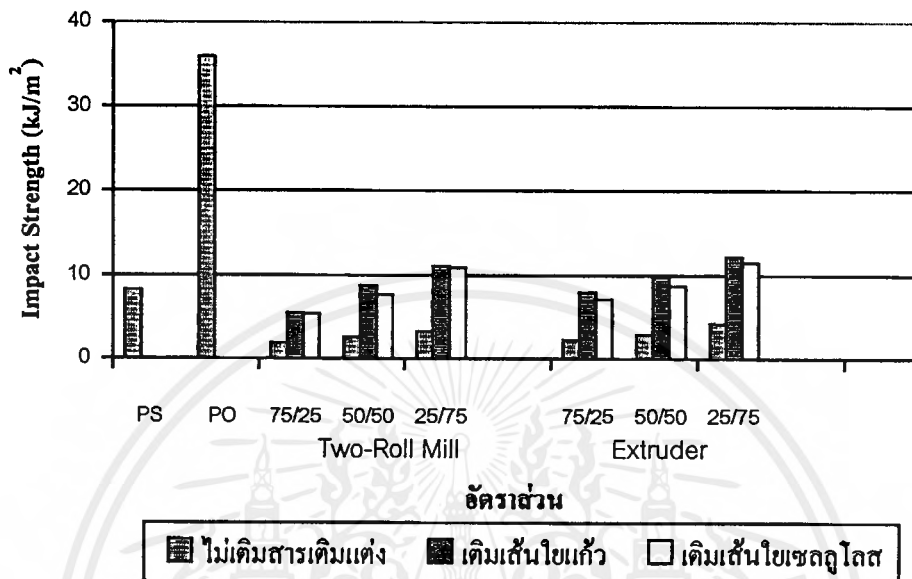


รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของการดึง ก่อนและหลังการเค็มสารเค็มแต่ง

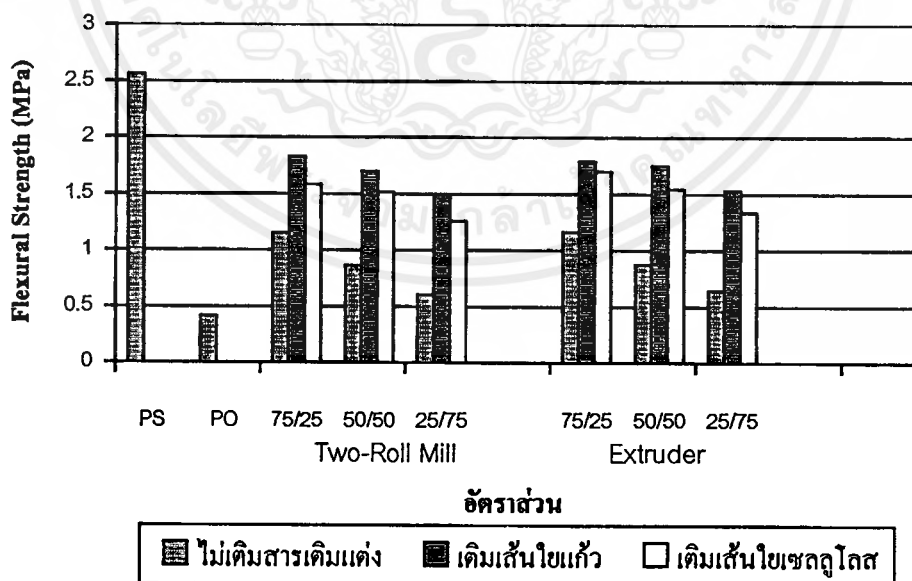


รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง ก่อนและหลังการเค็มสารเค็มแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

