



การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิด  
ความหนาแน่นสูงโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์

พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม

PROPERTY MODIFICATION OF POLYMER BLEND BETWEEN POLY  
PROPYLENE AND HIGH - DENSITY POLYETHYLENE USING  
MALEIC ANHYDRIDE GRAFTED POLYPROPYLENE  
AS COUPLING AGENT

นางสาวกนิษฐา ใจอ่อน รหัส 48365095

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 13 ก.ค. 2553 .....
เลขทะเบียน..... 15059938 .....
เลขเรียกหนังสือ..... ฟร. ....
มหาวิทยาลัยนเรศวร 11281 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ กราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวกนิษฐา ใจอ่อน รหัส 48365095

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ  
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

.....กรรมการ  
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญยัคฆ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์สุสิทธิ์ ป่าไร่)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ กราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวกนิษฐา ใจอ่อน รหัสนิต 48365095
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE) โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) เป็นสารช่วยผสม โดยได้ศึกษาถึงสภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 พบว่าที่สภาวะในการฉีดขึ้นรูป Feed-zone 160 °C, Compression-zone 170 °C, Metering-zone 180 °C และ Nozzle-zone 190 °C ใช้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ให้ค่าสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกันกับสภาวะการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ และเป็นสภาวะที่สามารถขึ้นรูปได้ จากนั้นได้ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP ลงไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 สารช่วยผสมชนิด MAPP จะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ หรือความต่อเนื่องระหว่างเฟสมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสมบัติด้านความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และโมดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ 5% ให้ค่าด้านความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และโมดูลัสยืดหยุ่นดีที่สุด เมื่อนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP พบว่าการสารช่วยผสมชนิด MAPP สามารถเกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้อย่างดี ทำให้วัฏภาคระหว่าง 2 วัฏภาค มีความสามารถในการเชื่อมโยงกันมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลนั้นดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดียิ่ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คร.นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ และอาจารย์ปิยนันท์ บุญพัชร์ ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข โครงการนี้

ครูช่างประเทือง โมรราย ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร และครูช่าง ไพรัช แสงส่อง ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดอย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด และทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวกนิษฐา ใจอ่อน

มีนาคม 2553

# สารบัญ

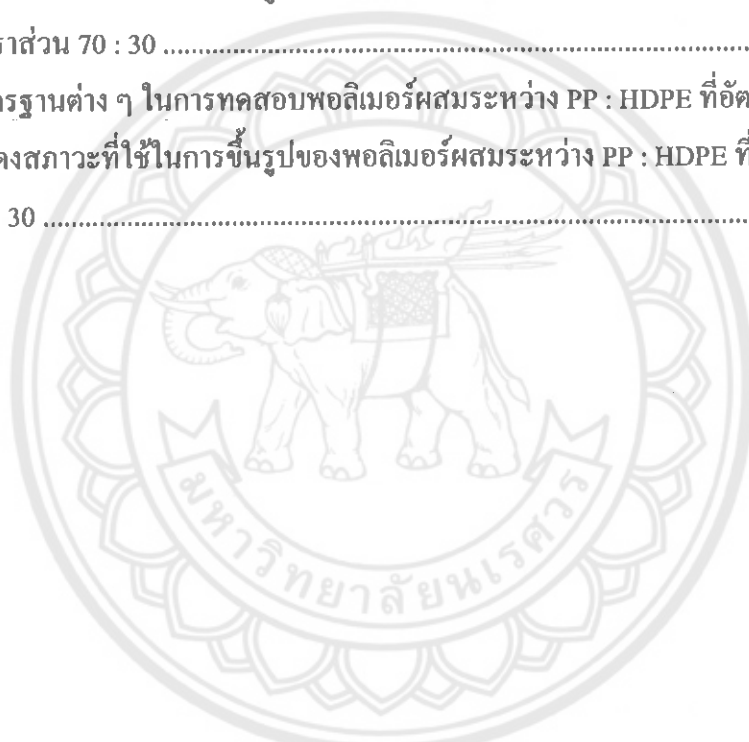
	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฅ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนิน โครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนิน โครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอนการดำเนิน โครงการ.....	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....</b>	<b>4</b>
2.1 พอลิเมอร์ (Polymer).....	4
2.2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ (Skeletal Structure and Properties of Polymer)..	4
2.3 การจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติก.....	6
2.4 ชนิดของพอลิเมอร์ (แบ่งตามโครงสร้าง โมเลกุล).....	9
2.5 สมบัติของสารที่ใช้ในงานวิจัย.....	10
2.6 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend).....	14
2.7 สารช่วยผสม (Compatibilizer).....	19
2.8 กระบวนการฉีด ( Injection Molding ).....	20
2.9 การทดสอบสมบัติของพลาสติก.....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
<b>บทที่ 3</b> วิธีดำเนินโครงการ.....	<b>29</b>
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	29
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	29
3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	29
3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	31
<b>บทที่ 4</b> ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	<b>33</b>
4.1 การศึกษาสภาวะการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 .....	33
4.2 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP.....	35
<b>บทที่ 5</b> บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	<b>41</b>
5.1 สรุปผล.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>43</b>
<b>ภาคผนวก ก.....</b>	<b>45</b>
<b>ภาคผนวก ข.....</b>	<b>49</b>
<b>ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....</b>	<b>53</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิพรอพิลีน เกรด P700J*.....	11
2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J*.....	13
2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน เกรด Polybond 3200*.....	20
3.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่ อัตราส่วน 70 : 30 .....	29
3.2 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30.....	31
4.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 .....	33



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างซ้ำกัน (Repeating Unit) ของมอนอเมอร์.....	4
2.2 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์แบบเส้น (Linear polymer).....	5
2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer).....	5
2.4 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์แบบร่างแหหรือแบบเชื่อมโยง (Network polymer or Crosslinked polymer).....	6
2.5 โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ขีดยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ และการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ (Entanglement).....	6
2.6 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติก.....	7
2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของพอลิเมอร์.....	8
2.8 การเปลี่ยนรูปของพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก.....	9
2.9 แสดงโครงสร้างสายโซ่ของชนิดพอลิเมอร์.....	10
2.10 แสดงโครงสร้างแบบย่อของพอลิพรอพิลีน.....	11
2.11 แสดงโครงสร้างแบบย่อของพอลิโอทิลีน.....	13
2.12 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ 2 ชนิด ระหว่างพอลิเมอร์ A ( ) และ พอลิเมอร์ B (-----) โดย (ก) Miscible (ข) Immiscible และ (ค) Partially miscible.....	16
2.13 กลไกของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด.....	17
2.14 แสดงโครงสร้างมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน.....	20
2.15 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก.....	21
2.16 แสดงกระบวนการฉีด (Injection Molding).....	22
2.17 แสดงรูปร่างชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 TYPE III.....	24
2.18 แผนภาพความเค้น - ความเครียด และเส้นสัมผัสเริ่มแรกที่ใช้หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น.....	25
2.19 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE. ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	27
2.20 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE : PP ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้กล้อง Photomicrograph.....	28
3.1 ลักษณะชิ้นงานคัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ.....	31
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ Nozzle-zone 190, 200 และ 210 °C (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) มอดูลัสยืดหยุ่น.....	34



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP).....	35
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP).....	37
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP).....	38
4.5	สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่กำลังขยาย 3000 เท่า (ก) PP : HDPE : 0% MAPP (ข) PP : HDPE : 1% MAPP (ค) PP : HDPE : 3% MAPP และ (ง) PP : HDPE : 5% MAPP.....	39

## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

PP	=	Polypropylene
HDPE	=	High - Density Polyethylene
LDPE	=	Low - Density Polyethylene
LLDPE	=	Linear - Low - Density Polyethylene
MAPP	=	Maleic Anhydride Grafted Polypropylene
SEM	=	Scanning Electron Microscope
MPa	=	Megapascal
min	=	Minute
mm	=	Millimeter
kg	=	Kilograms
g	=	Gram
°C	=	Degree Celsius



