

การศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และ  
พอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว



โดย

ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง





## กิตติกรรมประกาศ

งานนี้สำเร็จลุล่วงด้วยทุนจากงบประมาณเพื่อการวิจัยของสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ต้องขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ นาย ภักดี รัตนจันทร์ นาย ธวิพันธ์ อ่ำเกตุสกุล และ นาย สุรชัย จิรศักดิ์ สิริกุล ที่ช่วยในงานวิจัยนี้สำเร็จได้ ทั้งทางด้านปฏิบัติ และ ด้านทฤษฎี ถ้าไม่มีบุคคลทั้งสามงานวิจัยนี้คงจะล่าช้าออกไปอีกนาน

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อในส่วนของการสนับสนุนที่และอุปกรณ์เครื่องมือทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานวิจัยภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานวิจัยภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการงาน	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์โครงการงาน	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 ระยะเวลาของการวิจัย	4
1.8 แผนการดำเนินงาน	5
1.9 สถานที่ทำการทดลอง	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>6</b>
2.1 พอลิเมอร์ผสม	6
2.2 พอลิโพลิฟินส์	8
2.2.1 พอลิเอทิลีน	8
2.2.2 พอลิพรอพิลีน	11
2.3 พอลิสไตรีน	12
2.4 สารเติมแต่ง	14
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	18
<b>บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน</b>	<b>21</b>
3.1 สารเคมี	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	21
3.3 วิธีการทดลอง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์</b>	28
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของ โฟมพอลิสไตรีนและพอลิโพลิฟินส์	28
4.2 การศึกษาสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสม	29
4.3 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง	49
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	53
5.1 ศึกษาสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ	53
5.2 ศึกษาผลที่ได้จากเครื่องบดผสมและผลที่ควรเป็นตามทฤษฎี	54
5.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่ง	54
5.4 การประยุกต์ใช้งาน	54
5.5 ข้อเสนอแนะ	54
<b>ภาคผนวก</b>	55
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	7
รูปที่ 2.2 แสดงการผลิตโฟม	14
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	15
รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเครื่องอัดรีด	20
รูปที่ 4.1 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	30
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	30
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทกจาก เครื่องบดผสมแบบ สองลูกกลิ้ง	31
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	31
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	32
รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	36
รูปที่ 4.7 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	36
รูปที่ 4.8 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	37
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	37
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	38
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	38
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยวอัตราส่วน 75/25	39
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยวอัตราส่วน 50/50	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยวอัตราส่วน 25/75	40
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	40
รูปที่ 4.16 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	41
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจาก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	41
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25	42
รูปที่ 4.19 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50	42
รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75	43
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของการดึง	46
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง	46
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทก	47
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น	47
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง	48
รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของการดึงก่อนและหลังเติม สารเติมแต่ง	50
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงก่อนและหลังเติม สารเติมแต่ง	51
รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง	51
รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นก่อนและ หลังเติมสารเติมแต่ง	52
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง ก่อนและหลังเติมสาร เติมแต่ง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ โดยสามารถใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ โลหะ กระจก ฯลฯ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความใส น้ำหนักเบา ความเหนียวสูง ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี และอื่นๆแล้วแต่การประยุกต์ใช้งาน จากผลของการใช้กันอย่างแพร่หลายจึงทำให้มีแนวโน้มของการใช้งานมากขึ้น สิ่งที่มาคือปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยนำมาผสมกับพลาสติกอื่นๆ (Plastics Blending) ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพลาสติกที่นำมาผสมนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกผสมที่ได้อาจมีสมบัติด้อยกว่าหรือไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกผสมด้วยการเติมสารเติมแต่ง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น

งานวิจัยนี้จะเน้นการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยเน้นเฉพาะพอลิเอทิลีนสปีดคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิพรอพิลีน (PP) และโฟมพอลิสไตรีน (PS foam) โดยนำพอลิเอทิลีนสปีดมาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากันก่อน จากนั้นจึงนำมาผสมกับพอลิสไตรีน ในอัตราส่วนต่างๆ กันคือ 75/25 50/50 และ 25/75 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วของสกรูของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกิ้ง และเครื่องอัดรีด เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในอัตราส่วนที่ดีที่สุดแล้วนำไปเติมสารเติมแต่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เซลลูโลส (Cellulose) จากตัวรถไฟที่ใช้แล้วและแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เป็นสารเติมแต่งในการพิจารณาถึงผลที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แล้วทั้งสองชนิด โดยผลจากการศึกษาทำให้สามารถทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผสมและปริมาณสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้

## 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.K. Gupta and S.N. Purwar ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน(PP) กับพอลิเอทิลีน (PE) และพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน(PS) โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยวในอัตราส่วน 90/10 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน จะทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงดึงมากขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง และในกรณีของพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีนจะให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก<sup>1</sup>

Akin Adewole และคณะได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ พอลิพรอพิลีน(PP) ที่ใช้แล้ว โดยไม่เติมสารช่วยในการผสม (Compatibilizer) ซึ่งทำการผสมในเครื่องอัดรีดโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 160 - 210 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว รอบของสกรูเท่ากับ 300 – 500 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่า PP กับ HDPE จะเกิดการแยกวัฏภาค กัน ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของ HDPE จะทำให้ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น (Flexural Strength) ลดลงแต่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) เพิ่มขึ้น<sup>2</sup>

Z. Horak, V. Fort, D. Hlavata and F. Lednicky, ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง พอลิพรอพิลีน (PP) กับ HIPS โดยใช้ สไตรีน บิวทาไดอีน เป็นสารช่วยผสมซึ่งสไตรีนบิวทาไดอีนที่ใช้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็น โคปอลิเมอร์บล็อก ไตรบล็อกและเพนทาบล็อก จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ ไตรบล็อกเป็นสารช่วยผสม จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงสุด สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสมจะให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำสุด<sup>3</sup>

Webber et.al ได้นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(HDPE) พอลิสไตรีน(PS) พอลิพรอพิลีน(PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(LDPE) มาผสมในสัดส่วน โดยน้ำหนัก 70 15 11 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยลำดับ พบว่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และสัณฐานวิทยา (Morphology) จะดีขึ้นถ้ามีสารช่วยผสม (Compatibilizer) อยู่ด้วย<sup>4</sup>

Xanthos ได้ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(HDPE) ขวดโซดาพอลิเอทิลีนเทอพลาทาเลท(PET) ฟิล์มทุกชนิด พอลิพรอพิลีน(PP) กระจกใส เสื้อผ้าพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC) พอลิไวนิลลิดีนคลอไรด์และเซลโลเฟนพบว่า สารผสมนี้มีสมบัติเปราะ อีกทั้งสัณฐานวิทยามีความสลับซับซ้อนแต่เมื่อใช้สารสไตรีนบล็อกโคพอลิเมอร์ช่วยผสมสมบัติที่ได้จะดีขึ้น<sup>5</sup>

Nosker et.al นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากขวดโซดาพอลิเอทิลีนเทอพลาทาเลท(PET) ภาชนะ PET อื่นๆ ขวดนมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(HDPE) ขวดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) อื่นๆ มาตรวจสอบพบว่ามีความเป็นไปได้ทั้งกระบวนการผลิตและสัณฐานวิทยา<sup>6</sup>



## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารเติมแต่งของกระบวนการผสมพอลิโอลิฟินส์และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในอัตราส่วนที่เท่ากันและโพลีเมทิลไทริน (PS) ที่นำมาจากโพลีที่ใช้ในการบรรจุสิ่งของกันการกระแทกโดยทำการผสมโพลิเมอร์ทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ 75/25 50/50 25/25 โดยน้ำหนัก ศึกษาสถานะการผสมในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) ในสภาวะต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องมือทั้งสอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในอัตราส่วนที่ดีที่สุดแล้วนำมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยเปรียบเทียบผลของสารเติมแต่งในปริมาณต่างๆ (1% 3% และ 5% ตามลำดับ) จากนั้นจึงทำการสรุปผลการวิจัยเพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสมต่อไป

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เพื่อลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากภาชนะพลาสติกและกระดาษ
- 1.6.2 เพื่อช่วยพัฒนาทางด้านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยทราบถึงกระบวนการที่ใช้ สัดส่วนที่เหมาะสมและสารเติมแต่งที่ช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพ
- 1.6.3 การนำสารผสมที่ได้กลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมกับงานประเภทนั้นๆ

## 1.7 ระยะเวลาของการวิจัย

1 ปี คือ 1 ตุลาคม 2542 ถึง 30 กันยายน 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

การดำเนินงาน	ต.ค-ธ.ค	ม.ค-มี.ค	เม.ย-มิ.ย	ก.ค-ก.ย
ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←-----→			
จัดหาผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้ว	←-----→			
จัดซื้อสารเติมแต่งที่ต้องการ	←-----→			
ผลของส่วนผสมและกระบวนการที่ใช้		←-----→		
ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล			←-----→	
สรุปผลการทดลองและทำรายงานการวิจัย				←-----→

### 1.9 สถานที่ทำการทดลอง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พอลิเมอร์ผสม ( Polymer Blend )

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันอยู่ร่วมกันโดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน 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

ถ้าค่าตัวแปรความสามารถในการละลาย 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  $\Delta H_m$  คือ เอนทาลปี

$\phi_1, \phi_2$  คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของแต่ละอัตราส่วน 1 และ 2

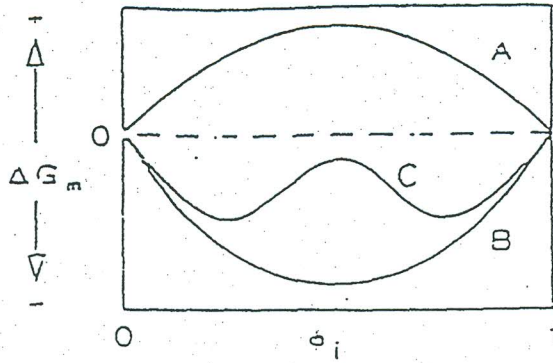
$\delta_1, \delta_2$  คือ ค่าความสามารถของการละลาย

และจากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระของกิบส์ เอนทาลปีและเอนโทรปีดังสมการ (2.2)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์<sup>10</sup>

- เมื่อ
- A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์
  - B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์
  - C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ (Solubility Parameter)<sup>9</sup>

พอลิเมอร์	δ exp. (J <sup>1/2</sup> /cm <sup>-3/2</sup> )		δ calc. (J <sup>1/2</sup> /cm <sup>-3/2</sup> )
	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. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
3. เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 พอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins)

มีความหมายรวมถึงพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ (โดยแบ่งตามปริมาณความเป็นผลึกหรือความหนาแน่น) และพอลิพรอพิลีน โดยที่สมบัติบางประการของพอลิโอเลฟินส์แสดงในตารางที่ 2.2

### 2.2.1 พอลิเอทิลีน ( Polyethylene , PE )

สูตรโครงสร้าง



ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว ดูดซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ ตามโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติตลอดจนการใช้งานได้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้<sup>11</sup>

- 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 โยงกลอโรซัลโฟเนตพอลิเอทิลีนและโคพอลิเมอร์ต่าง ๆ ของเอทิลีนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene , LDPE )

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ครั้งแรกซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่นำมาใช้ในทางการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้<sup>12</sup>

- 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

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ<sup>12</sup>

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

## การนำไปใช้งาน <sup>12</sup>

- พิล์มและงานเคลือบหลาย ๆ ชั้น (lamination) เช่น พิล์มหดหุ้ม (shrink wrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมาก ๆ
- งานฉีดแบบ (Injection moulding)
- งานเป่าแบบ (Blow moulding)
- อื่น ๆ เช่น พิล์มหลายชั้น (coextrusion) งานรีดท่อ (pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟ ฟ้าและสายเคเบิล (wire and cable coating)

### 2.2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene , HDPE)

ในปี ค.ศ. 1941 ได้มีการผลิตพอลิเอทิลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไททานียมทระคลอไรด์ ซึ่งสามารถทำให้เอทิลีนรวมตัวกันได้โดยไม่ต้องใช้ความดันสูงซึ่งพอลิเอทิลีนที่ได้มีลักษณะของสายโซ่ที่แตกต่างกันไปเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง <sup>13</sup>

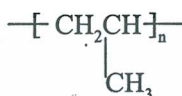
สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง <sup>14</sup>

- มีสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเรียงตัวต่อกันเป็นแนวยาวมีกิ่งก้านสาขาน้อย มีความเป็นผลึกสูง มีความหนาแน่น 0.941 – 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมตัว 135 องศาเซลเซียส โดยจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
- การนำไปใช้งาน
- ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความต้านทานสูงและทนต่อแรงเค้นสูง
  - สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีด มีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 พอลิพรอพิลีน ( Polypropylene , PP )

### สูตรโครงสร้าง



สมบัติของพอลิพรอพิลีน <sup>14</sup>

- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลางอยู่ในช่วง 164 – 170 องศาเซลเซียส
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 – 200,000 ความหนาแน่น 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปแต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำไปใช้งาน <sup>14</sup>

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน<sup>15</sup>

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
มอดุลัสการดึง (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

สมบัติของพอลิสไตรีน<sup>14</sup>

- มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงแบบอะแทกติก จึงอยู่ในรูปอสัณฐาน มีลักษณะแข็งเปราะ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ดูดความชื้น ไม่นำไฟฟ้า เนื้อต่อสารเคมี ทนต่อการดัด เสีไลต์ ค้าง ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์ เมื่อถูกย่อยสลายจะให้โมเลกุลเล็กลงเมื่อถูกความร้อน ซึ่งปกติจะมีมวลโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000 ทนต่อแรงดึงได้ดี แต่ทนต่อความร้อนต่ำ เนื่องจากมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วประมาณ 80 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 1.05 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

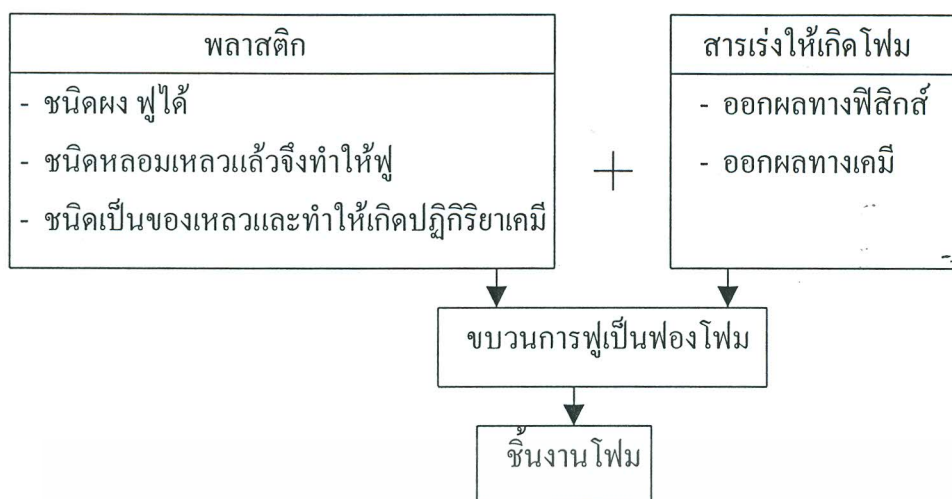
1.07 กรั่มต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรมาติก เวลาผลิตขึ้นรูปต่างๆทำได้ง่ายแต่ข้อเสียคือเปราะแตกง่าย