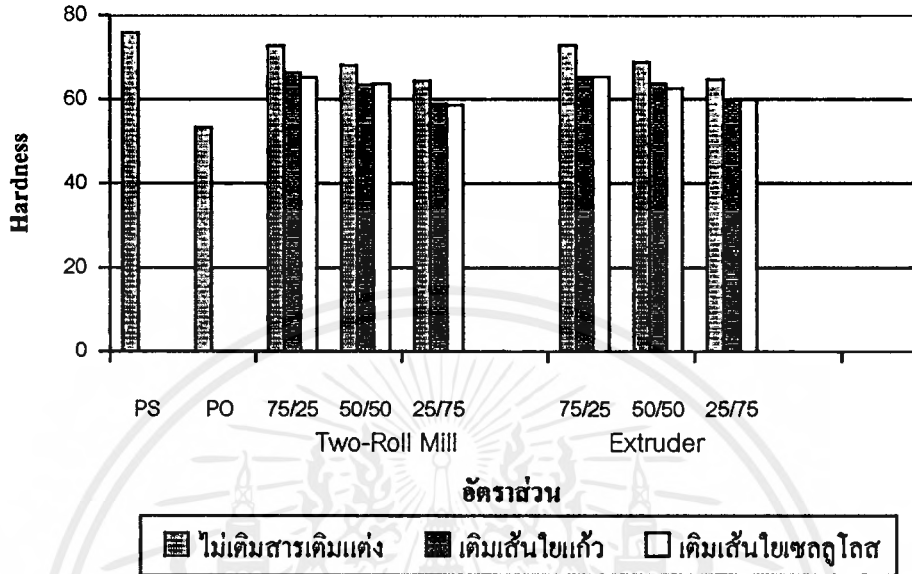


รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังการเติมสารเติมแต่ง



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น ก่อนและหลังการเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง ก่อนและหลังการเติมสารเติมแต่ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการผสมโพรพอลิสไดรินกับพอลิโอดีฟิเนส (พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีน) ในอัตราส่วน 75/25 50/50 และ 25/75 โดยใช้เทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผสมและผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

5.1 ศึกษาสถานะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาสมบัติเชิงกลพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพรพอลิสไดรินกับพอลิโอดีฟิเนสในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวพบว่าให้แนวโน้มเดียวกันคือที่อัตราส่วน 75/25 ให้สมบัติเชิงกล (ค่ามอดูลัสของการดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นและค่าความแข็ง) สูงสุด ในขณะที่อัตราส่วน 25/75 ให้สมบัติเชิงกล (ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก) สูงสุดเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะโพรพอลิสไดรินมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโอดีฟิเนสและเมื่อทำการผสมโพรพอลิสไดรินกับพอลิโอดีฟิเนสที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มความเร็วตกรูมากขึ้นสมบัติเชิงกลจะลดลง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการผสมโพรพอลิสไดรินกับพอลิโอดีฟิเนสสามารถสรุปได้คือ ที่อัตราส่วน 75/25 และ 25/75 ใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น 180°C อัตราเร็วรอบของตกรูเป็น 30-50 รอบต่อนาทีสำหรับอัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น 190°C อัตราเร็วรอบตกรูเป็น 50 รอบต่อนาทีเพราะสภาวะดังกล่าวนี้เป็นสภาวะที่พอลิเมอร์สามารถผสมหลอมรวมกันได้ดีที่สุดจึงทำให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด

ถ้าทำการเปรียบเทียบผลของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมกับโพรพอลิสไดรินและพอลิโอดีฟิเนสพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าสมบัติเชิงกลอยู่ระหว่างสมบัติเชิงกลของโพรพอลิสไดรินและพอลิโอดีฟิเนสโดยมีเพียงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเท่านั้นที่แตกต่างไป ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของโพรพอลิสไดริน

5.2 ศึกษาผลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบตอกลงถึง เครื่องจักรรีดแบบเกลียวหนอนเคียวและผลที่ควรจะเป็นตามทฤษฎี

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีกับสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีเล็กน้อยอาจเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของโฟมพอลิสไตรีนและความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมตามทฤษฎีคือที่อัตราส่วน 25/75 ทั้งนี้เพราะให้สมบัติเชิงกลใกล้เคียงตามทฤษฎีมากที่สุด แต่สำหรับในทางปฏิบัติพบว่าอัตราส่วน 75/25 ให้สมบัติเชิงกลสูงสุดดังนั้นการนำไปใช้งานจึงควรพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ

5.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่ง

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ผสมพบว่าสมบัติเชิงกลหลังการเติมสารเติมแต่งจะมีค่าสูงขึ้น โดยเส้นใยแก้วมีแนวโน้มที่จะให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าเส้นใยเซลลูโลสเล็กน้อย

5.4 ข้อเสนอแนะ

- พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่อาจนำไปประยุกต์ใช้แทนพอลิเมอร์ชนิดที่มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกันได้
- เส้นใยเซลลูโลส (ตัวรอดไฟที่ใช้แล้ว) เมื่อนำมาเป็นสารเติมแต่งควรทำให้มีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ผสม
- ควรศึกษาสถานะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องจักรรีดแบบเกลียวหนอนคู่
- ควรศึกษาสารช่วยผสมชนิดต่างๆที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น
- ควรศึกษาผลของสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน PS/PO	อุณหภูมิลูกกลิ้ง ที่ใช้ในการ ผสม (°C)		Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	หน้า	หลัง					
75/25	190	180	1650.0	33.58	1.88	1.125	72.67
	180	170	1652.2	34.02	1.89	1.151	72.67
	170	160	1597.0	32.25	1.80	0.9799	72.50
50/50	190	180	1407.0	27.74	2.54	0.8622	68.50
	180	170	1390.0	27.48	2.53	0.8588	68.13
	170	160	1320.0	26.18	2.46	0.7700	68.17
25/75	190	180	1052.0	25.94	3.22	0.5955	64.67
	180	170	1107.0	26.03	3.23	0.5983	64.33
	170	160	1034.5	25.44	3.22	0.5952	64.33