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเราในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพลาสติกหลากหลายชนิด ซึ่งพลาสติกนั้นได้มาจากพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ เหตุที่ทำให้พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่ดีกว่าโดยเทียบจากน้ำหนักกับวัสดุอื่น ๆ พบว่าพลาสติกมีความแข็งแรง ความเหนียว ความสามารถในการทนต่อสารเคมี และความสามารถในการรับแรงกระแทกมากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ทำให้การเลือกใช้วัสดุประเภทพลาสติกจึงเป็นที่นิยม และเป็นวัสดุที่นำมาใช้แทนวัสดุจำพวก โลหะ แก้ว เซรามิก และไม้ ด้วยคุณสมบัติที่ดีกว่าและราคาที่ถูกลงนำมาใช้ในการผลิตงานในประเภทต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เครื่องใช้ อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้น พอลิเมอร์จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

ปัจจุบันมีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ โดยนำมาผสมกันมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป เรียกว่า พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) เพราะการนำพอลิเมอร์มาผสมกันจะทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์นั้นมีคุณสมบัติที่พิเศษหลากหลายมากกว่าพอลิเมอร์ชนิดเดียว เช่น มีความแข็งแรง ความเหนียวเพิ่มขึ้น มีร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น ความสามารถรับแรงกระแทกได้ดี และส่งผลให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย พอลิเมอร์บางชนิดเมื่อผสมกันเป็นพอลิเมอร์ผสมแล้ว ได้สมบัติตามที่คาดไว้ แต่ยังมีข้อเสียดังมา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE) โดยใช้สารช่วยผสม (Coupling agent) ชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP: HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP

### 1.3 เกณฑ์วัดผลงาน (Output)

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ปรับปรุงสมบัติโดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP)

### 1.4 เกณฑ์วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP)

### 1.5 ขอบเขตการทำโครงการ

#### 1.5.1 ตัวแปรควบคุม

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้

- พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) เกรด P700J
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE ) เกรด H5818J
- มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) เกรด Polybond 3200

#### 1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

- ปริมาณสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP)
- ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)
- ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)
- โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

#### 1.5.3 ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

ระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่มีการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% (% / wt PP)

### 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

- 1.6.1 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.6.2 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.6.3 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

เดือนกรกฎาคม 2551 - เดือนพฤษภาคม 2552

## 1.8 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	พ.ศ. 2551						พ.ศ. 2552				
		ก.ค.	ค.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับพอลิเมอร์	←	→									
2	ศึกษาการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก		←	→								
3	ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล				←	→						
4	ปฏิบัติการทดลองและเก็บข้อมูล						←	→				
5	วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง								←	→		
6	สรุปผลการทดลองและนำเสนอผลการทดลอง								←	→		

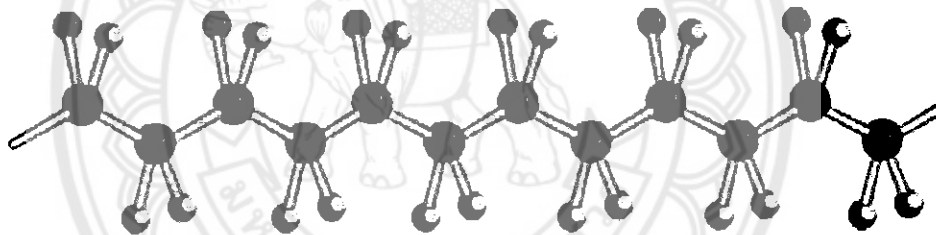
## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่มีโครงสร้างซ้ำกัน (Repeating Unit) โมเลกุลพอลิเมอร์จะต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ๆ โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี เรียกว่า พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) หน่วยเล็ก ๆ ของพอลิเมอร์ คือ โมเลกุลเล็ก ๆ เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer)

มอนอเมอร์ (Monomer) คือ หน่วยเล็ก ๆ ของสารในพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวของมอนอเมอร์แต่ละชนิด ภายใต้สภาวะต่าง ๆ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความดัน เป็นต้น ทำให้เกิดพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นมากมาย ทั้งที่เป็นพอลิเมอร์ในธรรมชาติ หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างซ้ำกัน (Repeating Unit) ของมอนอเมอร์ [1]

#### 2.2 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ (Skeletal Structure and Properties of Polymer)

โครงสร้างสายโซ่ที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ และลักษณะการคงตัวหลังการขึ้นรูป [1, 2]

##### 2.2.1 โครงสร้างแบบเส้น (Linear polymer)

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว โซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็ง ขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่น ๆ ตัวอย่าง พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน โกงงอได้มาก อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง และเปลี่ยนรูปร่างกลับไปมาได้ มีความหนาแน่น และมีจุดหลอมเหลวสูง ยืดหยุ่นได้มากที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบเส้น (Linear polymer) [3]

### 2.2.2 โครงสร้างแบบกิ่ง (Branched polymer)

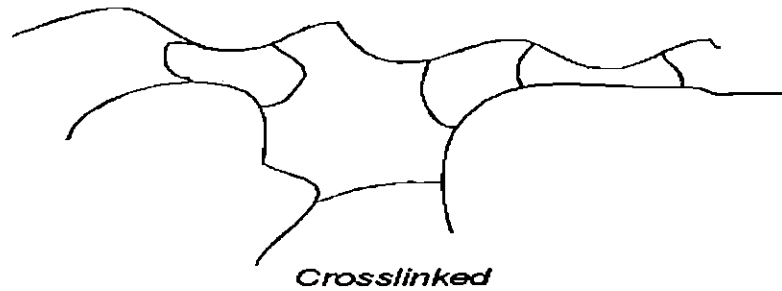
เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งสายโซ่สั้น และสายโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของสายโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวต่ำ ยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โคงงอได้ ยืดหยุ่นได้ มีความหนาแน่นต่ำ และมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าพอลิเมอร์แบบเส้น อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง และเปลี่ยนรูปร่างกลับไปได้



รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) [3]

### 2.2.3 โครงสร้างแบบร่างแหหรือแบบเชื่อมโยง (Network polymer or Crosslinked polymer)

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรง และเปราะหักง่าย ตัวอย่างเบกาไลต์ เมลามีน ใช้ทำถ้วยชาม มีความแข็งมาก ไม่ยืดหยุ่น หรือโค้งงอ เมื่อได้รับความร้อนจะไม่หลอม และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ [3]



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์แบบร่างแหหรือแบบเชื่อมโยง  
(Network polymer or Crosslinked polymer) [3]

### 2.3 การจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติก

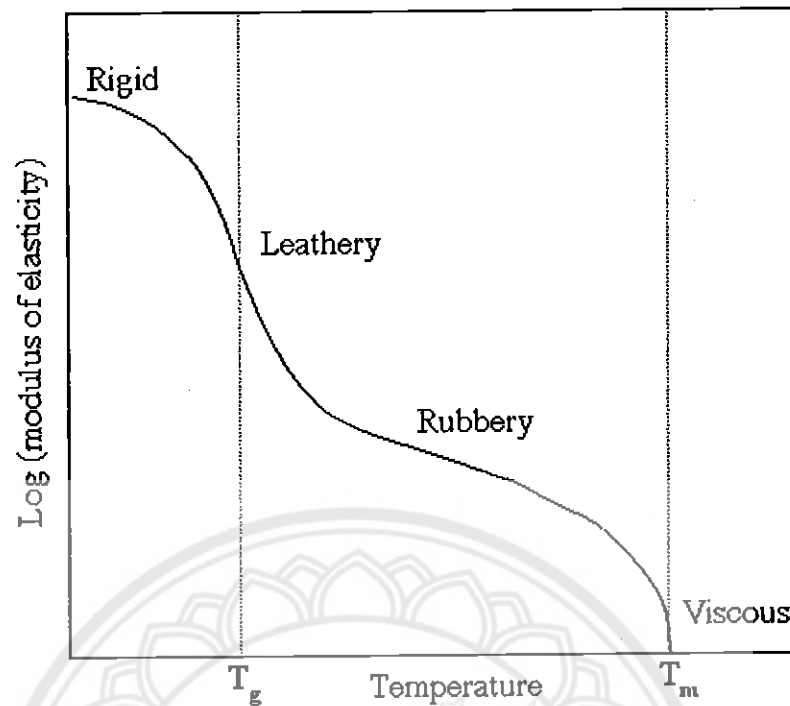
เทอร์โมพลาสติกทั่วไปมีพันธะโควาเลนต์เป็นแรงที่ยึดอะตอมภายในโมเลกุลเข้าด้วยกันสายโซ่โมเลกุลที่ยาวขด และเกี่ยวพัน (Entanglement) กับโมเลกุลข้างเคียง และยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ซึ่งเป็นแรงอ่อน ๆ ระหว่างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์  
และการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ (Entanglement) [4]