การนำไปใช้งาน <sup>14</sup>

- การปรับปรุงสมบัติทำได้โดยการเติมสารเติมแต่งบางอย่างลงไปช่วยทำให้สมบัติของพอลิस्टาไร์นดีซึ้น นำมาใช้เป็นถังพลาสติก ขวดพลาสติก ภาชนะใส่อาหารชนิดใส ชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมทำเป็นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของป้องกันการแตก การสะท้อน โดยนำเอาเม็ดพลาสติกที่เติมได้มาหลอมแล้วอัด เช่น เพนเทน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เม็ดจะขยายตัวถึง 40 เท่า แล้วอัดลงในเบ้าจะได้โฟมตามต้องการ สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะเลือกใช้พอลิस्टาไร์นจากชิ้นงานโฟม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กันอย่างแพร่หลาย และสามารถหาได้ง่าย โฟมพลาสติกประกอบด้วยโครงสร้างของเซลล์ซึ่งได้จากการใช้สารเร่งให้ฟูเป็นฟอง สารเร่งให้เกิดฟองนี้หมายถึงสารที่เมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซขึ้น ทำให้พลาสติกฟูเป็นฟอง และในขณะที่ขยายตัวออกนี้จะต้องขยายแม่แบบให้มีปริมาตรโตขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าพลาสติกปกติซึ่งไม่ได้ทำเป็นโฟม พลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นโฟมจะต้องเป็นพลาสติกที่ลดความหนาแน่นได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ <sup>16</sup>

1. กลุ่มที่สามารถเร่งให้ผงฟูเป็นโฟมได้ เช่น PS
2. กลุ่มที่หลอมเหลวแล้วจึงทำให้ฟู เช่น PS PE PVC
3. กลุ่มสารเริ่มต้นเป็นของเหลวและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นโฟม เช่น PUR PF UF [ รูปที่ 2.2 ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการผลิตโฟม<sup>16</sup>

## 2.4 สารเติมแต่ง (Additive)

คือ สารที่อยู่ในรูปของแข็งหรือพวกเส้นใยที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้<sup>17</sup>

- ลดต้นทุนการผลิต
- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ
- ปรับปรุงสมบัติการไหล
- ปรับปรุงสมบัติทางเคมี
- ปรับปรุงสมบัติทางความร้อน

### 2.4.1 เส้นใยแก้ว (Glass fiber)<sup>17</sup>

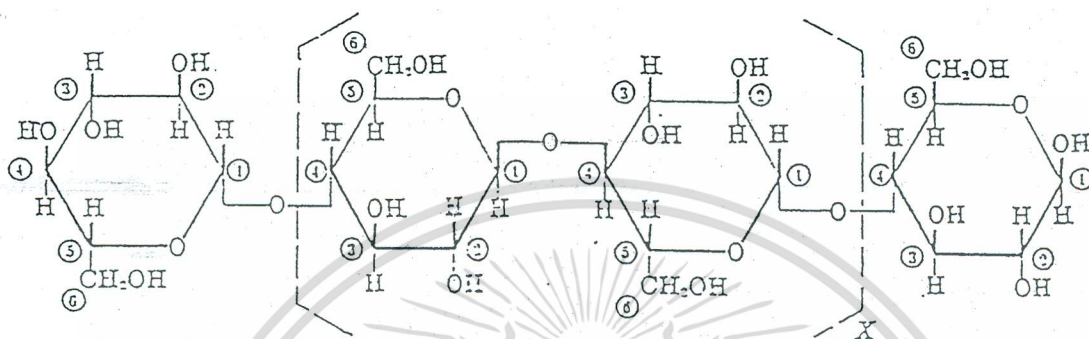
เส้นใยแก้วเสริมแรงที่ใช้กันอยู่มีหลายรูปแบบการนำมาใช้งานมักจะขึ้นกับราคา ความแข็งแรง ความสามารถในการเข้ากันได้กับเรซิน และ กระบวนการผลิตของเส้นใยแก้ว สาเหตุที่นิยมใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงเพราะมีค่าความแข็งแรงสูง แก้วเมื่ออยู่เป็นก้อนจะมีความเปราะ มีความแข็งแรงต่ำ แต่เมื่อนำมารีดดึงเป็นเส้นใยจะทำให้ค่าความแข็งแรงสูงขึ้น ในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยแก้วอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำโครงสร้างและใช้ในงานเสริมแรง เป็นต้น

การผลิตเส้นใยแก้วทำได้โดยการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ จากนั้นทำการหลอม ซึ่งอุณหภูมิของการหลอมจะขึ้นกับส่วนประกอบและชนิดของเส้นใย โดยปกติจะมีค่าประมาณ 1250 องศาเซลเซียส แก้วที่หลอมจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนดึงเพื่อให้เกิดเป็นเส้นใยขึ้น โดยในระหว่างการผลิตเส้นใยแก้วนั้นเส้นใยจะถูกทำลายได้ง่ายมาก ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose)<sup>17</sup>

เส้นใยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากธรรมชาติ เช่น เยื่อไม้ ใยฝ้าย ก่อนใช้งาน ต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โครงสร้างของเซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เกิดจากเบตากลูโคส ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส<sup>17</sup>

เซลลูโลสที่ได้มาจากเยื่อไม้จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 160,000 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงสมบัติได้โดยการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล การกระจายโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญเพราะส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้มีสมบัติทางกายภาพไม่ดี และจากการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสพบว่าโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบส่วนที่เป็นผลึกจะแยกออกจากส่วนที่เป็นอสัณฐานอย่างชัดเจน

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1. การดูดซับความชื้น เซลลูโลสจะมีการดูดหรือคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ซึ่งปริมาณความชื้นในเซลลูโลสจะมีผลต่อสมบัติเชิงกล
2. การละลายและความหนืด เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้นและจะเกิดไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วเมื่อแช่ไว้ในกรดที่อุณหภูมิห้อง
3. ความหนาแน่น พบว่าความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าไม่แน่นอน ค่าเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสจะแปรตามชนิด และอาจจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>)<sup>18</sup>

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแร่ธาตุที่มีอย่างอุดมสมบูรณ์บนเปลือกโลก แต่ในอุตสาหกรรม มีการนำแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้เพียง 20% จากทั้งหมด แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารทั่วไปที่ใช้เติมลงในพลาสติก ซึ่งมีหลายชื่อโดยแบ่งตามแหล่งกำเนิด เช่น มาร์เบิล(Marble) ไลม์สโตน(Limestone) คอรัล(Coral) เซลล์(Shell) และ ชอล์ค(Chalk) เป็นต้น ถ้าแบ่งตามโครงสร้างผลึกมีชื่อเรียกว่าแคลไซต์ (Calcite) อะราโกไนท์(Aragonite) และเมื่อมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ในโครงสร้างจะเรียกโดโลไมท์ (Dolomite) (CaCO<sub>3</sub>/ MgCO<sub>3</sub>) แคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้เป็นสารตัวเติมอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความขาว การสึกกร่อนน้อย มีหลายขนาดอนุภาค และ ราคาถูก พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีโครงสร้าง 2 แบบ คือแคลไซต์และแคลเซียมแบบสลับ(Alternating calcium cations) และคาร์บอเนตรูปสามเหลี่ยมแบนราบ(Trigonal planer carbonate)

ในทางการค้ามีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตออกเป็น 3 ชนิดและใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ได้แก่ แบบบดหยาบ(Coarsely Ground) แบบละเอียด(Finely Ground) และแบบตะกอน(Precipitates)

การสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตมี 3 วิธี<sup>18</sup> คือ

1. กระบวนการโซลเวย์(Solvey Process) (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
2. กระบวนการโซเดียมไฮดรอกไซด์(Sodium Hydroxide Process)

ทั้งสองวิธีนี้จะได้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม

3. กระบวนการคาร์บอเนชัน(Carbonation Process) เป็นวิธีที่ง่ายและได้แคลเซียมคาร์บอเนตโดยตรง มี 3 ขั้นตอน

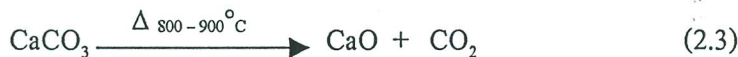


กระบวนการเริ่มจากการคาลซิเนชันไลม์สโตน ที่อุณหภูมิประมาณ 900°C จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ และไลม์ (Quick Lime) หลังจากนั้นทำการแยกให้บริสุทธิ์ ไลม์จะกลายเป็นสารแขวนลอยของหินปูน (Milk of Lime) และ น้ำ ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารแขวนลอยของหินปูนจะได้แคลเซียมคาร์บอเนต โดยแยกขนาดอนุภาคด้วยการกรองและมีเครื่องกรองสุญญากาศแบบหมุน (Rotary Vacuum Filter) และเครื่องกรองแบบความดัน (Pressure Filter) ช่วยในการกำจัดน้ำ หลังจากนั้นทำให้แห้งโดยใช้เครื่องสเปรย์แบบหมุน (Rotary Tunnel Spray) หรือเครื่องอบแห้ง (Flash Dryers) ในกระบวนการนี้จะได้แคลเซียมคาร์บอเนตในรูปของอะราโกไนท์ (Aragonite) มีขนาดอนุภาค 0.2 – 2.0 ไมครอน ซึ่งสภาวะของปฏิกิริยาจะมีผลต่อขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยถ้ามีความชื้นมากเกินไปจะทำให้อนุภาคกระจายตัวได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต<sup>18</sup>

แคลเซียมคาร์บอเนตประกอบด้วย แคลเซียม 40 % คาร์บอน 12% ออกซิเจน 48% ในสภาวะอุณหภูมิ 800 – 900 °C แคลเซียมคาร์บอเนตจะแตกตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ 2.3



ข้อเสียของแคลเซียมคาร์บอเนตคือสามารถทำปฏิกิริยากับกรดได้ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถปรับปรุงพื้นผิวได้โดยใช้เมทัลลิกสเตียเรท ซึ่งจะช่วยในการกระจายตัวของพลาสติกและลดการจับตัวเป็นก้อน สเตียเรทจะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางกายภาพ(Physical Strength) โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณสเตียเรท 0.5 – 1.2 % แต่ถ้ามีพื้นที่ผิวสูงเช่นในพวกที่ตกตะกอน(Precipitate Grade) อาจจะใช้ถึง 10 % โดยน้ำหนัก แคลเซียมคาร์บอเนตไม่ได้จัดเป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพ ไม่ติดไฟ และไม่จุระเบิด แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์สูงสามารถใช้เติมแต่งในอาหารเช่น โซดาไฟ(Baking Soda) โซเดียมไบคาร์บอเนต(Sodium Bicarbonate) และใช้ในอาหารสัตว์ ปัญหาของแคลเซียมคาร์บอเนตคือจะมีปัญหาด้านฝุ่นเพราะฉะนั้นจึงควรป้องกันตาเพื่อไม่ให้สัมผัสฝุ่นแคลเซียมคาร์บอเนต การประยุกต์ใช้งาน<sup>18</sup>

แคลเซียมคาร์บอเนตนิยมใช้กับพอลิเอทิลีน และพอลิพรอพิลีนเพื่อลดต้นทุน ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตบด(Ground Calcium Carbonate) นิยมใช้เติมลงในพอลิเอทิลีน

94163

## 2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย<sup>19</sup>

### 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 โดยจะถูกติดตั้งร่วมกับส่วนของมอเตอร์และเกียร์ โดยทั่วไปความเร็วของลูกกลิ้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ และถ้ากำหนดให้อัตราการหมุนของลูกกลิ้งคงที่แล้ว ลูกกลิ้งที่มีขนาดเล็กจะหมุนด้วยอัตราเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งที่มีขนาดใหญ่เสมอ โดยทั่วไป ลูกกลิ้งตัวหลังจะเป็นตัวบังคับการขับเคลื่อนจึงมักจะมีความเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งตัวหน้าแต่ความเร็วดังกล่าวต้องมีไม่มากเกินไปกว่า 1.4 เท่าของความเร็วของลูกกลิ้งตัวหน้า ลูกกลิ้งจะหมุนเข้าหากัน ช่วยบังคับให้พอลิเมอร์เข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้สะดวกขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเกิดแรงเสียดทานและผสมเข้ากัน ตัวลูกกลิ้งมักทำจากเหล็กกล้าที่ผ่านการขัดผิวหรือชุบโครเมียมบริเวณแกนกลางของลูกกลิ้งจะเป็นตัวรับความร้อนและมีสารหล่อเย็นเป็นไอน้ำ น้ำ หรือน้ำมันก็ได้

ขณะทำการทดลอง พอลิเมอร์ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดหรือผง จะถูกป้อนเข้าสู่บริเวณเหนือช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งโดยจะมีการปรับช่องว่าง ให้แคบเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดแรงเสียดทานและผสมกันได้ดี ในระยะแรกจนถึงอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มหลอมจึงปรับช่องว่างให้มีความกว้างเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถผ่านลงไปตามลูกกลิ้งได้มากขึ้น ผู้ทำการทดลองต้องใช้เกรียงตัดหรือกรีดเส้นพอลิเมอร์โดยวางทับบนลูกกลิ้งเพื่อทำให้เกิดการผสมดีขึ้นจึงนับว่าเป็นเครื่องจักรที่อันตราย ผู้ทำการต้องมีความรู้ ผ่านการฝึกหัดมาอย่างดี โดยจะต้องเข้าใจและรู้จักระบบความปลอดภัยของเครื่อง เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากลูกกลิ้งได้โดยความหนาของแผ่นงานสามารถกำหนดได้จากการปรับระยะระหว่างลูกกลิ้งให้เหมาะสม<sup>19</sup>