ภาคผนวกที่ 2

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตรา ส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	190	180	170	160						
75/25	190	180	170	160	70	1571.0	34.07	2.21	1.042	72.00
					50	1626.0	34.95	2.26	1.082	72.67
					30	1643.0	34.94	2.26	1.111	72.67
	180	170	160	150	70	1576.0	34.26	2.20	1.053	72.17
					50	1629.0	35.68	2.24	1.151	72.83
					30	1647.0	36.10	2.26	1.164	72.83
	170	160	150	140	70	1321.2	34.01	2.12	0.9988	72.67
					50	1432.4	34.58	2.19	1.052	72.67
					30	1558.0	34.50	2.21	1.059	72.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตรา ส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	190	180	170	160						
50/50	190	180	170	160	70	1385.0	29.57	2.61	0.8417	68.50
					50	1407.0	30.47	2.82	0.8704	68.85
					30	1407.3	30.42	2.80	0.8653	68.83
	180	170	160	150	70	1249.9	29.47	2.54	0.8407	68.17
					50	1306.3	29.77	2.72	0.8573	68.83
					30	1310.3	30.11	2.68	0.8588	68.83
	170	160	150	140	70	1024.8	29.07	2.30	0.8401	68.33
					50	1210.7	29.41	2.44	0.8524	68.67
					30	1221.8	29.37	2.47	0.8568	68.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเคียว

อัตรา ส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการ ผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
	190	180	170	160						
25/75	190	180	170	160	70	796.5	25.55	4.10	0.6063	64.00
					50	864.0	25.69	4.13	0.6276	64.50
					30	846.7	25.59	4.12	0.6257	64.50
	180	170	160	150	70	790.3	26.06	4.12	0.6076	64.33
					50	869.3	26.13	4.17	0.6423	64.67
					30	850.9	26.17	4.14	0.6376	64.83
	170	160	150	140	70	749.8	24.98	3.64	0.5483	64.00
					50	838.4	25.17	3.86	0.5669	64.17
					30	841.4	25.20	3.84	0.5568	64.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 3

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังเติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

สารเติม แต่ง	อัตราส่วน	Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
เส้นใยแก้ว	75/25	2795.0	35.15	5.42	1.825	66.32
	50/50	2380.0	28.84	8.76	1.698	63.47
	25/75	1939.0	27.23	11.01	1.479	58.89
เส้นใย เซลลูโลส	75/25	2530.0	35.04	5.32	1.585	65.14
	50/50	2068.0	28.79	7.63	1.513	63.65
	25/75	1561.0	27.18	10.89	1.261	58.53

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังเติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

สารเติม แต่ง	อัตราส่วน	Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Hardness
เส้นใยแก้ว	75/25	2613.0	36.36	7.98	1.787	65.38
	50/50	2253.0	31.98	9.87	1.752	63.62
	25/75	1611.0	28.39	12.23	1.534	59.78
เส้นใย เซลลูโลส	75/25	2490.0	36.14	7.12	1.700	65.28
	50/50	2105.0	31.32	8.76	1.545	62.53
	25/75	1480.0	27.89	11.47	1.337	59.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. A.K.GUPTA and S.N.PURWAR , J.Appl.Polym.Sci. 1985.30.1799-1840
2. AKIN ADEWOLEF , KEITH DACKSON , and MIKE WOLKOWICZ , Advances in Polymer Technology , 1994 , 13.219-230
3. Z.Horak , V.Fort , D.Hlavata and F.Lednický , Polymer , 1996.37.1.65-73
4. Fortelny , I ; Michalkova , D , ;Mikesova , J.Appl.Polym.Sci.1996.59.155-164
5. Fujiyama , M , J.Appl.Polym.Sci.1997.63.1015-1027
6. Ulrich Eisele.Introduction to Polymer Physics. pg.158.1990
7. D.W.VAN KRAVELEN.Properties of polymer,3 rd ed.University of Technology,Delft,The Netherland.1990
8. นิกร ไปณะทองและพรพงษ์ โสณวัฒน์กุล “การศึกษา Impact Modifier ที่มีต่อ Amorphous Polymer และ Semi-Crystalline Polymer” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาค วิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
9. อมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ “รายงานการสัมมนา LLDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง” ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2532
10. อมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ “รายงานการสัมมนา HDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง” ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2532
11. ปรีชา พหลเทพ “โพลิเมอร์” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
12. มาลินี รัชสกุลกิจสินธุ์ “เคมีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
13. บรรจง ศรีนิจ “เทคโนโลยีพลาสติก” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์ , กรุงเทพมหานคร , 2526

14. นภา เหลืองพิริยะชาติ และ เปรมหทัย ชำเกษม “การผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบ
โปร่งใส” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537
15. กัญจนา กระจุกกุล “เทคโนโลยีโพลีเมอร์” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์วิกตอริทาวเวอร์ทอยซ์
จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2533
16. Mallick, P.K., Fiber-Reinforced Composites .Materials, Manufacturing, and Desing, Marcel
Dekker,Inc.,Vol.2 , New York , 1993 , pg.94.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้