เมื่อเทอร์โมพลาสติกได้รับความร้อน แรงหรือเกิดความเครียด แรงระหว่างโมเลกุลจะถูกทำลายลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลสามารถหมุน และเลื่อนไหลผ่านกันได้ ซึ่งการหมุน และเลื่อนไหลผ่านกันของโมเลกุลขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ และอุณหภูมิ อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.6





รูปที่ 2.6 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติก [4]

จากกราฟแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติก แสดงว่า ก่อนเทอร์โมพลาสติกที่จะได้รับความร้อน วัสดุนั้นจะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงสุด วัสดุจะอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง (Rigid) เมื่อวัสดุเข้าใกล้อุณหภูมิ  $T_g$  วัสดุจะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นลดลง วัสดุจะอ่อนตัวลง เมื่อวัสดุอยู่ในช่วงอุณหภูมิ  $T_g$  และ  $T_m$  วัสดุนั้นจะมีสถานะ Elastomer (Rubbery) วัสดุจะมีความยืดหยุ่น เป็นช่วงที่วัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร และเมื่อวัสดุได้รับอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิ  $T_m$  วัสดุนั้นจะมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติก

### 2.3.1 การเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์เมื่อได้รับอุณหภูมิ

#### 2.3.1.1 อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (Glass Transition Temperature : $T_g$ )

พอลิเมอร์ที่แสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันเป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลแบบไม่เป็นระเบียบ หรือพอลิเมอร์อสัณฐาน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $T_g$  พอลิเมอร์จะมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายแก้ว (Glass State) แข็ง และเปราะ เมื่อทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $T_g$  มากๆ สมบัติบางอย่างของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนไป เช่น ความหนาแน่น ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2.7

#### 2.3.1.2 อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature : $T_m$ )

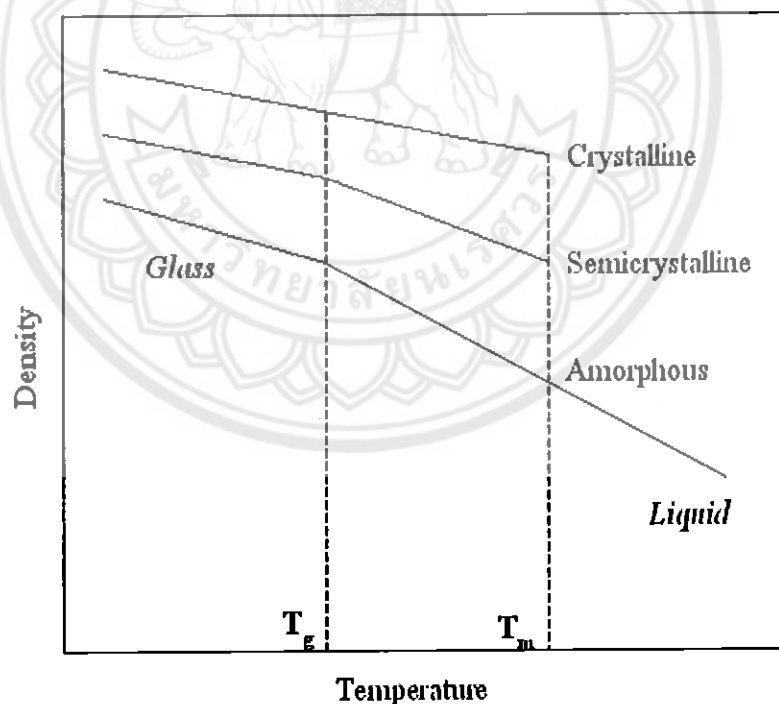
พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งผลึกเป็นของเหลวที่อุณหภูมิหลอมเหลว ณ อุณหภูมินี้พันธะระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์จะอ่อนลง เมื่อ

พอลิเมอร์ได้รับแรง โมเลกุลจะเลื่อนผ่านกัน และไหลได้ ความแข็งแรง และโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าใกล้เคียงกัน สถานะนี้เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป พอลิเมอร์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การหล่อ เป็นต้น จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์หลายชนิด พอลิเมอร์ทั่วไปที่มีลักษณะกึ่งผลึก (Semicrystalline) หรือมีทั้งส่วนที่เป็นผลึก และส่วนอสัณฐานปนกันอยู่ จะแสดงการเปลี่ยนสถานะทั้งอุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน

### 2.3.1.3 อุณหภูมิสลายตัว (Degradation Temperature : $T_d$ )

ที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ พันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมในสายโซ่พอลิเมอร์สามารถถูกทำลายลง และทำให้พอลิเมอร์ไหม้ อุณหภูมิดังกล่าวนี้ คือ อุณหภูมิของการสลายตัว นอกจากนี้ ก๊าซออกซิเจน รังสีอัลตราไวโอเลต และแบคทีเรีย ก็สามารถทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้เมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ

$T_g$  ของพอลิเมอร์ทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.75 เท่าของ  $T_m$  พอลิเมอร์โครงสร้างของพอลิเมอร์ก็มีผลต่อ  $T_g$  ด้วย เช่น พอลิเอทิลีนมี  $T_g$  ต่ำ (ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง) เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน ซึ่งมีหมู่แทนที่ต่อกับคาร์บอนในสายโซ่หลักจะมี  $T_g$  สูงกว่า (85 - 125 °C) [4]



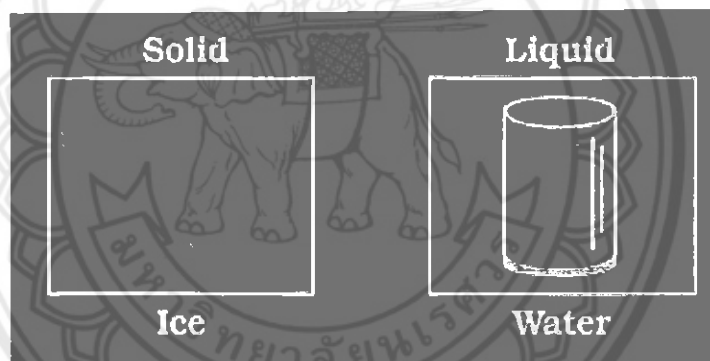
รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของพอลิเมอร์ [4]

## 2.4 ชนิดของพอลิเมอร์ ซึ่งแบ่งตามโครงสร้างโมเลกุล

เมื่อพิจารณาการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล (Crosslinking) เราสามารถแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้ [2, 3]

### 2.4.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics : thermo แปลว่า ความร้อน และ Plastic แปลว่า อ่อนนุ่ม) พลาสติกชนิดนี้ เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่ออุณหภูมิลดลงจะแข็งตัว ถ้าให้ความร้อนอีกครั้งก็จะอ่อนตัว สามารถทำให้กลับเป็นรูปเดิม หรือเปลี่ยนเป็นรูปอื่นได้ โดยสมบัติของพลาสติกเหมือนเดิม พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาวมีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก จึงสามารถหลอมเหลว หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมาก ๆ โดยจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติก คือ พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน เป็นการเปลี่ยนสภาวะทางกายภาพเท่านั้น เปรียบเหมือนการเปลี่ยนสถานะของน้ำ และน้ำแข็ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนไป - กลับได้หลายครั้ง ดังรูปที่ 2.8