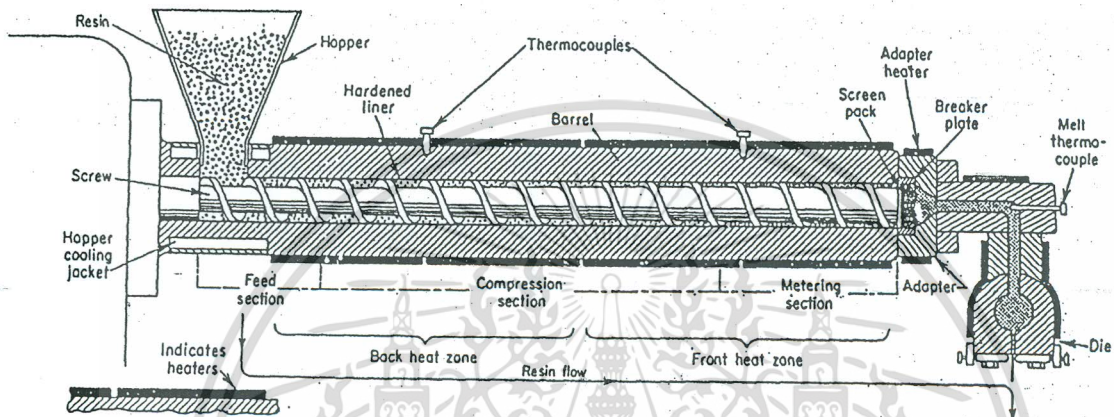
### 2.5.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder)

กระบวนการอัดรีด เป็นการบังคับให้วัสดุหลอมเหลวผ่านตายน์ เพื่อให้ได้รูปร่างต้องการ เครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการอัดรีด เป็นเครื่องมือที่พาเอาเม็ดหรือผงพลาสติกจากจุดที่ป้อน ผ่านเข้าไปในกระบอก เม็ดพลาสติกจะหลอมเหลวด้วยความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์ให้ความร้อน และแรงเสียดทานระหว่างเม็ดพลาสติกกับผนังกระบอก พลาสติกที่หลอมเหลวแล้วจะถูกอัดด้วยความดันผ่านช่องหรือรูเล็กๆ ออกมาเข้าตายน์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นรูปร่างตามต้องการ<sup>19</sup> ดังแสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ส่วนประกอบเครื่องอัดรีด

1. กระบอบ เป็นทรงกระบอบที่มีสกรูอยู่ภายใน ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ช่องป้อนเม็ด เครื่องให้ความร้อนแก่กระบอบ ช่องระบายอากาศและแจ็กเกตของกระบอบ เพื่อสำหรับใส่ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน
2. สกรู เป็นส่วนที่หมุนอยู่ในกระบอบ มีหน้าที่ผสมวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์
3. Breaker plate แผ่นโลหะวงแหวนที่ขวางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวจะติดอยู่ระหว่างปลายของสกรู และคายน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นรูเล็กๆ ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านออกมาด้วยความดันสูง
4. Hopper หรือ feed hopper เป็นบริเวณ หรือส่วนที่เก็บเม็ดพลาสติก เพื่อเตรียมป้อนเข้าในเครื่องอัดรีด
5. ทางระบายอากาศ หรือรูระบายอากาศ เป็นช่องแคบหรือรูขนาดเล็ก เพื่อให้อากาศที่ติดเข้าไปในระหว่างการผสมถูกขับออกไปก่อนที่พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกอัดเข้าไปในแม่พิมพ์ เป็นการป้องกันไม่ให้มีโพรงอากาศเกิดขึ้นในชิ้นงาน
6. มอเตอร์ขับ เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนให้กระบอบ และสกรู หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 แสดงภาคตัดขวางของเครื่องอัดรีด<sup>19</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การวิจัยและดำเนินงาน

#### 3.1 สารเคมี

High Density Polyethylene (HDPE)	ชนิดขวดน้ำขาวขุ่น
Low Density Polyethylene (LDPE)	บริษัท TPI
Polypropylene (PP)	บริษัท HMC
Polystyrene foam (PS foam)	โฟมที่ใช้บรรจุสิ่งของที่ใส่แล้ว
เส้นใยแก้ว (Glass fiber)	ไม่ทราบบริษัท
เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose)	ตัวรถไฟที่ใช้แล้วของการรถไฟแห่งประเทศไทย
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO <sub>3</sub> )	บริษัท สุรินทร์ ออมยา เคมิคอล จำกัด

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องโม่บด 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีทำการทดลอง

#### 1. การเตรียมพอลิโอลิฟินส์และโพลีพอลิสไตรีน

##### 1.1 การผสมพอลิโอลิฟินส์

- ผสม HDPE / LDPE / PP ในอัตราส่วน 1 / 1 / 1
- นำพลาสติกมาหลอมรวมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
- อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมแต่ละบริเวณเท่ากับ 170 160 150 140 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- อัตราเร็วของสกรูเท่ากับ 50 รอบต่อนาที
- นำพอลิโอลิฟินส์ ที่ได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมไว้ทำการผสมต่อไป

##### 1.2 การหลอมโพลีพอลิสไตรีน

- ทำการหลอมโพลีพอลิสไตรีนด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
  - อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส
  - นำโพลีพอลิสไตรีน ที่หลอมได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมไว้ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
- หมายเหตุ จะทำการหลอมโพลีพอลิสไตรีนครั้งละ 0.5 กิโลกรัม

#### 2. การผสมพอลิโอลิฟินส์ และ โพลีพอลิสไตรีน

ในโครงการวิจัยนี้จะแบ่งการผสมออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

##### 2.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

- ผสมพอลิโอลิฟินส์กับโพลีพอลิสไตรีน ตามอัตราส่วนและอุณหภูมิดังตารางที่ 3.1
- นำพอลิโอลิฟินส์ที่ได้จากข้อ 1.1 เทลงบนลูกกลิ้ง
- นำโพลีพอสไตรีน (ที่ไม่ผ่านการหลอมข้อ 1.2) เทลงบนลูกกลิ้งผสมรวมกับพอลิโอลิฟินส์โดยใช้อุณหภูมิกับเวลาในการผสมดังตารางที่ 3.1
- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องโม่บด เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

รวบรวมข้อมูล สรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดในแต่ละอัตราส่วน

ตารางที่ 3.1 แสดงการผสมพอลิโอลิฟินส์และโพลีโพรพิลีนในอัตราส่วนต่างๆ 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 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder)

ทำการผสมพอลิเมอร์ในอัตราส่วนต่างๆ และใช้อุณหภูมิพร้อมกับอัตราเร็วของสกรู ดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการผสมพอลิโอลิฟินส์และโพลีโพรพิลีนในอัตราส่วนต่างๆ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่อง โม่บด เพื่อเตรียมฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน และทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป
- รวบรวมข้อมูล สรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะอุณหภูมิและอัตราเร็วสกรูที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในแต่ละอัตราส่วน

### 3. การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding)

- ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน พอลิโอฟีนส์
- ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โฟมพอลิสไตรีน
- ทำการขึ้นรูปชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอฟีนส์กับโฟมพอลิสไตรีน โดยมีสภาวะในการฉีด ดังตารางที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอเลฟินส์และโพลีพอลิสไตรีน

อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป			
อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป			
NOZZLE TEMP.	180		
ZONE 1 TEMP.	170		
ZONE 2 TEMP.	160		
เวลาในการฉีดขึ้นรูป			
DIE CLS/OPN	60	MELTING	150
SID-COR ACT	0	DECOMP.	2
1 <sup>ST</sup> STG. INJ.	25	COOLING TIME	250
2 <sup>ND</sup> STG. INJ.	20	EJECTOR COUNT	1
3 <sup>RD</sup> 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	40	1 <sup>ST</sup> STG. INJ. SPD.	40
HIGH CLS. SPD.	25	2 <sup>ND</sup> STG. INJ. SPD.	30
CLAMPING SPD.	15	3 <sup>RD</sup> STG. INJ. SPD.	30
DIE OPN. SLW.1	5	MELTING SPD.	50
RAPID OPN. SPD.	20	DECOMP.	100
DIE OPN. SLW.2	20	EJETOR SPD.	10
PLUNGER SPD.	20	SCW. IN	0
DIE ADJ. SPD.	0	DIE CHANGE	0
ความดันในการฉีด			
DIE CLS.	30	MELTING	70
CLS. SLW.	20	DECOMP	25
CLS. HIGH	30	PLUGER	25
DIE OPN.	40	EJECTOR	40
1 <sup>ST</sup> INJ.	50	SCW. IN	0
2 <sup>ND</sup> INJ.	45	DIE ADJ.	80
3 <sup>RD</sup> INJ.	40		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

##### 4.1 ทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐาน ASTM D638

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbell)

ทดสอบด้วยสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

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

- นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

Tensile Strength : Force (N) / Area (m<sup>2</sup>)

%Elongation : ( $\Delta$ Length / Original length ) x 100

Modulus : Stress / Strain

##### 4.2 การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น (Flexural Strength) มาตรฐาน ASTM D790

- นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นดัมเบลล์ (Dumbell) มาทดสอบดังนี้

Crosshead speed	10	มิลลิเมตรต่อนาที
Gauge length	60	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

##### 4.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามแบบ Shore D มาตรฐาน ASTM D2240

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การเติมสารเติมแต่ง

5.1 เลือกสถานะที่เหมาะสมและอัตราส่วนระหว่างพอลิโอฟีนส์และโพรพอลิสไตรีนที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ดังนี้

- เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) ทำการผสมเส้นใยแก้วในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนัก ลงในอัตราส่วนการผสมที่ดีที่สุด
- เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber) ทำการผสมเส้นใยเซลลูโลสในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนัก ลงในอัตราส่วนการผสมที่ดีที่สุด
- แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ทำการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนัก ลงในอัตราส่วนการผสมที่ดีที่สุด

5.2 นำพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเติมแต่งแล้วมาทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ และปริมาณที่เหมาะสม



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำเอาพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันมาผสมรวมกัน โดยไม่เกิดพันธะเคมีต่อกันซึ่งความสามารถในการเข้ากันได้ นั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ (Solubility Parameter) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของพอลิเมอร์แต่ละชนิด (ตารางที่ 2.1) และสภาวะที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกล โดยส่วนใหญ่พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมแต่ละชนิดมีค่าความสามารถในการละลายแตกต่างกันหรือนำมาผสมในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เพื่อเป็นตัวช่วยเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสม จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองได้ดังนี้

#### 4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์

ทำการศึกษาค่าสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์บริสุทธิ์ทั้งสองชนิดเพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของโพลีพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์

Polymer	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

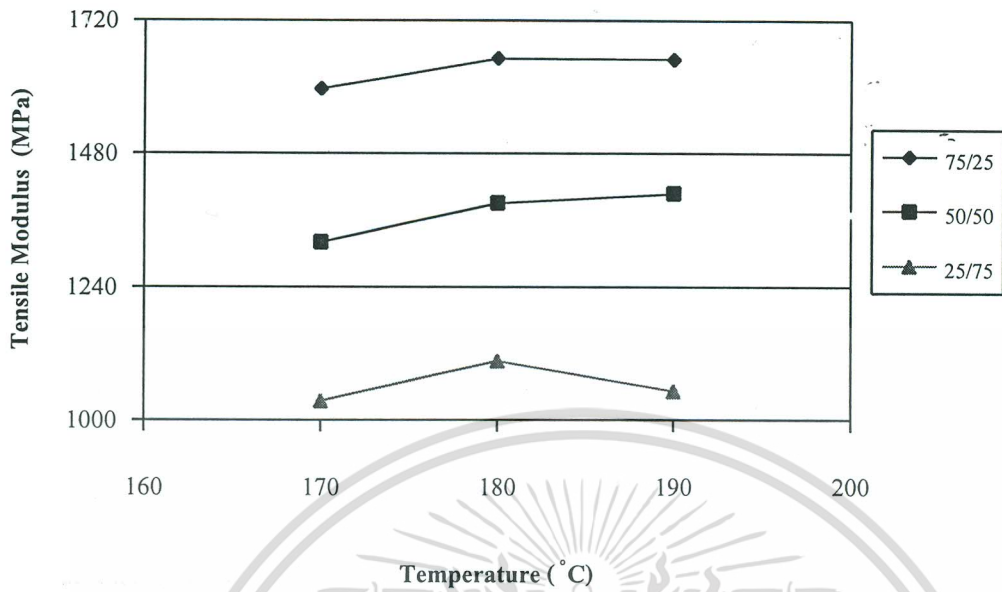
## 4.2 การศึกษาสถานะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ

### 4.2.1 ผลของสมบัติเชิงกลโดยกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

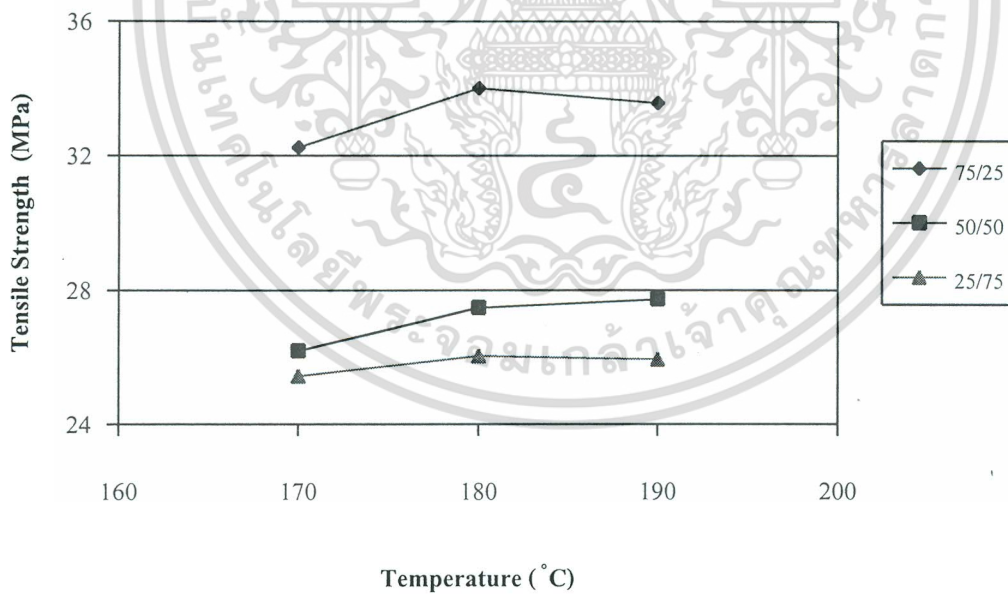
การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของลูกกลิ้งและเวลาในกระบวนการผสมจะต้องสัมพันธ์กัน ซึ่งถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้เกิดการสูญเสียสภาพทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผสมต่ำเกินไปพอลิเมอร์ผสมจะเข้ากันได้ไม่ดีซึ่งมีผลทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลงเช่นกัน สมบัติเชิงกลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังภาคผนวกที่ 1 และสามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.1-4.5