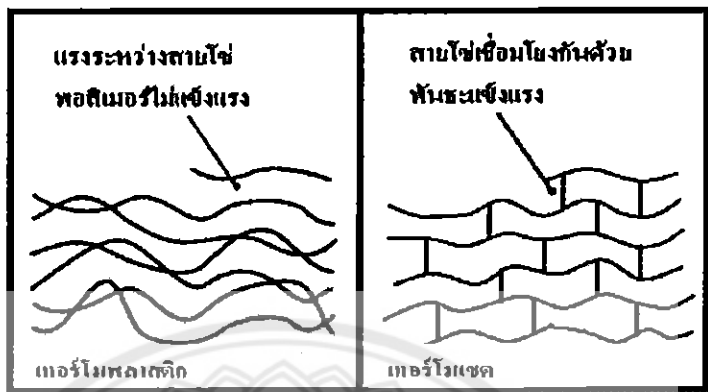


รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนรูปของพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก [5]

### 2.4.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

พลาสติกเทอร์โมเซต (Thermosetting plastics หรือ Thermoset : thermo แปลว่า ความร้อน และ Set แปลว่า ทำให้แข็ง) พลาสติกชนิดนี้ จะคงรูปภายหลังจากการผ่านความร้อน หรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งตัว มีความแข็งแรงมาก ทนความร้อน และความดัน ไม่อ่อนตัว และเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงพอก็จะแตก และไหม้เป็นขี้เถ้า พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้

ตัวอย่างของเทอร์โมเซต คือ เมลามีน พอลิยูรีเทน อีพอกซี (เป็นการเปลี่ยนสภาวะทางเคมี เปรียบเหมือนการอบเค้ก ซึ่งเมื่อให้ความร้อนสารจะเปลี่ยนสภาพทางเคมี และคงรูปอย่างนั้นไม่สามารถ เปลี่ยนรูปได้อีก



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างสายโซ่ของชนิดพอลิเมอร์ [5]

พลาสติกที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในประเภทของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene: PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High - Density Polyethylene : HDPE) [3, 5]

## 2.5 สมบัติของสารที่ใช้ในงานวิจัย

พลาสติกที่ใช้ในงานวิจัย คือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High - Density Polyethylene : HDPE) และสารช่วยผสม (Coupling agent) คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP)

### 2.5.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

พอลิพรอพิลีน มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอด ปราศจากสาขาโซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมเหลว 163 °C พอลิเมอร์ชนิดนี้ถือว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905 g/cm<sup>3</sup> ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้ เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน และเนื่องจากมีความเป็นผลึกสูงนี้เอง เป็นเหตุให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง และมีความแข็งแรงดึงสูง จุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิพรอพิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงกว่า วัสดุที่ทำมาจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษารูปร่างไว้ได้ที่อุณหภูมิ 140 °C ทนต่อการ - เบส เป็นอย่างดี และเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทั่วไป

### สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน

- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัว ไม่เสียรูปง่าย
- สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมากแต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัวหรืออ่อนนิ่มได้
- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซได้ดี
- สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100 °C) ได้
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะ โปร่งแสง และทึบแสง

### ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพรอพิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอ คือ ถังเครื่องมือ กระเป๋ากก แป้งเพิ่มเอกสาร ถัง และตลับ เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือนกล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี กระจังน้ำมันเครื่อง กระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างแบบย่อของพอลิพรอพิลีน [4]

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิพรอพิลีน เกรด P700J\*

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ค่า	หน่วย
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 at 230 °C, 2.16 kg	12	g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.910	g/cm <sup>3</sup>
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	200	kg/cm <sup>2</sup>
Elongation at Break	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	650	%
Melting Point	ASTM D 2117	163	°C

\* ข้อมูลจากบริษัท SCG

จากตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของ PP เกรด P700J โดยมีการทดสอบ ดัชนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสถานะที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม  $230^{\circ}\text{C}$  คุ้มน้ำหนักที่ใช้กด คือ 2.16 kg และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 min ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด  $0.90 - 1.00 \text{ g/cm}^3$  ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นคัมเบลล์ทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราเร็วในการดึง  $50 \text{ mm/min}$ , โมดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3 - Point - Bending test) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 mm หนา 4 mm ความยาวประมาณ 15 - 17 เท่าของความหนืดจุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117 [2, 4, 6]

### 2.5.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE )

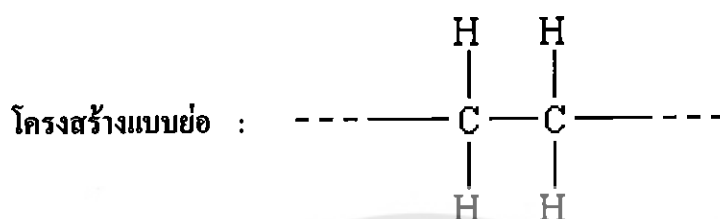
โดยทั่วไปแล้ว พอลิเอทิลีน มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น ยึดหยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนความร้อน ได้ไม่มากนัก แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใสสีผสมได้ง่ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเชิงเส้นตรงที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างสม่ำเสมอมีโซ่กิ่งน้อย และสั้น โข่มีความเป็นระเบียบมากเป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีความเป็นผลึกสูง (มากกว่า 90 %) ความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปมีความหนาแน่น  $0.95 - 0.97 \text{ g/cm}^3$  มีจุดหลอมเหลว  $135^{\circ}\text{C}$  ทำให้ความเหนียว ความแข็งและค่าความแข็งแรงสูงยิ่งกว่า เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็ง และความเหนียวเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมตัวสูงขึ้น และอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของพื้นผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ผิวจะแตกรานได้ง่ายขึ้น

#### สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

- มีความยึดหยุ่นได้ดี มีความเหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำ
- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก
- ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควร และอากาศสามารถซึมผ่านได้ดี
- ความสามารถในการหดตัวขณะอยู่ในแม่พิมพ์ดีมาก ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ง่าย
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- ผสมสีได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตเป็นฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์มทึบแสงได้

### ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ ขวดใส่สารเคมี ขวดใส่น้ำ ถัง หรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ ของเล่นของเด็ก ถุงเย็น ถาดทำน้ำแข็ง ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ฉนวนใยแก้ว แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ โตะ และเก้าอี้ที่มีน้ำหนักเบา



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างแบบย่อของพอลิเอทิลีน [4]

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J\*

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ค่า	หน่วย
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 at 190 °C, 2.16 kg	18	g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.962	g/cm <sup>3</sup>
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	160	kg/cm <sup>2</sup>
Elongation at Break	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	150	%
Melting Point	ASTM D 2117	131	°C

\* ข้อมูลจากบริษัท SCG Chemicals

จากตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของ HDPE เกรด H5818J โดยมีการทดสอบ คำนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 190 °C ค้อนน้ำหนักที่ใช้กด คือ 2.16 kg และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 min ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลายที่ความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด 0.90 - 1.00 g/cm<sup>3</sup> ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นคัมเบลล์ทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min, โมดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการ

ทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3 - Point - Bending test) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 mm หนา 4 mm ความยาวประมาณ 15 - 17 เท่าของความหนีดจุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117 [2, 3, 7]

## 2.6 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อ หรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดีเนื่องจากมีโครงสร้างสายโซ่คล้ายกัน แต่บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกัน จึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผสมผสาน โมเลกุล หรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน

↳ ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วย 2 เฟส คือ เมทริกซ์เฟส และดิสเพอร์สเฟส ซึ่งเมทริกซ์เฟสคือ เฟสที่เป็นตัวหลักที่กำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ส่วนดิสเพอร์สเฟสคือ เฟสที่มีการกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมโดยอาจจะอยู่ในลักษณะที่เป็นเส้นใย ทรงกลม แผ่น หรือโครงสร้างที่เป็นแผ่นบาง (Lamellae) เป็นต้น เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีน และพอลิวิวตะไคอิน ในอัตราส่วน 70 : 30 โดยน้ำหนัก จะมีพอลิสไตรีนเป็นเมทริกซ์เฟส และพอลิวิวตะไคอินเป็นดิสเพอร์สเฟสกระจายตัวอยู่ในพอลิสไตรีน ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเปราะลดลง เพราะอนุภาคของพอลิวิวตะไคอิน ไปช่วยในการรับแรงกระแทก และมีความอ่อนนุ่มมากกว่าพอลิสไตรีนธรรมดา แต่จะมีลักษณะขุ่น เพราะอนุภาคของพอลิวิวตะไคอินนั้นไปทำให้เกิดการสะท้อนของแสง โดยการผสมพอลิเมอร์ผสมนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ



### 1. การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Reactive blending)

พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันนั้นจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน ทำให้เกิดพันธะทางเคมีขึ้นเช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนต และพอลิเอไมด์ ซึ่งพอลิเมอร์จะต้องมีหมู่ฟังก์ชันสำหรับทำปฏิกิริยา

### 2. การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Non – reactive blending)

การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสูตร โครงสร้างที่เหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัฏภาคสองชนิดของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสารช่วยผสมนิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ร่วม ซึ่งมีหลายชนิดคือ พอลิเมอร์ร่วม แบบโคบอล็อก แบบไตรบล็อก แบบกราฟต์ หรือแบบตุ้ม

โดยสิ่งที่ต้องคำนึงมากที่สุดในการทำพอลิเมอร์ผสม คือ ความเข้ากันได้ (Compatability) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยเฉพาะการผลิตในทางการค้า ซึ่งมีพอลิเมอร์บางชนิดที่มีความสามารถในการเข้ากันได้แค่บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลต่างกัน ความมีขั้วต่างกัน ทำให้พอลิเมอร์ที่ทำการผสมกันไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระในพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับสารโมเลกุลเล็ก ทำให้เกิดการแยกชั้นของพอลิเมอร์เกิดขึ้น นอกจากนี้พลังงานของพอลิเมอร์แต่ละชนิดยังเป็นปัจจัยทำให้พอลิเมอร์เกิดความเข้ากันได้ หรือไม่ด้วย เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิด [8]

#### 2.6.1 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม

แบ่งตามสัณฐานวิทยาได้ 3 ประเภท ได้แก่

##### 2.6.1.1 พอลิเมอร์ที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible)

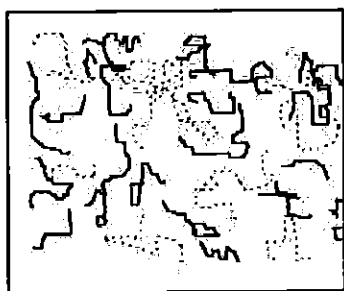
โมเลกุลของพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B จะอยู่รวมกันมองเห็นเป็นวัฏภาคเดียวในโมเลกุลของพอลิเมอร์ A จะมีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างจาก โมเลกุลพอลิเมอร์ B ทำให้เกิดแรงดึงดูดกันสมบัติของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับพอลิเมอร์ร่วมแบบตุ้ม ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีน้อย เช่น ยางธรรมชาติกับบิวตะไคอื่น

##### 2.6.1.2 พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible)

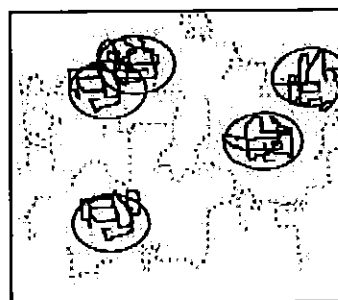
พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้แยกออกจากกันเป็น 2 วัฏภาคอย่างเห็นได้ชัด โดยที่โดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยจะเป็นวัฏภาคกระจาย พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากจะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน

##### 2.6.1.3 พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (Partially miscible)

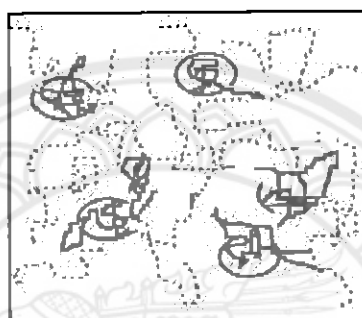
พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้อาจรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งน้อยกว่า ถ้าอัตราส่วนเท่ากันจะแยกออกเป็นวัฏภาค พอลิเมอร์ A อาจจะไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวหน้าพอลิเมอร์ B ซึ่งช่วยให้วัฏภาคมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีสมบัติที่ดี เช่น พอลิเมอร์เอทิลีนกับพอลิไอโซบิวทิลีน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ 2 ชนิด ระหว่างพอลิเมอร์ A (—) และ พอลิเมอร์ B (-----) โดย (ก) Miscible (ข) Immiscible และ (ค) Partially miscible [10]

### 2.6.2 กลไกสภาพเข้ากันได้ (Compatibility Mechanism)

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะให้สมบัติที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะสมบัติเชิงกล ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงดูด ระหว่างผิวสัมผัสที่ต่ำ และความเค้นสะสม (Stress concentration) จากการกระจายตัวในเมทริกซ์ ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสม หรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (In - situ Chemical reaction) เพื่อปรับปรุงแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมกับสารช่วยผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างสัณฐานวิทยา และสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่เหมาะสม

### 2.6.3 วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้ (Method of Compatibilization)

เทคนิคที่ใช้ในการผสมเพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามต้องการนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีอาจมีความเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากต้นทุนเป็นสำคัญ เทคนิคเหล่านี้ คือ

### 2.6.3.1 การพิจารณาสภาพผสมเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Miscibility)

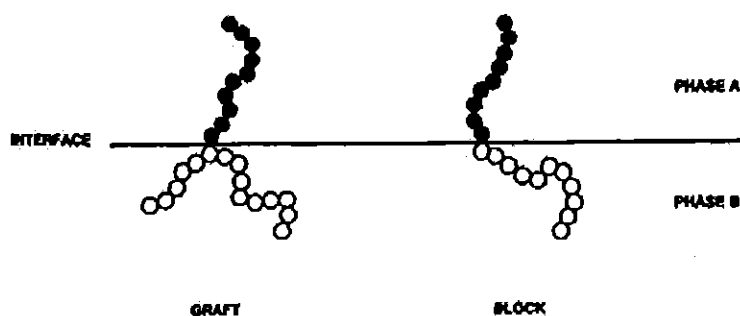
ความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นหลักการที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางการค้า โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมมูลระหว่างเอนทัลปี และเอนโทรปีของการผสมที่มีต่อพลังงานเสรีของการผสม (Free energy of mixing)

$$\Delta G_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} - T\Delta S_{\text{m}} \quad (2.1)$$

เมื่อ	$\Delta G$	คือ	พลังงานอิสระกิบส์
	$\Delta H$	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม
	$\Delta S$	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม
	T	คือ	อุณหภูมิ (K)

### 2.6.3.2 การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymers)

การเติมบล็อก หรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์เป็นที่นิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์แต่ละชนิดนำมาผสมกัน ส่วนโคพอลิเมอร์จะต้องมีโครงสร้างทางเคมี และน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โดยพบว่าสายโซ่โมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะต้องยาวพอที่จะจับกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสม แต่ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงจนเกินไป เพราะจะแพร่ไปที่ผิวระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดได้ช้ากว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ กลไกของสารช่วยผสมระหว่างเฟสดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กลไกของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด [17]

โครงสร้าง และน้ำหนัก โมเลกุลของ โคลอติเมอร์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของ การเป็นสารช่วยผสมอย่างมาก จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบ สมบัติด้านแรงดึง พบว่า

1. บล็อกโคลอติเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคลอติเมอร์
2. โคลบล็อกโคลอติเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคลอติเมอร์
3. โคลบล็อกโคลอติเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมาจาก

ประสิทธิภาพสูงกว่าโคลบล็อกโคลอติเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

#### 2.6.3.3 การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Functional/Reactive Polymers)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม บ่อยครั้งเป็นการ นำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อ ปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดเป็นปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไฮโดรเจนกับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชัน สามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์ หรือโดยผ่านกระบวนการอครีด ตัวอย่างเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโเอเลฟินส์โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่เอมีโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโเอเลฟินส์กราฟต์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์จัดเป็นสารช่วยผสม ที่ได้รับความนิยมในทางการค้า และมีราคาไม่แพงนัก

#### 2.6.3.4 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคลอติเมอร์ หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In - situ Grafting Polymerization)

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคลอติเมอร์ หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม หรือ Reactive Blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่น ๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม กลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม อาจมีได้ดังนี้

1. เกิดกราฟต์ หรือบล็อกโคลอติเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ อาจกระตุ้น โดยการเติมตัวริเริ่ม (Initiator) ในระหว่างการผสม
2. เกิดบล็อกโคลอติเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (Interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ชนิดความแน่น
3. เกิดการขาด และรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อสร้างบล็อก หรือกราฟต์โคลอติเมอร์โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูง
4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [9, 10]

## 2.7 สารช่วยผสม (Compatibilizer) \*

การเติมสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีผลให้

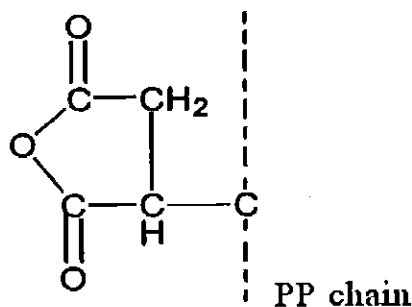
- แรงตึงผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าลดลง ทำให้การกระจายตัวในวัฏภาคดีขึ้น

- เพิ่มแรงยึดติด (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัส ทำให้การถ่ายเทความเค้น (Stress transfer) เกิดได้ดีขึ้น

- ช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

โดยสารช่วยผสมอาจเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดบล็อก หรือกราฟต์ ซึ่งสามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปในวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น ในการเลือกพอลิเมอร์ร่วมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลในแต่ละส่วนของพอลิเมอร์ร่วม คือ ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความยาวของสายโซ่สั้น ทำให้การแทรกซึมผ่านไปในพอลิเมอร์ผสมได้น้อย ส่งผลให้การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสต่ำ แต่ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากเกินไป ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก การแทรกซึมผ่านไปในพอลิเมอร์ผสมก็ต่ำเช่นเดียวกัน | ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้สารช่วยผสมมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) โครงสร้างดังรูปที่ 2.14 เป็นสารช่วยผสม พอลิพรอพิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้เมื่อทำการผสมกับวัสดุอื่นที่มีขั้ว มักมีสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดหนึ่งลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นการต่อกิ่งพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physical chemical) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิพรอพิลีน โดยทำให้ความเป็นบวกเพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Additive) ได้เป็นอย่างดี การทำงานแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างมาเลอิกแอนไฮไคร์กราฟต์พอลิพรอพิลีน [12]

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของมาเลอิกแอนไฮไคร์กราฟต์พอลิพรอพิลีน เกรด Polybond 3200\*

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ค่า	หน่วย
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 at 190 °C, 2.16 kg	115	g/10 min
Density	ASTM D 792 at 23 °C	0.91	g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	DSC	160-170	°C

\*ข้อมูลจากบริษัท Crompton

จากตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของ MAPP เกรด Polybond 3200 โดยมีการทดสอบ คำนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบคั้งนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 190 °C ค้มน้ำหนักที่ใช้กด คือ 2.16 kg และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 min ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลายที่ความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 792 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบคั้งนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 23 °C ช่วงของการวัด 0.90 - 1.00 g/cm<sup>3</sup> จุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน DSC [11, 12, 13, 14]

## 2.8 กระบวนการฉีด (Injection Molding)

กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เพราะเกี่ยวข้องกับการนำเอาพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ที่มีสมบัติเหมาะสม มาผลิตเป็นรูปทรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยศาสตร์นี้จะเกี่ยวข้องกับความรู้อในหลาย ๆ ด้านทั้งการออกแบบเครื่องจักร การพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ การถ่ายเทความร้อน และการออกแบบแม่พิมพ์ เป็นต้น โดยทั่วไปการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำได้โดยการหลอมให้อยู่ในสถานะของเหลว แล้วทำการเคลื่อนของเหลวนี้ผ่าน หรือเข้าไปเติมในแม่พิมพ์ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง เพื่อให้ได้ชิ้นงานในรูปทรงที่ต้องการ

### 2.8.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก

โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติก จะมีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนชุดฉีด (Injection Unit), ส่วนชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และ ส่วนสุดท้าย คือ ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)

#### 2.8.1.1 ส่วนชุดฉีด (Injection Unit)

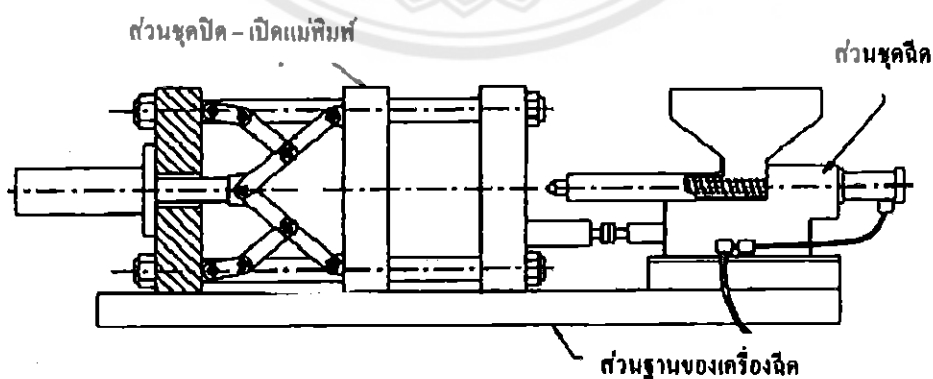
จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกลีด เพื่อหลอมเหลว และส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีด และรักษาความดันย้ำ ซึ่งจะมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ หัวฉีด (Nozzle-zone), สกรู (Screw), กระบอกลีด (Barrel), แผ่นความร้อน (Heater), กรวยเติมพลาสติก (Hopper), กระบอกสูบ และลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder and pistol) และมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู (Drive motor)

#### 2.8.1.2 ส่วนชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เคลื่อนปิด - เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อเย็นชิ้นงาน และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่ และอยู่กับที่เพลาหน้าเคลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด - เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน

#### 2.8.1.3 ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)

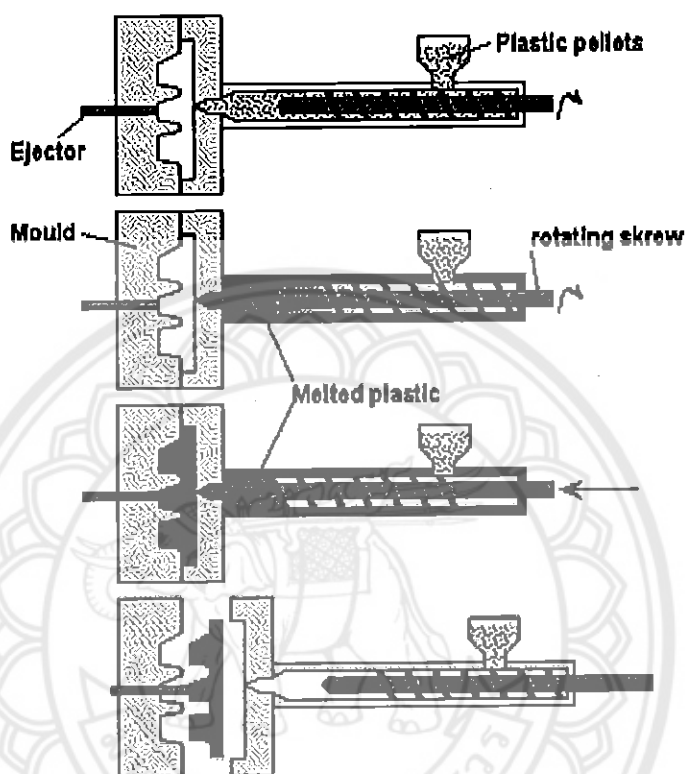
ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่องจะทำด้วยเหล็กเหนียวที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่อง เพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมาก ๆ ได้ดี