จากผลการทดลองรูปที่ 4.1-4.5 เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนผสมของโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนที่ สมบัติเชิงกล (มอดูลัสของการดึง ความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงยืดหยุ่นและความแข็ง) มีแนวโน้มเดียวกันกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเพิ่มขึ้นสมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นช่วยให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมเกิดการคลายตัวและเกี่ยวพันเข้าด้วยกันมากขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีแต่ถ้าให้อัตราส่วนผสมของโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนเปลี่ยนไปโดยกำหนดอุณหภูมิในการผสมคงที่ พบว่าอัตราส่วนผสมที่มีโพลีเอทิลีนอยู่มาก (75/25) ให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวม (มอดูลัสของการดึง ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงยืดหยุ่นและความแข็ง) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนอื่นๆ นั้นแสดงว่าโพลีเอทิลีนที่มีโครงสร้างของสายโซ่เป็นวงแหวนเบนซีนอยู่ในโมเลกุลมีส่วนช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนผสมที่มีโพลีเอทิลีนอยู่น้อย (25/75) ให้ค่าสมบัติเชิงกล (ความทนทานต่อแรงกระแทก) ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมกับโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน (ตารางที่ 4.1) พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าอยู่ในระหว่างสมบัติเชิงกลของโพลีเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ยกเว้นค่าความทนทานต่อแรงกระแทกที่มีค่าแตกต่างไปจากเดิม ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของโพลีเอทิลีนที่มีต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโพรพิลีน

ดังนั้นจากผลการทดลอง (รูปที่ 4.1-4.5) สามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์แต่ละอัตราส่วนได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่อัตราส่วน 75/25 และ 25/75 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์ผสมคือ  $180^{\circ}\text{C}$  โดยมีเวลาที่ใช้ในการผสมเป็น 4 นาที สำหรับที่อัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมที่  $190^{\circ}\text{C}$  เวลาในการผสมเป็น 3 นาที อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมดังกล่าวเป็นสถานะที่เหมาะสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการหลอมรวมกันได้ดีที่สุดส่งผลให้สมบัติเชิงกลมากขึ้น

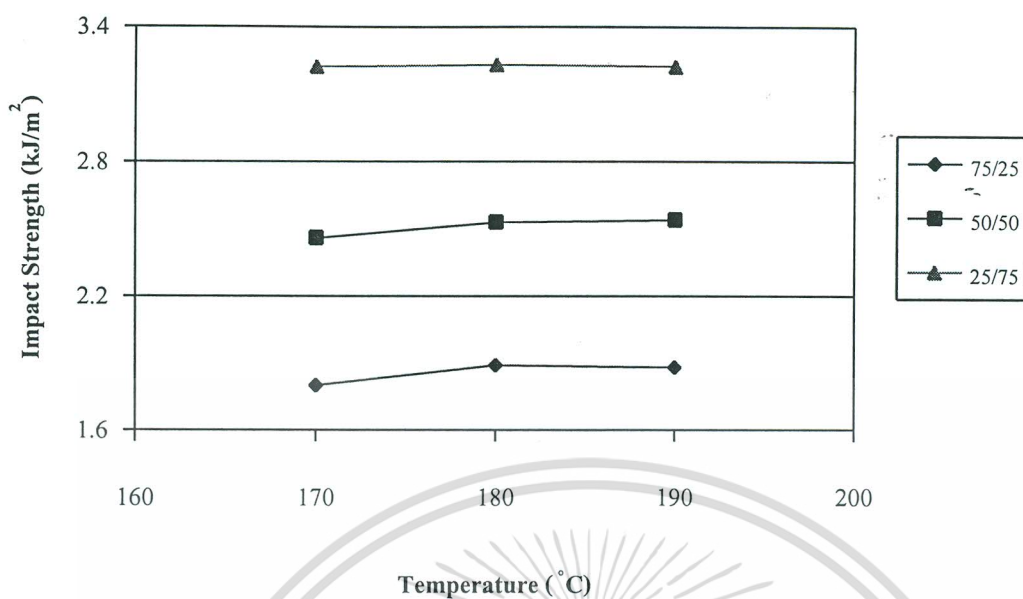


รูปที่ 4.1 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

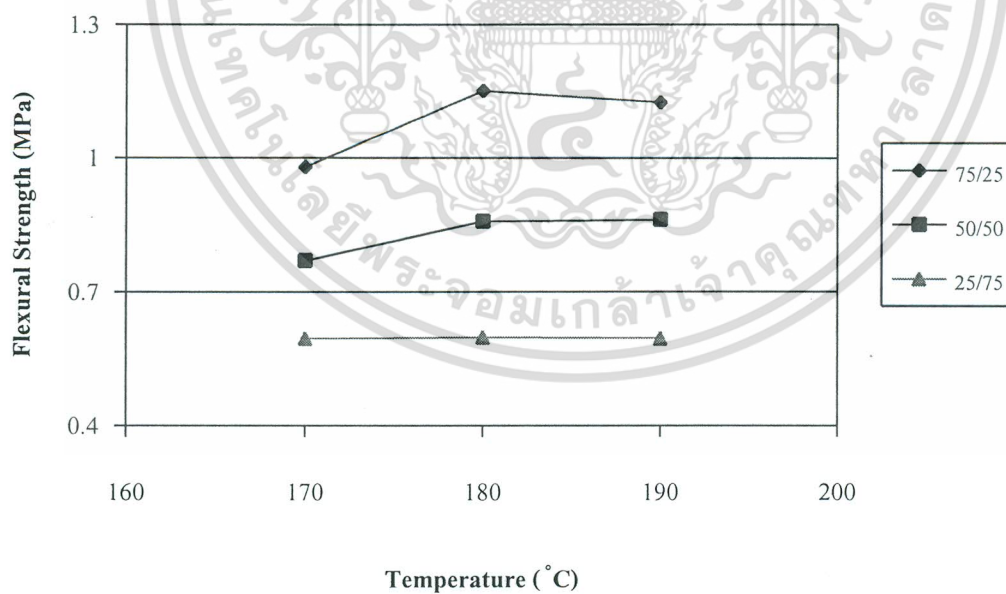


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

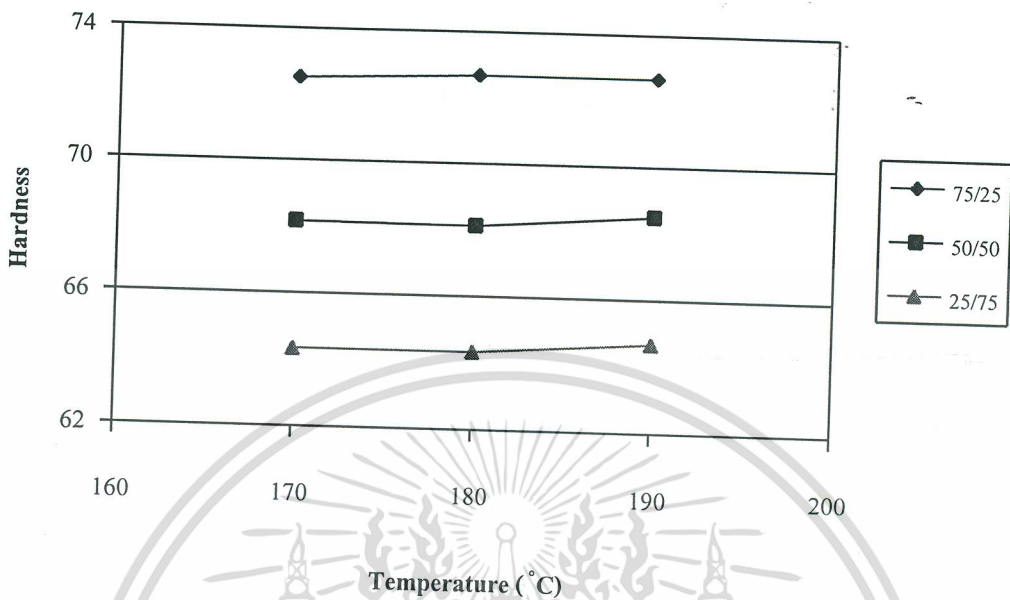


รูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงแรงยืดหยุ่นจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สรุปสถานะที่เหมาะสมและค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน PS/PO	อุณหภูมิลูกกลิ้งที่ใช้ ในการผสม (°C)		Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	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 ผลของสมบัติเชิงกลโดยกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในกระบวนการผสมพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยสถานะที่ใช้ในกระบวนการผสมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการผสมในแต่ละบริเวณและอัตราเร็วรอบของสกรู ดังนั้นในสถานะการผสมที่ดีจึงต้องมีความสัมพันธ์กันทั้งอุณหภูมิและอัตราเร็วรอบของสกรูที่เหมาะสมซึ่งสามารถแสดงได้ในภาคผนวกที่ 2 และนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.6-4.20

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.6-4.8 ค่ามอดูลัสของการดึงที่ได้จากอัตราส่วนผสมของโพลิเอทิลีนไทรินและพอลิโพลีฟีนีสที่ 75/25 ให้ค่าสูงสุดแต่เมื่อเพิ่มความเร็วของสกรูค่ามอดูลัสของการดึงลดลงเนื่องจากเวลาของการผสมน้อยลงไปนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมให้สูงขึ้นค่ามอดูลัสของการดึงจะสูงขึ้นด้วยเพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยที่โพลิเอทิลีนไทรินมีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสของการดึงมากกว่าพอลิโพลีฟีนีส ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับในกรณีที่ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากรูปที่ 4.15-4.17 ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นในอัตราส่วนผสม 75/25 ให้ค่าสูงสุดที่ความเร็วสกรูคงที่ ถ้าทำการเพิ่มความเร็วของสกรูค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นกลับลดลงและถ้าเพิ่มอุณหภูมิการผสมให้มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นลดลงยกเว้นที่อัตราส่วน 50/50 ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับค่าความแข็งแรงดึง จากผลทั้งหมดคงแสดงให้เห็นว่าโพลีเอสเตอร์ไทรอินมีบทบาทต่อค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นมากกว่าพอลิโอฟีนส์

จากรูปที่ 4.18-4.20 พบว่าที่อัตราส่วน 75/25 ให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุด และมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อปริมาณของโพลีเอสเตอร์ไทรอินในพอลิเมอร์ผสมน้อยลง ที่ความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงลดลงเช่นกัน ส่วนที่อัตราส่วน 50/50 เมื่ออุณหภูมิในการผสมมากขึ้นในสถานะที่เหมาะสมให้ค่าความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดว่าอิทธิพลของโพลีเอสเตอร์ไทรอินส่งผลต่อความแข็งแรงมากกว่าพอลิโอฟีนส์

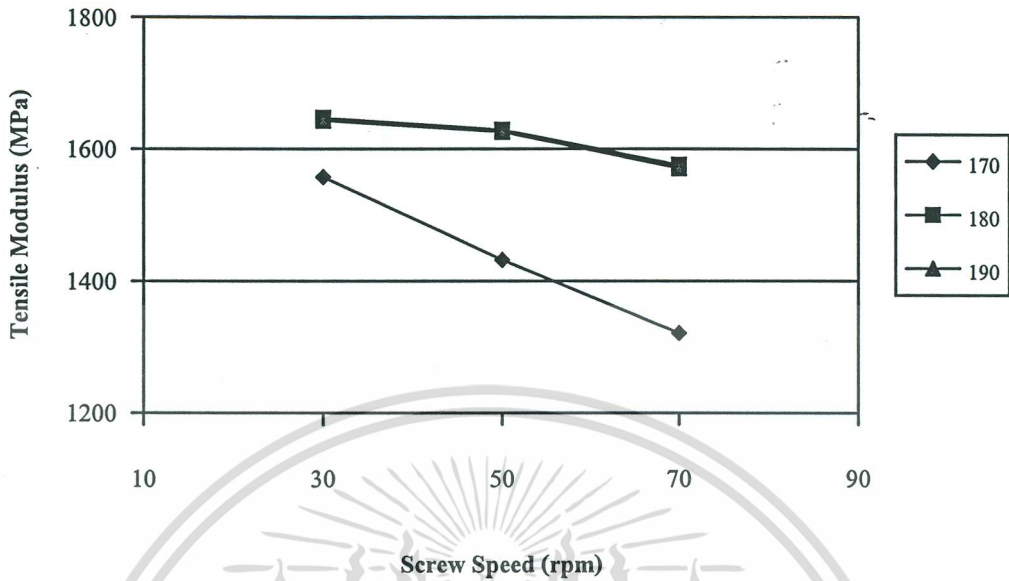
จากผลการทดลองทั้งหมด (รูปที่ 4.6-4.20) สามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์แต่ละอัตราส่วนได้ดังตารางที่ 4.3 คือ อัตราส่วนที่ 75/25 และ 25/75 ใช้อุณหภูมิในการผสมแต่ละบริเวณของเครื่องดังนี้  $180^{\circ}\text{C}$   $170^{\circ}\text{C}$   $160^{\circ}\text{C}$  และ  $150^{\circ}\text{C}$  อัตราเร็วรอบของสกรู 30-50 รอบต่อนาที สำหรับที่อัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมแต่ละบริเวณของเครื่องเป็น  $190^{\circ}\text{C}$   $180^{\circ}\text{C}$   $170^{\circ}\text{C}$  และ  $160^{\circ}\text{C}$  อัตราเร็วรอบของสกรู 50 รอบต่อนาที เนื่องจากสถานะดังกล่าวเป็นสถานะการผสมที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมตัวกันได้ดีที่สุดส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย

สมบัติเชิงกลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (ภาคผนวกที่ 1 และ 2) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของพอลิโอฟีนส์และโพลีเอสเตอร์ไทรอิน (ดังตารางที่ 4.1) พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าอยู่ระหว่างสมบัติเชิงกลของพอลิโอฟีนส์และโพลีเอสเตอร์ไทรอินแต่พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มแสดงค่าสมบัติเชิงกลไปทางโพลีเอสเตอร์ไทรอินมากกว่าที่เป็นเช่นนี้เพราะโพลีเอสเตอร์ไทรอินมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโอฟีนส์ โดยสรุปกล่าวได้ว่า ที่อัตราส่วน 75/25 ให้ค่ามอดุลัสของการดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นและค่าความแข็งแรงมากที่สุดแต่ที่อัตราส่วน 25/75 ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมากที่สุด

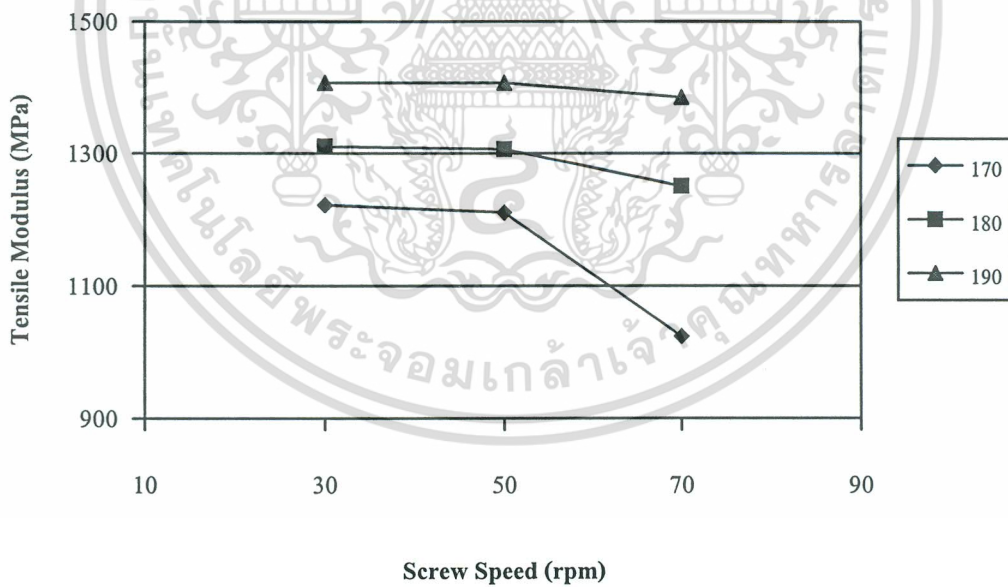
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยรวม (รูปที่ 4.1-4.20) พบว่าค่ามอดูลัสของการดึงของกระบวนการผสมจากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งมีค่าที่มากกว่าการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้ในกระบวนการผสม โดยในกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งใช้โฟมพอลิสไตรีนที่เป็นเม็ดโฟมโดยไม่ผ่านการหลอมมาใช้ในการผสมจึงยังคงมีสมบัติของโฟม ซึ่งส่งผลต่อพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการดึงยึดที่ต่ำลง ดังนั้นค่ามอดูลัสของการดึงจึงสูงขึ้น แต่สำหรับกระบวนการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวใช้โฟมพอลิสไตรีนที่ผ่านการหลอมมาแล้วหนึ่งครั้ง ทำให้สมบัติความเป็นโฟมลดลง ดังนั้นค่าของการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นทำให้ค่ามอดูลัสของการดึงลดลง เมื่อพิจารณาค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่น พบว่าการหลอมโฟมพอลิสไตรีนก่อนหนึ่งครั้งไม่ทำให้สมบัติเชิงกลลดลงมากนักเพราะสายโซ่โมเลกุลของโฟมพอลิสไตรีนยังไม่ขาดมากพอที่ทำให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลงค่าเหล่านี้จึงมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

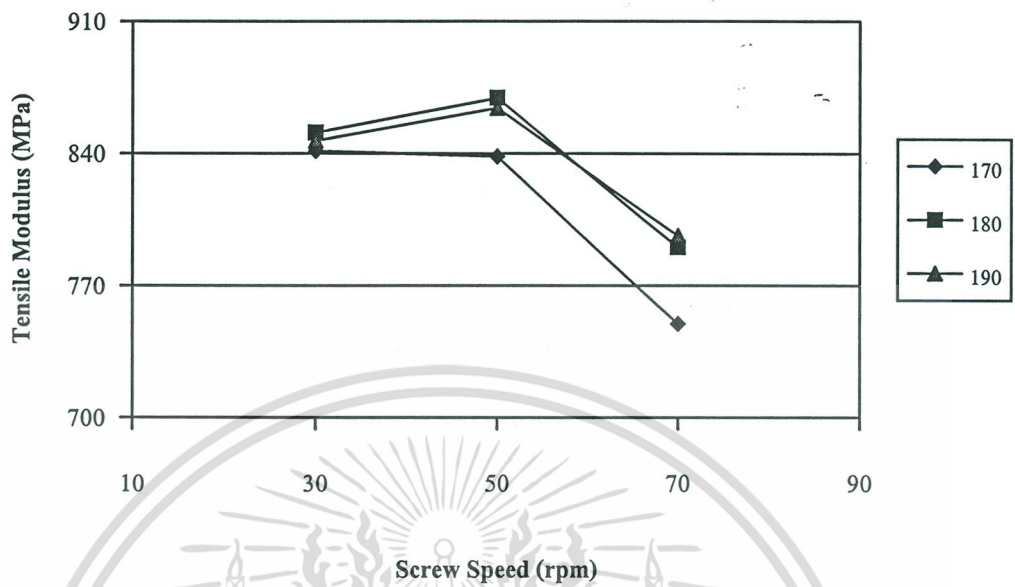


รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

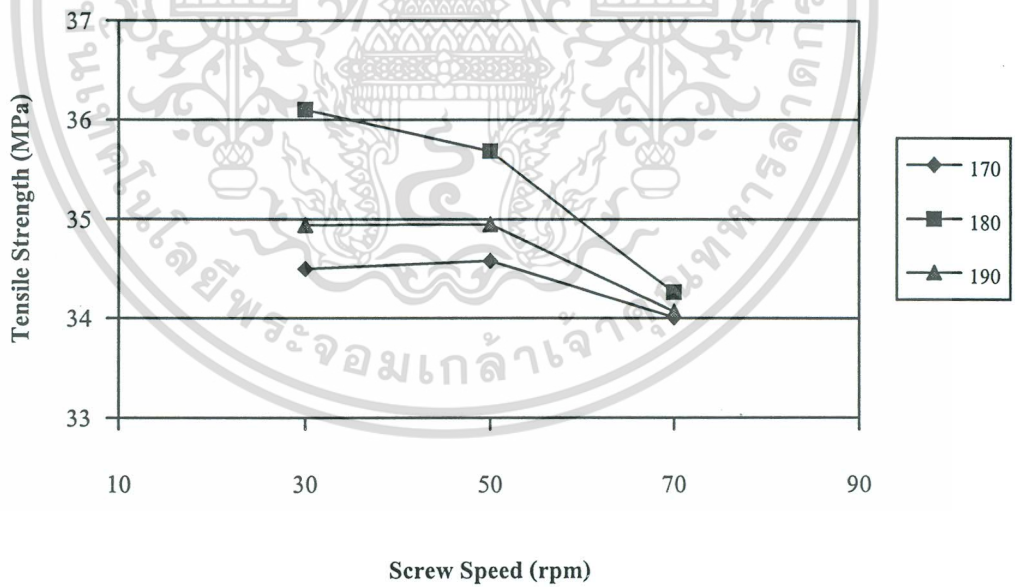


รูปที่ 4.7 แสดงค่ามอดุลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

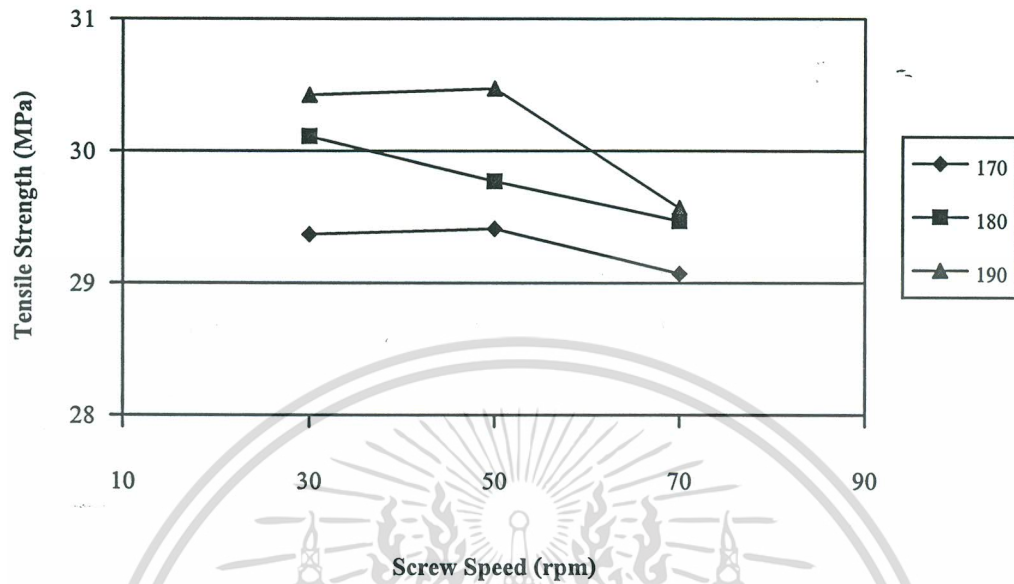


รูปที่ 4.8 แสดงค่ามอดูลัสของการดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

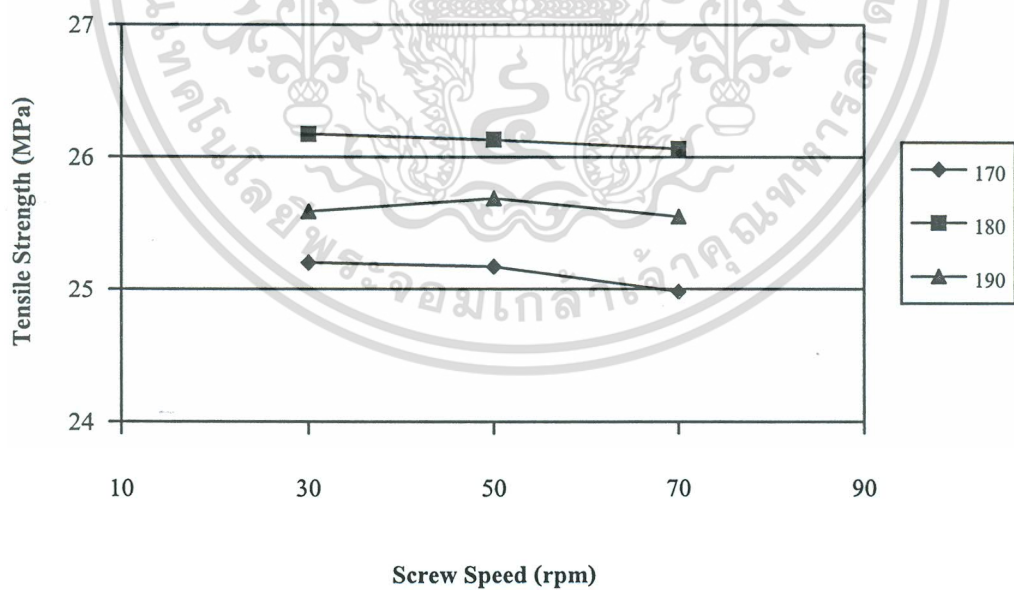


รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

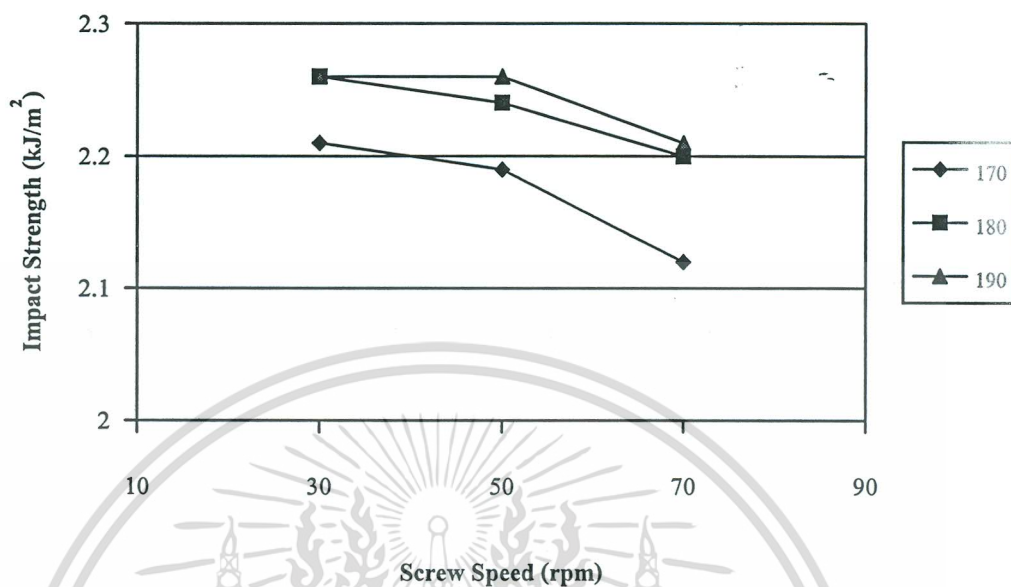


รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50



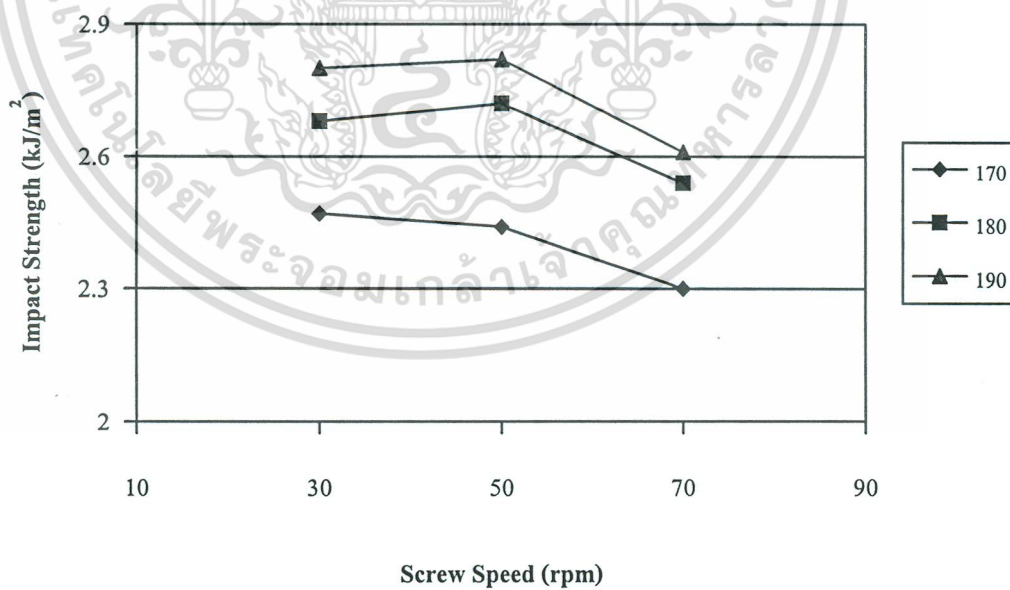
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงดึงจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว

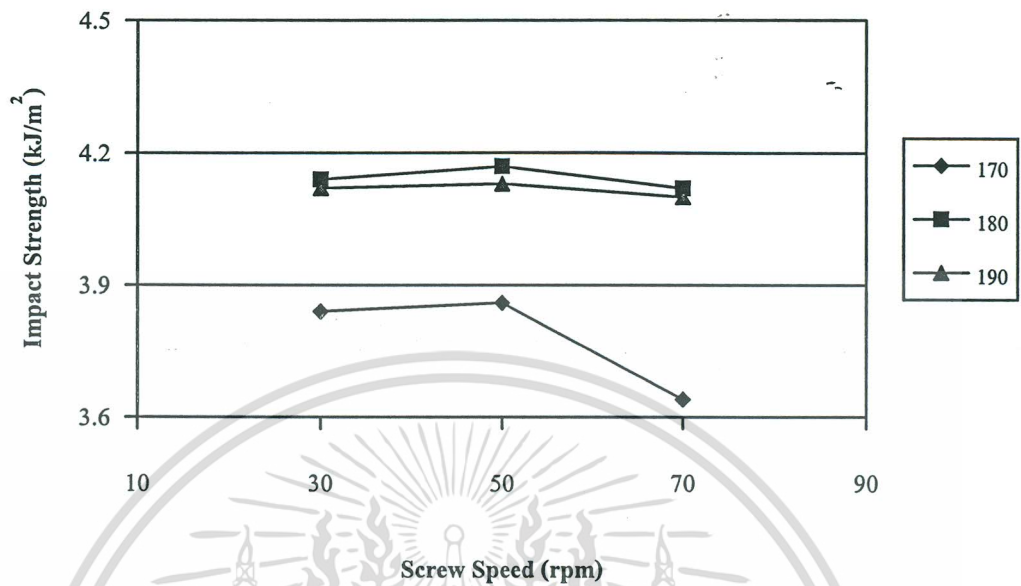
อัตราส่วน 75/25



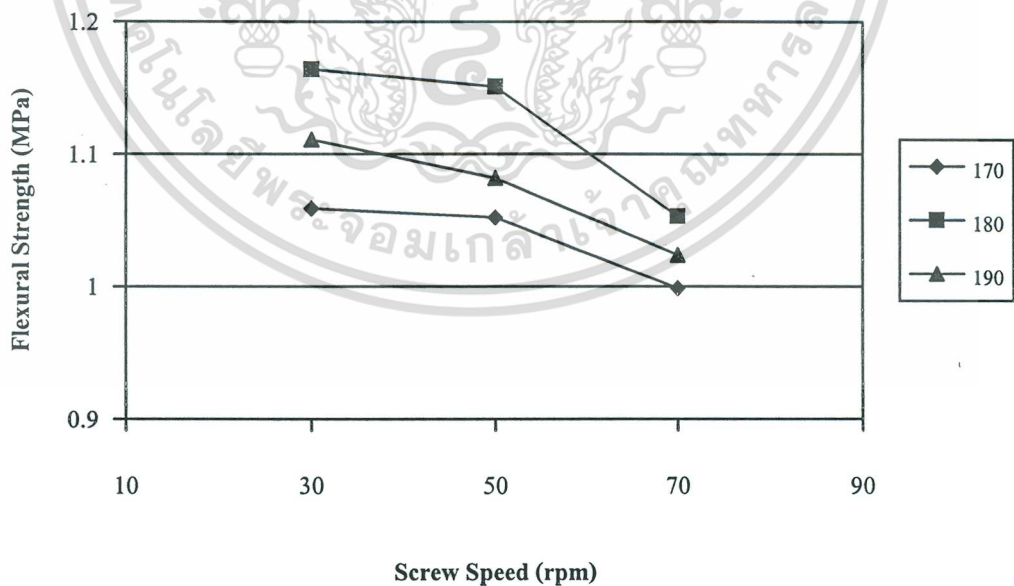
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว

อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

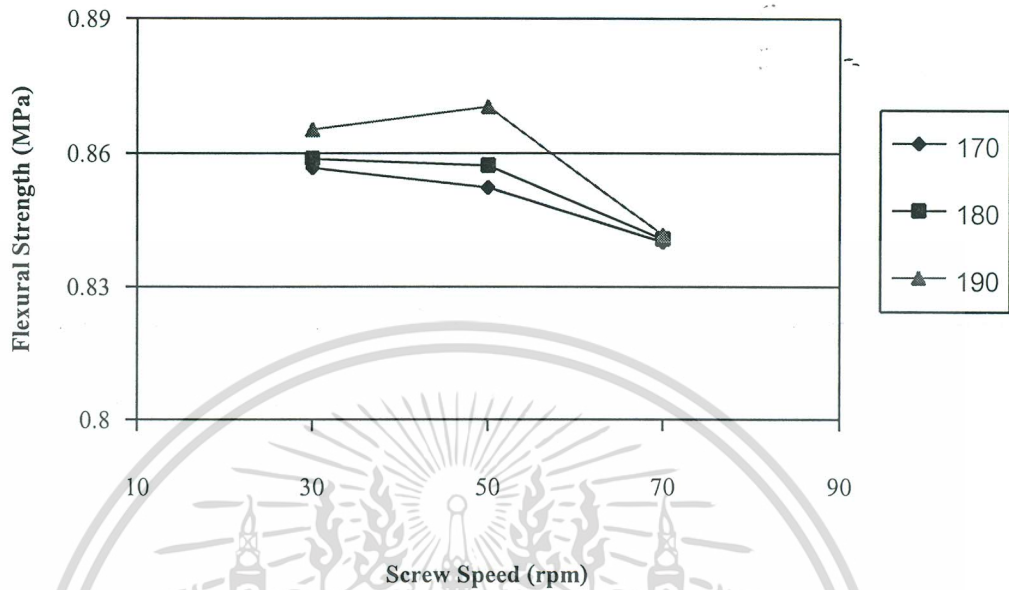


รูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

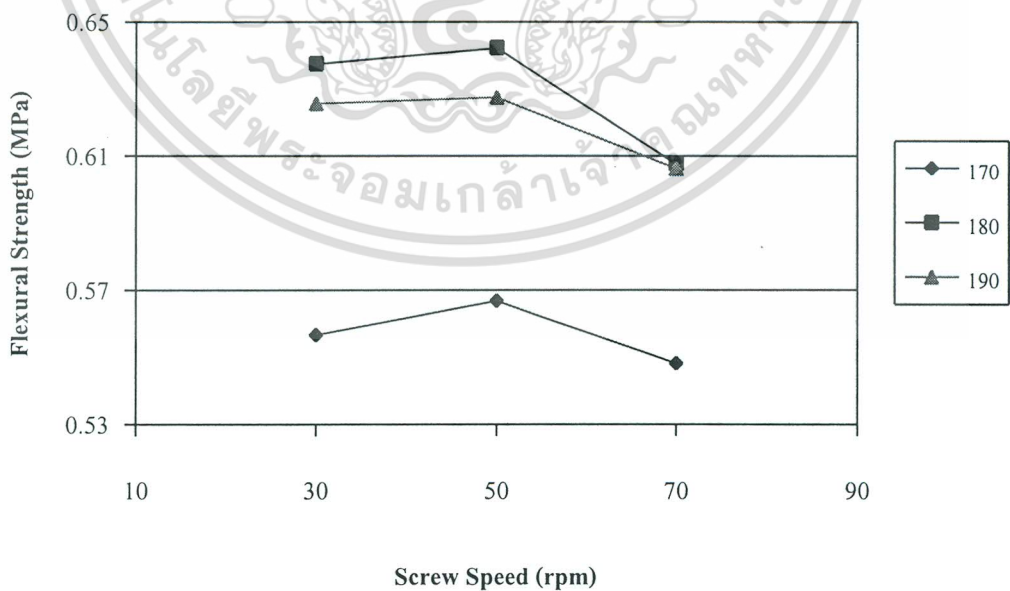


รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

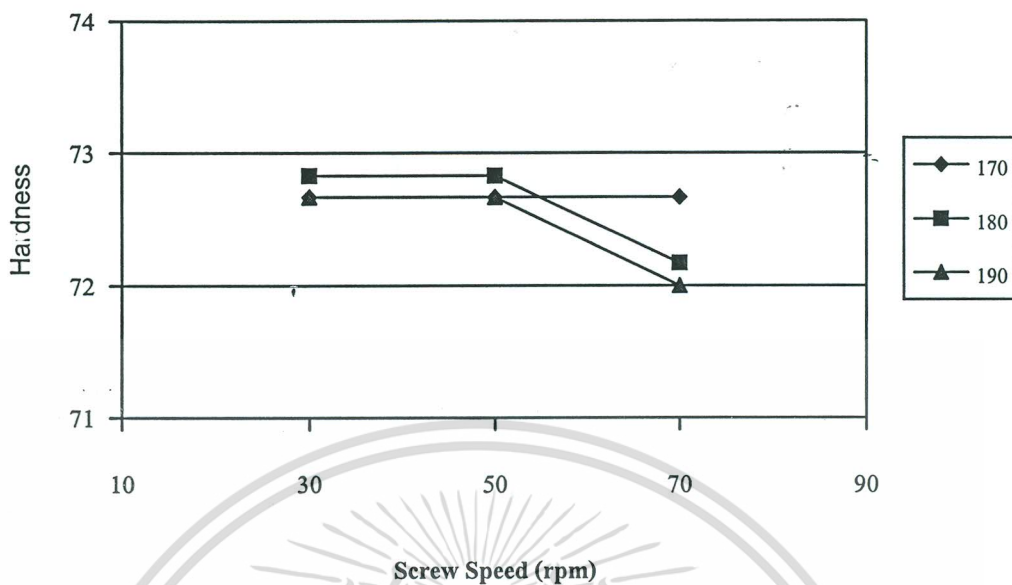


รูปที่ 4.16 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

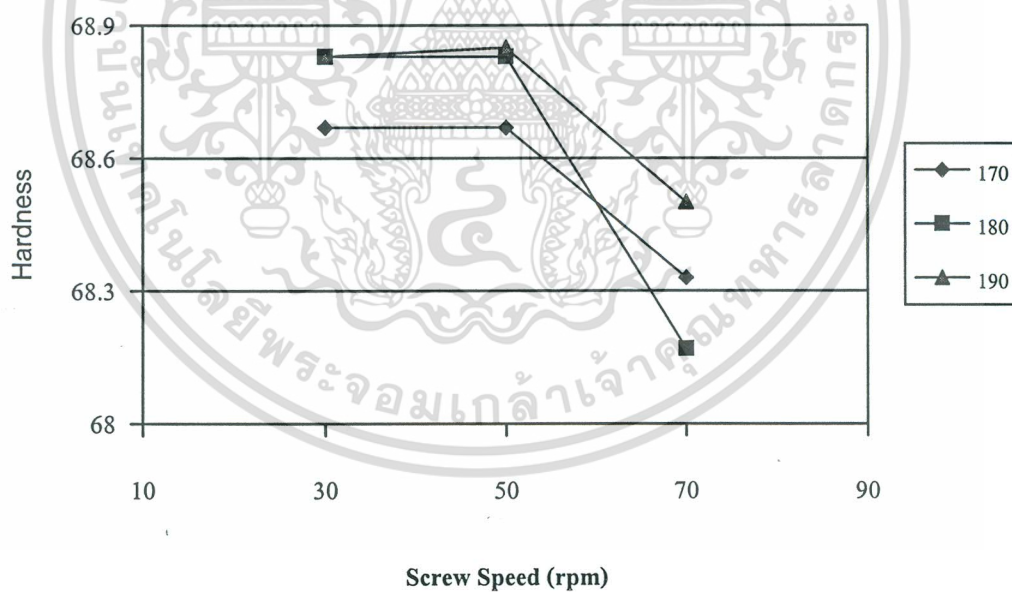


รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

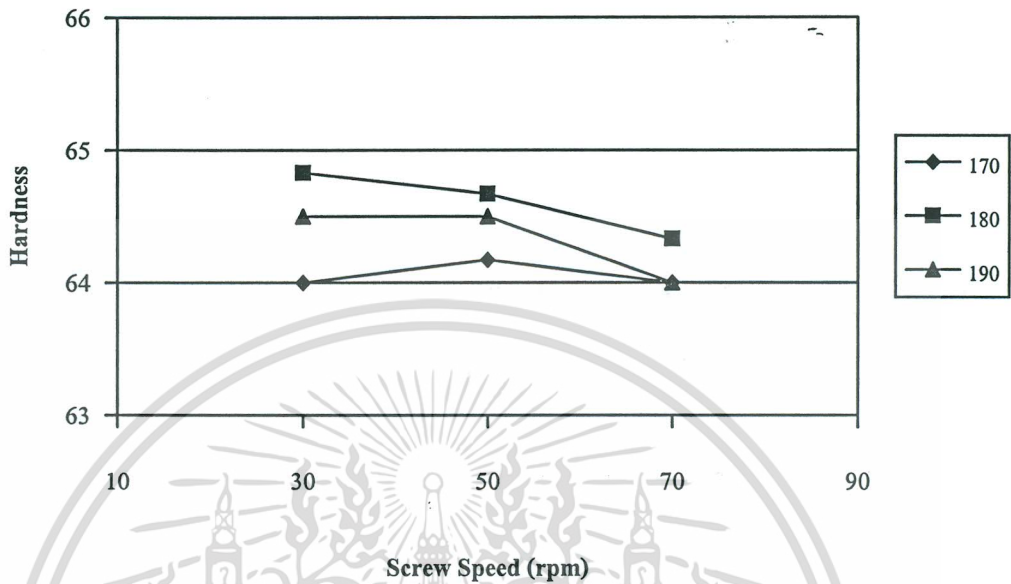


รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 75/25



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 50/50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อัตราส่วน 25/75

ตารางที่ 4.3 สรุปสภาวะที่เหมาะสมและค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตราส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness
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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยว และผลที่ควรเป็นตามทฤษฎี

จากตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลของพอลิโอฟีนส์และโพลีเอทิลีน ไตรีนเมื่อนำพอลิเมอร์สองชนิดนี้มาผสมกันจะสามารถหาค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีได้จากกฎของการผสม<sup>20</sup> ( Rule's of Mixture ) ดังสมการ

$$P = P_1V_1 + P_2V_2$$

P คือ ค่าสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสม

$P_1$  และ  $P_2$  คือ ค่าสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีของโพลีเอทิลีนไตรีนและ พอลิโอฟีนส์

$V_1$  และ  $V_2$  คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ผสม

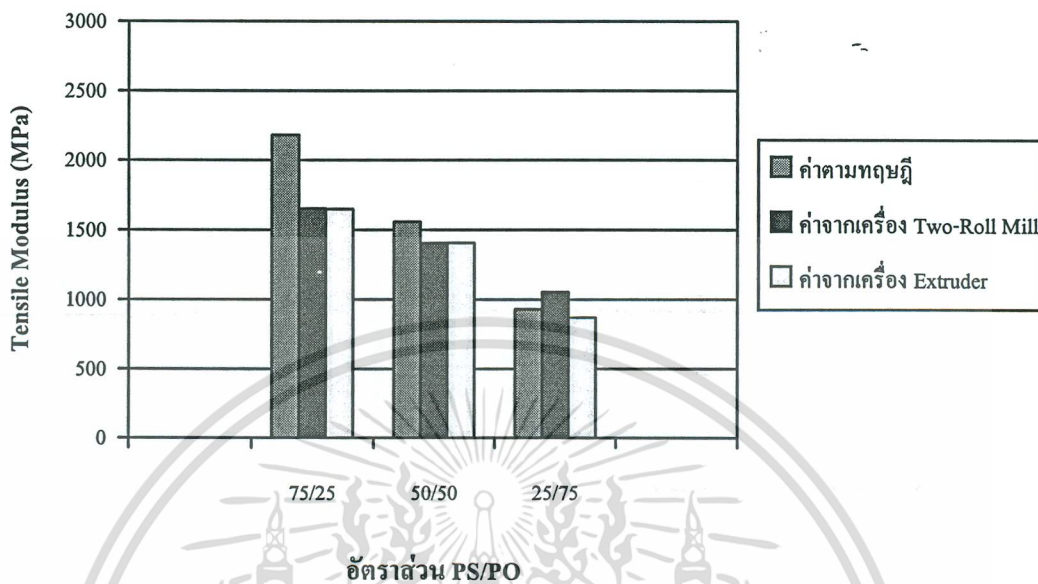
จากสมการของกฎการผสมสามารถคำนวณหาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ตามทฤษฎีของ พอลิเมอร์ผสมได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ตามทฤษฎีของพอลิเมอร์ผสม