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องฉีดพลาสติก [15]

## 2.8.2 ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

การฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding นี้เครื่องฉีดจะประกอบด้วยสกรู และเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้การฉีดพลาสติกแบบนี้เป็นที่นิยมอย่างมาก



รูปที่ 2.16 แสดงกระบวนการฉีด (Injection Molding) [16]

ขั้นตอนการฉีดพลาสติกได้ 9 จังหวะ ดังต่อไปนี้

1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด และล็อกแน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวจากแรงดันภายในแม่พิมพ์
2. ชุดฉีดเคลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และคงสภาพไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด
3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน
4. รักษาความดันฉีดข้ำให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น และไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน
5. ขณะฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์จะมีการหล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ซึ่งที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมากต่อชิ้นงาน



6. การหลอม และป้อนพลาสติกไปหน้าปลาสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่  
ต้องการแล้วเกลียวท่อนจะหยุดหมุน

7. ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้  
พลาสติกหนืดเกินไป และไหลไม่ได้

8. แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น

9. ทำการปลดชิ้นงานเมื่อแม่พิมพ์เคลื่อนเปิดออกสุดแล้ว

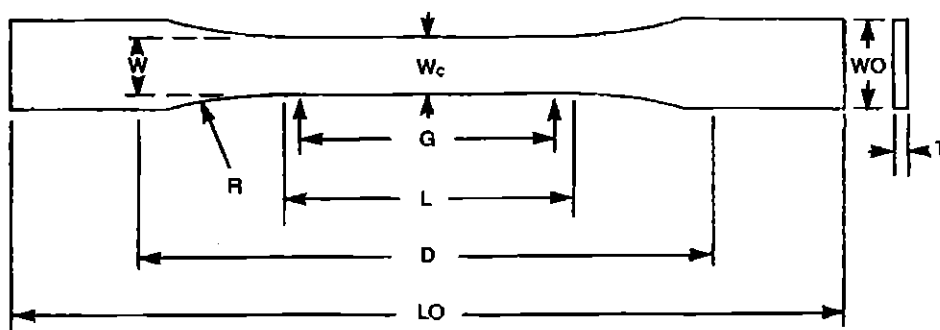
### 2.8.3 การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

ในงานฉีดพลาสติก (Injection Molding) กระบวนการเริ่มจากการที่เม็ดพลาสติก หรือผง  
พลาสติกถูกให้ความร้อน จนหลอมเหลว แล้วถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์จนเต็ม จากนั้นจึงปลดชิ้นงาน  
ออกจากแม่พิมพ์ได้ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดี หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับ  
ออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม และการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่ง ได้แก่ อุณหภูมิ  
พลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิปลดชิ้นงาน อุณหภูมิกระบอกลัด ระยะชักสกรู ความเร็ว  
รอบสกรู ความดันฉีด ความดันฉีดขั้ว เวลาฉีดขั้ว ระยะลำรอง เวลาที่พลาสติกเหลวอยู่ในกระบอกลัด  
ความเร็วจัด ความดันด้านการถอยกลับของสกรู ระยะเปลี่ยนความดันฉีดเป็นฉีดขั้ว แรงบิด  
แม่พิมพ์ และเวลาในการหล่อเย็น เมื่อมีการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีแล้ว ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้  
ต้องปรับตั้งให้ถูกต้องด้วย เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ [2, 15, 16]

## 2.9 การทดสอบสมบัติของพลาสติก

### 2.9.1 การทดสอบแรงดึง

สามารถทดสอบได้โดยการใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing  
Machine : UTM) โดยนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้น และ  
ความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมาพลอตเป็นเส้นโค้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ และมาตรฐานของ  
การทดสอบ เช่น มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM), British  
Standards (BS), Japanese Industrial Standards (JIS) หรือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย  
(มอก.) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้  
พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำไว้ด้วย โดยการทดลองนี้ใช้มาตรฐาน ASTM  
D 638 TYPE III



TYPES I, II, III &amp; V

รูปที่ 2.17 แสดงรูปร่างชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D 638 TYPE III [19]

สมบัติเชิงกลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength :  $\sigma$ )

$$\sigma = P/A$$

(2.2)

เมื่อ  $\sigma$  = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น MPa  
 $P$  = แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N  
 $A$  = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น  $\text{mm}^2$

2. ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break : %El)

$$\%El = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

(2.3)

เมื่อ  $L_f$  = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด มีหน่วยเป็น mm  
 $L_o$  = ความยาวของเกจเริ่มต้น มีหน่วยเป็น mm

เมื่อออกแรงดึงต่อวัสดุ จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบอลาสติก คือ เมื่อเอาแรงออกวัสดุสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิม (Reversible change) เมื่อดึงผ่านขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ไปแล้วจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีกเมื่อเอาแรงออก และหลังจากนี้จะเรียกว่า Strain harden คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน จะได้ค่าความเค้นดึงสุดท้าย ซึ่งเรียกว่า Ultimate tensile stress

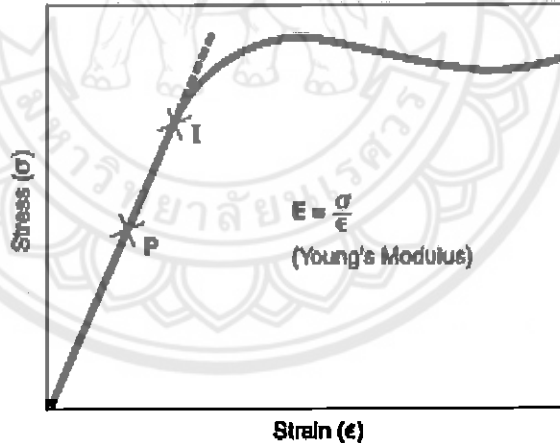
3. มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : E)

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{PL}{A\Delta L} \tag{2.4}$$

- เมื่อ E = มอดุลัสยืดหยุ่นมีหน่วยเป็น MPa
- $\sigma$  = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น MPa
- e = ความเครียด (Strain) ไม่มีหน่วย

มอดุลัส (Modulus) หรือมอดุลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus, E) หรือมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) เป็นอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ความเครียดเป็นอัตราส่วน โดยตรงกับความเค้น ค่ามอดุลัสเป็นสิ่งที่วัดความแข็งแกร่งหรือความแข็งตึง (Stiffness) ของพลาสติก ซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพลาสติกในช่วงขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (Elastic limit) ขณะรับแรง

Proportional Limit



16059438

ฟ.ร.  
1128 11  
2552

รูปที่ 2.18 แผนภาพความเค้น - ความเครียด และเส้นสัมผัสเริ่มแรกที่ใช้หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น [18]

การหาค่ามอดุลัสจากกราฟความเค้น - ความเครียดดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 โดยหาค่ามอดุลัสแบบยืดหยุ่น (E) ได้จากการวัดความชัน (Slope) ของเส้นสัมผัสเริ่มแรกซึ่งเป็นส่วนที่ชันที่สุดของเส้นโค้ง Yield stress เป็นความเค้นที่จุดคราก (Yield point) ซึ่งจุดครากเป็นจุดแรกบนเส้นโค้งความเค้น - ความเครียด ที่เกิดการเพิ่มความเครียดโดยที่ไม่มีการเพิ่มความเค้น เมื่อวัสดุถูกดึงถึงจุดครากแล้วจะไม่สามารถคืนตัวได้อีก เมื่อเอาแรงกระทำออกไปพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งความเค้น -