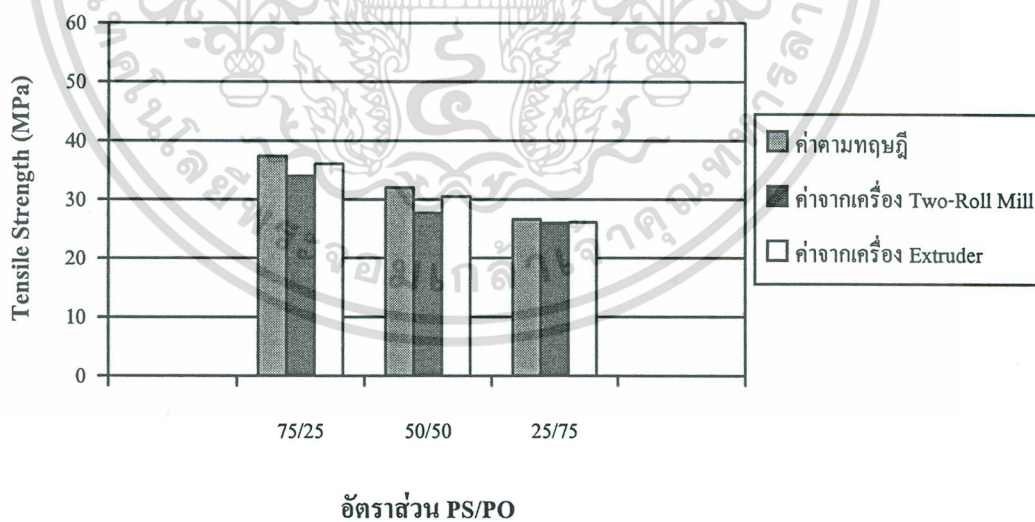
อัตราส่วน	Tensile Modulus ( MPa )	Tensile Strength ( Mpa )	Impact Strength ( kJ/ m <sup>2</sup> )	Flexural Strength ( MPa )	Hardness
PS /PO					
75/25	2182.5	37.39	15.08	2.022	70.15
50/50	1556.0	32.00	21.99	1.53	64.51
25/75	929.5	26.62	28.89	0.94	58.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 มาทำการเปรียบเทียบผลได้ ดังรูปที่ 4.21-4.25 จากรูปพบว่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนจากค่าตาม ทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์แต่ละชนิด เช่น จุดหลอม เหลว และค่าความสามารถในการละลาย เป็นต้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมกันได้ เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความสามารถในการละลายพบว่าพอลิเอทิลีน มีค่าใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีนจึงสามารถผสมรวมกันได้บางส่วน แต่เมื่อนำมาผสมรวมกับ โฟมพอลิสไตรีนซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีทั้งส่วนที่รวมเป็น เนื้อเดียวกันและส่วนที่แยกวิฎภาคกัน ดังนั้นสมบัติเชิงกลที่ได้จากพอลิเมอร์ผสมจึงต่ำกว่าที่ ควรจะเป็น และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลในแต่ละอัตราส่วน โดยพิจารณาจาก สมบัติเชิงกลตามทฤษฎีพบว่าที่อัตราส่วน 25/75 ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากกระบวนการผสม ทั้งสองใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลตามทฤษฎีมากที่สุดยกเว้น ในกรณีของความทนทานต่อแรง กระแทกที่ให้ผลต่างไปจากทฤษฎีโดยรวม จึงอาจสรุปได้ว่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วน ที่มีความเหมาะสมในการผสมโฟมพอลิสไตรีนกับพอลิโพลีฟินส์ตามทฤษฎีแต่ในทางปฏิบัติ การใช้พอลิเมอร์ผสมที่ 25/75 ให้สมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 75/25 ดังนั้นจึงควรพิจารณา ถึงลักษณะของงานที่นำไปใช้เป็นสำคัญ

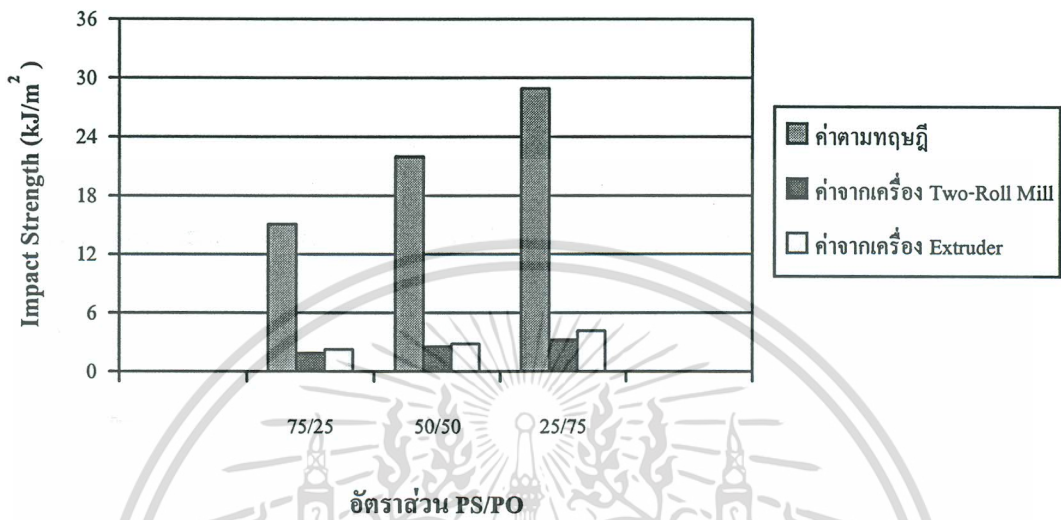


รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของการดึง

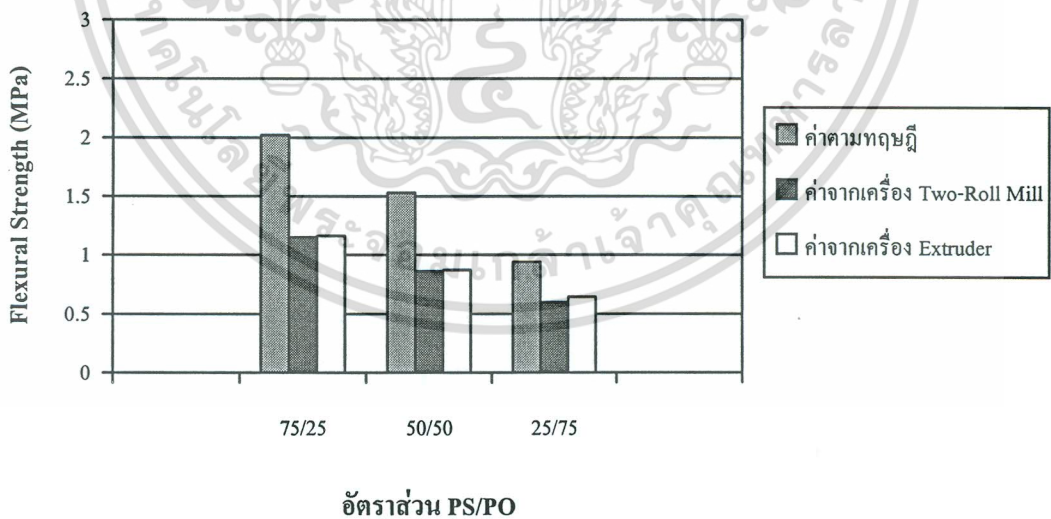


รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

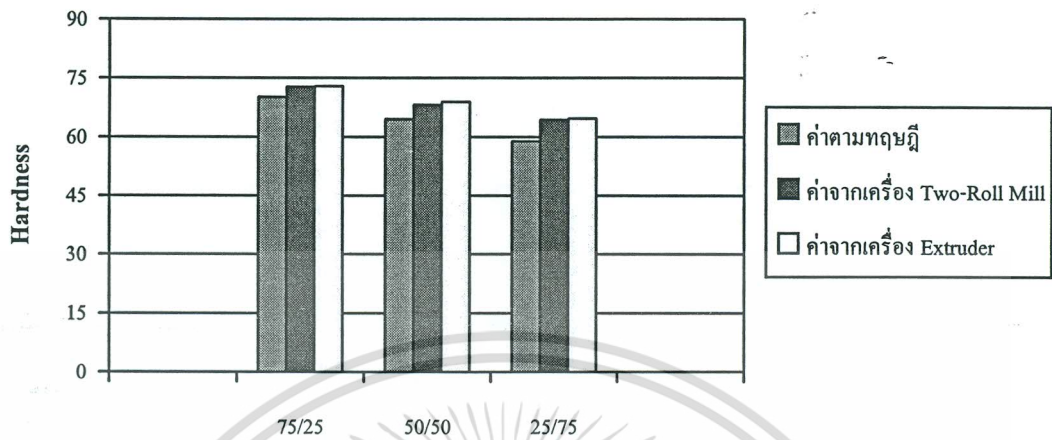


รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแรงยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัตราส่วน PS/PO

รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

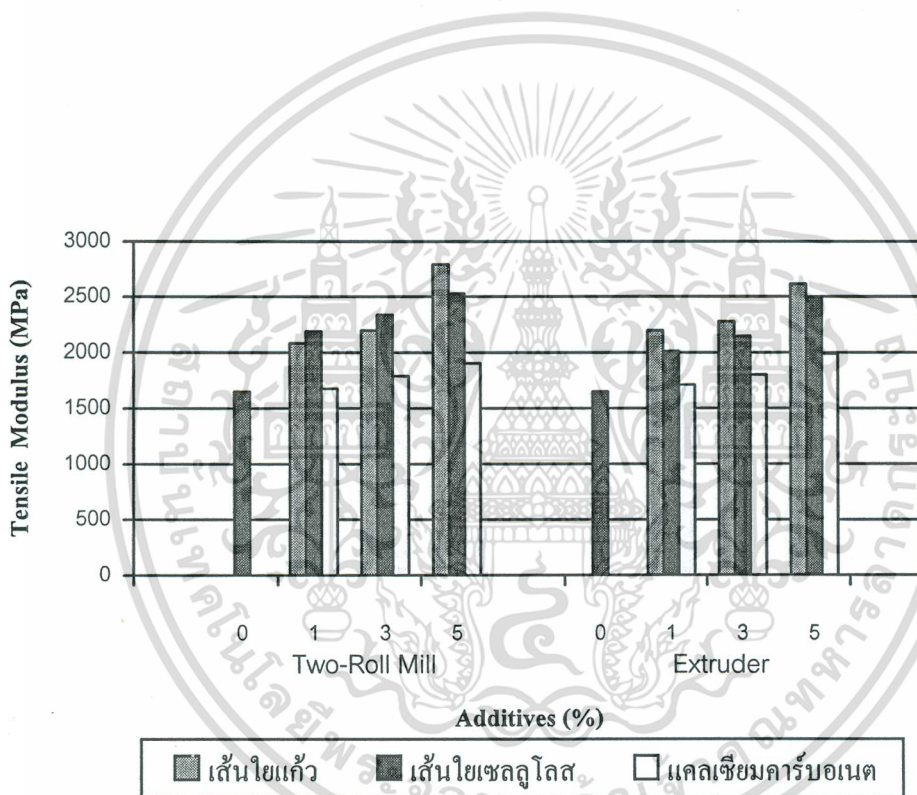
### 4.3 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง

จากการทดลองข้างต้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของ โฟมพอลิสไตรีน และพอลิโอลิฟินส์บริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสมพบว่าสมบัติเชิงกลโดยประมาณเป็นผลเฉลี่ยระหว่างพอลิเมอร์ผสม โดยมีโฟมพอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีบทบาทต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งสามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมและอัตราส่วนการผสมที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดคือที่อัตราส่วน 75/25 หลังจากนั้นจึงนำอัตราส่วนการผสมดังกล่าวมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ คือ เส้นใยแก้วชนิดสั้น เส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากตัวรถไฟที่ใช้แล้วและแคลเซียมคาร์บอเนต ขนาด 5 ไมครอน ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพหลังการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆพบว่าสภาพพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเรียบและมีความมันวาว ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของโฟมพอลิสไตรีน โดยชิ้นงานหลังการเติมเส้นใยแก้วและแคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะที่คล้ายกันคือมีความขาวและมันวาว สำหรับเส้นใยเซลลูโลสชิ้นงานที่ได้มีสีที่คล้ำลงตามสีของเส้นใยและมีกลุ่มของเส้นใยแทรกตัวอย่างชัดเจนระหว่างชิ้นงาน

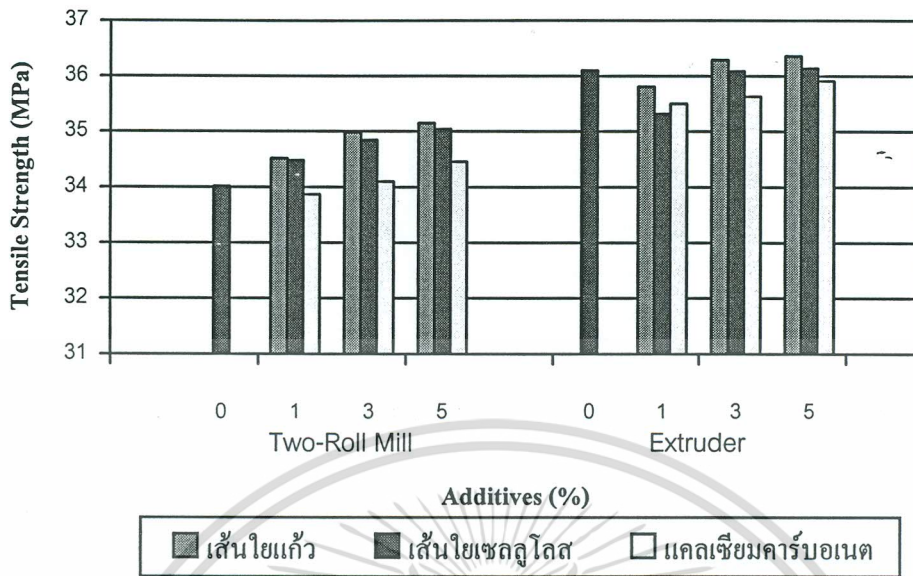
จากผลการทดลองรูปที่ 4.26-4.29 พบว่าแนวโน้มของสมบัติเชิงกล (มอดูลัสของการดึง ความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงและความแข็ง) เพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่งโดยพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมเส้นใยแก้วมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าเส้นใยเซลลูโลสและแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยแก้วมีลักษณะของเส้นใยที่มีความแข็งแรง การกระจายตัวและทิศทางการจัดเรียงตัวดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส ทำให้สามารถเข้าไปแทรกอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้ดี ในขณะที่แคลเซียมคาร์บอเนตไม่มีลักษณะเป็นเส้นใยกระจายตัวเป็นแบบสุ่มไม่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ดีจึงช่วยในการเสริมแรงได้ไม่ดีเท่ากับสารเติมแต่งที่มีลักษณะที่เป็นเส้นใย ตรงกันข้ามการเติมลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้เข้าไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมเกิดเป็นช่องว่างเล็กๆซึ่งมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลงดังรูปที่ 4.30

เมื่อพิจารณาผลของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ในปริมาณ 1%-5% โดยน้ำหนัก สมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารเติมแต่ง เนื่องจากสารเติมแต่งช่วยเสริมแรงของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นด้วย ยกเว้นความทนทานต่อแรงกระแทกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากการวัดค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเป็นการให้แรงกระทำที่ความเร็วสูง โดยบริเวณที่ชิ้นงานเกิดการหักงายที่สุดคือรอยต่อระหว่างสารเติมแต่งกับพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่งมากขึ้น ทำให้เกิดการผสมรวมเป็นเนื้อเดียวไม่ดีเพิ่มขึ้น มีการแยกวัฏภาคกันมากขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจึงลดลง(รูปที่ 4.26)

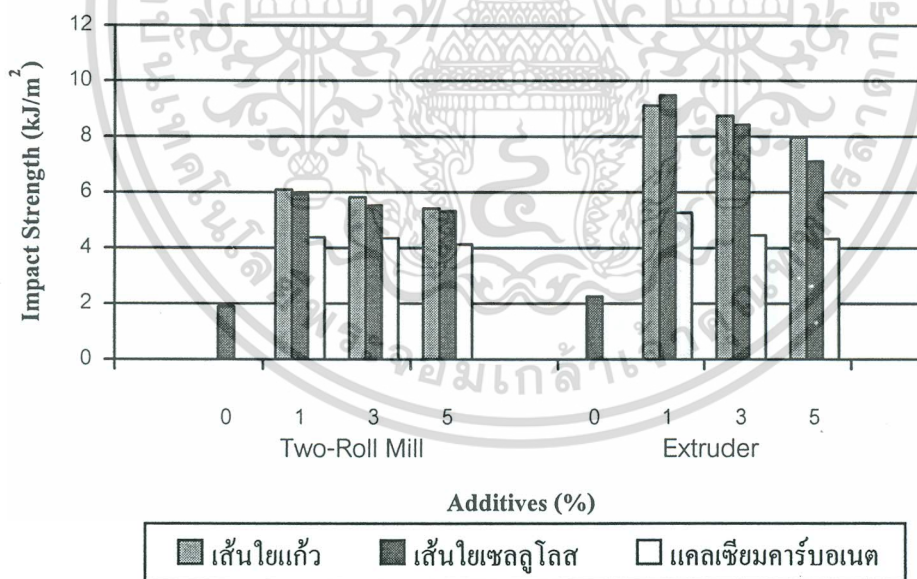


รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของการดึงหลังการเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

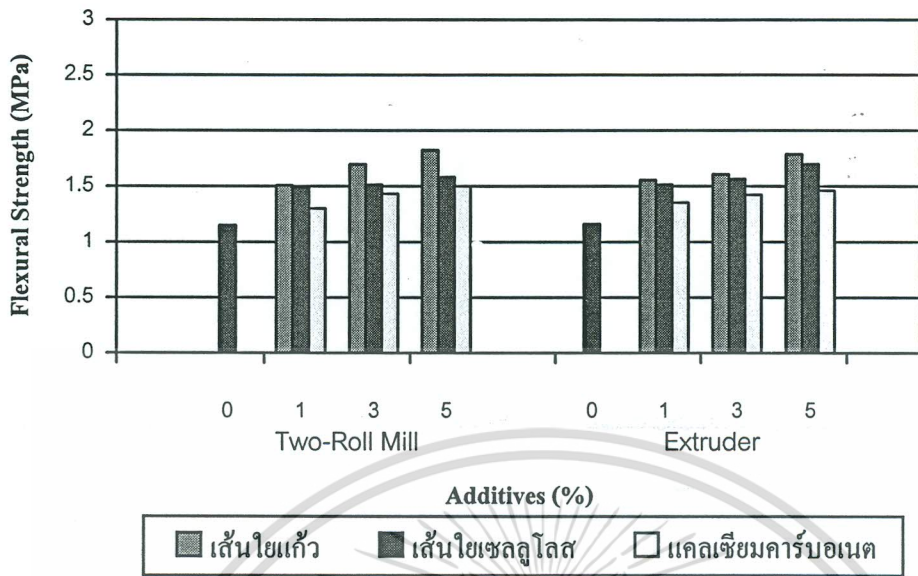


รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงหลังการเติมสารเติมแต่ง

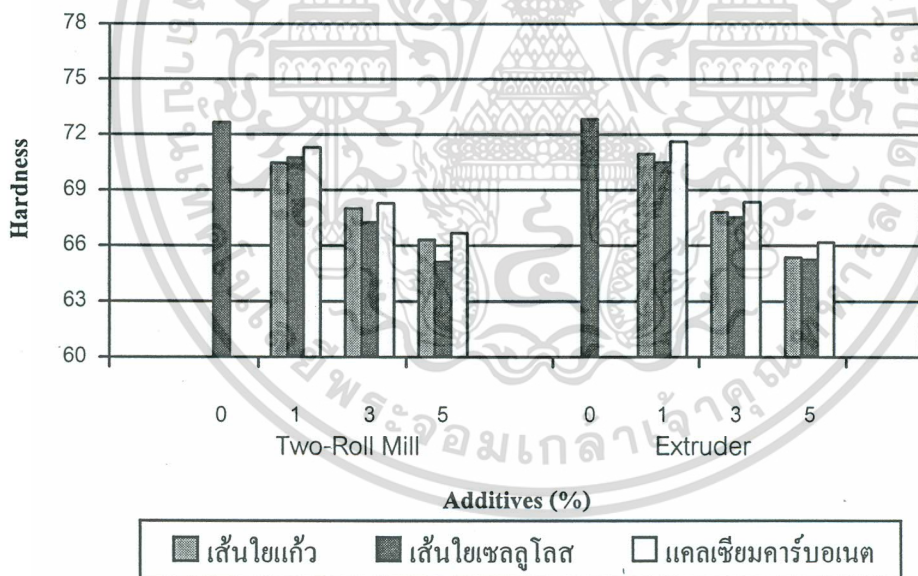


รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงกระแทกหลังการเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงยืดหยุ่นหลังการเติมสารเติมแต่ง



รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงหลังการเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการผสมโพลิเอทิลีนกับพอลิโอลิฟินส์ (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีน) ในอัตราส่วน 75/25 50/50 และ 25/75 โดยใช้เทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อศึกษาลักษณะของตัวแปรในกระบวนการผสมและผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

#### 5.1 ศึกษาสถานะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องผสมแบบต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาสมบัติเชิงกลพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนกับพอลิโอลิฟินส์ในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวพบว่าให้แนวโน้มเดียวกันคือที่อัตราส่วน 75/25 ให้สมบัติเชิงกล (ค่ามอดูลัสของการดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงยึดหยุ่นและค่าความแข็ง) สูงสุด ในขณะที่อัตราส่วน 25/75 ให้สมบัติเชิงกล (ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก) สูงสุดเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะโพลิเอทิลีนมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าพอลิโอลิฟินส์และเมื่อทำการผสมโพลิเอทิลีนกับพอลิโอลิฟินส์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มความเร็วสกรูมากขึ้นสมบัติเชิงกลลดลง ส่วนสถานะที่เหมาะสมในการผสมโพลิเอทิลีนกับพอลิโอลิฟินส์สามารถสรุปได้คือ ที่อัตราส่วน 75/25 และ 25/75 ใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น  $180^{\circ}\text{C}$  อัตราเร็วรอบของสกรูเป็น 30-50 รอบต่อนาทีสำหรับอัตราส่วน 50/50 ใช้อุณหภูมิในการผสมเป็น  $190^{\circ}\text{C}$  อัตราเร็วรอบสกรูเป็น 50 รอบต่อนาทีเพราะสถานะดังกล่าวนี้เป็นสถานะที่พอลิเมอร์สามารถผสมหลอมรวมกันได้ดีที่สุดจึงทำให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด

ถ้าทำการเปรียบเทียบผลของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมกับโพลิเอทิลีนและพอลิโอลิฟินส์พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าสมบัติเชิงกลอยู่ระหว่างสมบัติเชิงกลของโพลิเอทิลีนและพอลิโอลิฟินส์โดยมีเพียงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกเท่านั้นที่แตกต่าง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของโพลิเอทิลีน

## 5.2 ศึกษาผลที่ได้จากเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและผลที่ควรจะเป็นตามทฤษฎี

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีกับสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีเล็กน้อยอาจเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของโพลิฟอสไฟไตรีนและความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมตามทฤษฎีคือที่อัตราส่วน 25/75 ทั้งนี้เพราะให้สมบัติเชิงกลใกล้เคียงตามทฤษฎีมากที่สุด แต่สำหรับในทางปฏิบัติพบว่าอัตราส่วน 75/25 ให้สมบัติเชิงกลสูงสุดดังนั้น การนำไปใช้งานจึงควรพิจารณาถึงลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ

## 5.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่ง

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ผสมพบว่าสมบัติเชิงกลหลังการเติมสารเติมแต่งมีค่าสูงขึ้น โดยเส้นใยแก้วให้สมบัติเชิงกลมากกว่าเส้นใยเซลลูโลสและแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับและปริมาณสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านกระบวนการผสม โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวให้สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยแก้ว 5% โดยน้ำหนักมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

## 5.4 การประยุกต์ใช้งาน

จากสมบัติเชิงกลที่ได้หลังจากการเติมสารเติมแต่งตลอดจนลักษณะปรากฏที่ได้จากการผสม โพลิฟอสไฟไตรีนกับพอลิโพลิฟอสไฟไตรีนควรนำไปใช้งานด้านอุปกรณ์ตกแต่ง เช่น ทำกรอบรูป กระดาษต้นไม้ แจกัน เป็นต้น นอกจากนี้สามารถนำไปทำเป็นของเล่นประเภทต่างๆได้ด้วย

## 5.5 ข้อเสนอแนะ

- พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีอาจนำไปประยุกต์ใช้แทนพอลิเมอร์ชนิดที่มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกันได้
- เส้นใยเซลลูโลส (ตัวรถไฟที่ใช้แล้ว) เมื่อนำมาเป็นสารเติมแต่งควรทำให้มีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น
- ควรศึกษาสถานะในกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่
- ควรศึกษาสารช่วยผสมชนิดต่างๆที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น
- ควรศึกษาผลของสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### ภาคผนวกที่ 1

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

อัตราส่วน PS/PO	อุณหภูมิลูกกลิ้ง ที่ใช้ในการ ผสม (°C)		Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวกที่ 2

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตราส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

อัตราส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness
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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว

อัตราส่วน (PS/PO)	อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (°C) แต่ละบริเวณ				อัตราเร็ว สกรู (rpm)	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness
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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวกที่ 3

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังเติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

สารเติม แต่ง	ปริมาณ (%)	Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness
เส้นใยแก้ว	1	2082	34.52	6.09	1.510	70.49
	3	2194	34.98	5.82	1.697	78.00
	5	2795	35.15	5.42	1.825	66.32
เส้นใย เซลลูโลส	1	2186	34.48	5.91	1.489	70.77
	3	2338	34.85	5.53	1.514	67.26
	5	2530	35.04	5.32	1.585	65.14
แคลเซียม คาร์บอเนต	1	1678	33.87	4.38	1.303	71.31
	3	1792	34.10	4.35	1.434	68.28
	5	1903	34.46	4.13	1.499	66.67

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังเติมสารเติมแต่งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

สารเติม แต่ง	อัตราส่วน	Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness
เส้นใยแก้ว	1	2194	35.81	9.12	1.554	70.96
	3	2275	36.29	8.74	1.608	67.79
	5	2613	36.36	7.98	1.787	65.38
เส้นใย เซลลูโลส	1	2014	35.32	9.49	1.515	70.52
	3	2145	36.09	8.43	1.568	67.53
	5	2490	36.14	7.12	1.700	65.27
แคลเซียม คาร์บอเนต	1	1712	35.50	5.27	1.356	71.62
	3	1801	35.63	4.45	1.423	68.35
	5	1989	35.91	4.32	1.462	66.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Gupta, A.K. and Purwar S.N. , *J.Appl.Polym.Sci.*,1985, **30**,1799-1840.
2. Adewolef A. , Dackson K. , and Wolkowicz M. , "Advances in Polymer Technology", 1994 , 219-230.
3. Horak, Z. ; Fort, V. ; Hlavata, D. and Lednický, F. , *Polymer* , 1996, **37**(1), 65-73.
4. Webber, K.D. ; Swint , S.A. ; Conklin, T. ; and Chung , C.I. , *SPE ANTEC*, 1991, **37**, 2175.
5. Xanthos , M. , *Polym.Eng.Sci.* , 1988 , **28** , 1392.
6. Nosker , T.J. and Renfree , R.W. , *SPE ANTEC*, 1994 , **40** , 2881.
7. Fortelny , I. ; Michalkova , D. and Mikesova , *J.Appl.Polym.Sci.*,1996, **59**,155-164.
8. Fujiyama , M , *J.Appl.Polym.Sci.*,1997, **63**,1015-1027.
9. Eisele Ulrich , "Introduction to Polymer Physics " 1990, 158.
10. Kravelen, D.W., "Properties of Polymer" 1990.
11. นิกร โปณะทองและพรพงษ์ โสณวัฒน์กุล “การศึกษา Impact Modifier ที่มีต่อ Amorphous Polymer และ Semi-Crystalline Polymer” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
12. อมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ “รายงานการสัมมนา LLDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง” ศูนย์การบรรจุกีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2532
13. อมรรัตน์ สวัสดิ์ชาติ “รายงานการสัมมนา HDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง” ศูนย์การบรรจุกีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2532
14. ปรีชา พหลเทพ “โพลิเมอร์” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
15. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ “เคมีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
16. บรรจง ศรีนิจ “เทคโนโลยีพลาสติก” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์ , กรุงเทพมหานคร , 2526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

17. นภา เหลืองพิริยะชาติ และ เปรมหทัย จำเกษม “การผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วแบบโปร่งใส” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537
18. Edenbaum , J. , “ Plastic Additives and Modifiers Handbook” , Chapman&Hall , London , 1996. Pg.503-512
19. กัญญา ตระกูลกุล “เทคโนโลยีโพลิเมอร์” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์วิวกตอริพาเวอร์พอยท์ จำกัด,กรุงเทพมหานคร, 2533
20. Mallick, P.K., Fiber-Reinforced Composites .Materials, Manufacturing, and Desing, Marcel Dekker,Inc.,Vol.2 , New York , 1993 , Pg. 94.