ความเครียด เป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความเหนียว (Toughness) ของพลาสติก เป็นพลังงานที่ทั้งหมดที่ทำให้พลาสติกเกิดการแตกหัก พลาสติกที่มีพื้นที่ได้เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดมากเป็นวัสดุที่มีความเหนียว ส่วนวัสดุที่ประาะจะมีพื้นที่ได้เส้นโค้งน้อย

### 2.9.3 สัณฐานวิทยา

เพื่อศึกษาลักษณะของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ HDPE โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP โดยการใช้นิเทศของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผิวหน้าของรอยแตกหัก (Fracture Surface) โดยลักษณะของรอยแตกหักสามารถบ่งบอกได้ว่า ชิ้นงานพอลิเมอร์นั้นมีสมบัติเชิงกลดีหรือไม่ ซึ่งอาจสังเกตได้จากรูปแบบการแตกหักของวัสดุ เช่น ถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวชิ้นงานมีความราบเรียบ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบวัสดุเปราะกลายแก้ว แต่ถ้ารอยแตกหักของพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็นคลื่นไม่เรียบ หรือค่อนข้างขรุขระ สามารถอธิบายได้ว่าพอลิเมอร์นั้นมีการแตกหักแบบวัสดุเหนียว เนื่องจากมีการเหนียวรั้งกันระหว่างเนื้อสารกับวัสดุผสม เพื่อต้านทานการแตกหัก นอกจากนี้ยังสามารถทำนายได้ถึงแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุโดยพิจารณาจากความต่อเนื่องบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสม ซึ่งถ้าพอลิเมอร์ และวัสดุผสมมีแรงยึดเหนี่ยวกันอย่างดี บริเวณรอยต่อ หรือผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสมจะค่อนข้างมีความต่อเนื่องกัน หรืออาจแสดงให้เห็นถึงลักษณะการห่อหุ้มวัสดุผสมด้วยเนื้อของพอลิเมอร์ แต่ถ้าบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุผสมแยกกัน หรือไม่มีความต่อเนื่องกันระหว่างเฟส แสดงว่าไม่มีแรงยึดเหนี่ยวกันที่ดี

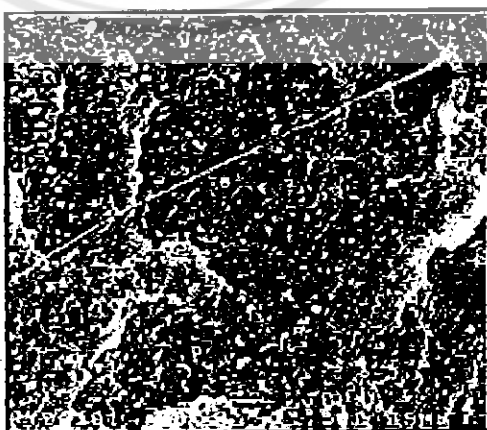
หลักการของเทคนิคอิเล็กตรอนไมโครสโคปีแบบส่องกราด คือ ใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนไปบนผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอน (Scattered Electron) และเกิดสัญญาณ เพื่อใช้ในการสร้างภาพที่สามารถเห็นความลึก มีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับผิวหน้าของพอลิเมอร์ เนื่องจากมีกำลังขยายสูง และเป็นภาพสามมิติ การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้มีหลากหลาย เช่น ศึกษาการพอง หรือการแตกออกของวัสดุที่ใช้เคลือบผิว การแยกเฟสในพอลิเมอร์ผสม และลักษณะการแตกของผิวหน้าระหว่างวัสดุและสารที่ใช้ยึดติด เป็นต้น [2, 17, 18]

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรรยา พรรณนา และธานินทร์ ภูเพียร [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE พบว่า เมื่อปริมาณ PP มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละการดึงยืด ณ จุด ขาด และค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมลดลง และที่อัตราส่วน 70 : 30 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด

นิลุบล เผือกขาว [9] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงกล และสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ผสม (r - HDPE) ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) โดยทำการศึกษาอิทธิพลของ ปริมาณ ขนาดอนุภาค และการปรับปรุงพื้นผิว  $\text{CaCO}_3$  ด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยา 4 ชนิดได้แก่ กรดสเตียริก (SA) สารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลน (AMPTES และ GPTMS) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (MA-g-HDPE) พบว่า สารควบคู่ปฏิกิริยาทุกชนิดสามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ หรือความต่อเนื่องระหว่างเฟสมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารควบคู่ปฏิกิริยาแต่ละชนิดด้วย การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารควบคู่ปฏิกิริยาจะแสดงลักษณะการยึดตัวของเนื้อพลาสติกให้เห็น อาจเนื่องมาจากส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ที่อยู่ในโครงสร้าง จะสามารถเกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารควบคู่ปฏิกิริยาเป็นปริมาณร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักของ  $\text{CaCO}_3$  ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการทนต่อแรงค้ำค่าการทนต่อแรงกระแทก และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุด ขาด เพิ่มขึ้น

กฤษณา มีสวัสดิ์ [10] ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ LDPE, PP กับ LLDPE และ PP กับ HDPE ใช้วิธีการผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ และเติมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิฟิลินกับเอทิลีนแบบบล็อก และแบบสุ่ม และการฉายรังสีเพื่อปรับปรุงการเข้ากันได้ พบว่า สมบัติเชิงกลจะขึ้นอยู่กับชนิด และอัตราส่วนของ



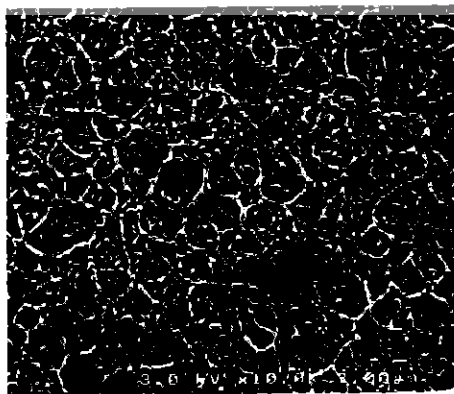
รูปที่ 2.19 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE

ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า [10]

การผสม ในอัตราส่วนผสม PP ร้อยละ 30 กับ LDPE หรือ LLDPE ร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จะให้ความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุด การเติมสารช่วยผสมไม่ว่าจะเป็นแบบบล็อก หรือแบบส้อม หรือการฉายรังสีที่ความเข้มต่ำ 10 - 30 กิโลเกรย์ จะไม่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกล ในขณะที่รังสีความเข้มรังสีความเข้มรังสีความเข้มสูง 50 - 250 กิโลเกรย์ จะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง และทำให้เกิดพันธะเชื่อม โยงของ PP กับ HDPE และความเข้มรังสีที่ 150 กิโลเกรย์ จะให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงสุด และสัณฐานวิทยาของ PP กับ HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 แสดงให้เห็นว่า ในอัตราส่วนที่มีปริมาณ PP อยู่มาก PP จะทำหน้าที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ในขณะที่ HDPE จะทำหน้าที่เป็นวัฏภาคกระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของ PP มีลักษณะคล้ายฟองอากาศ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.19

สุก โชค ดันพิชัย [17] งานวิจัยนี้ศึกษาถึงพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีน และเพดจากขวดพลาสติกที่ผ่านการใช้งาน ซึ่งเตรียมเป็นผงด้วยเทคนิคพัลเวอไรเซชันด้วยอัตราส่วนผสมของเพด 0, 5, 10, 15, 20, 30 และ 40 ส่วน โดยน้ำหนักในพอลิพรอพิลีน 100 ส่วน ขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน และใช้พอลิเอทิลีนแวกซ์เป็นสารช่วยผสมในการขึ้นรูปจากการวิจัย พบว่า เมื่อปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีการไหลลดลง ความแข็งแรงดึง มอดูลัสยืดหยุ่น สมบัติด้านแรงดัด โค้ง และความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

Sylvie Bertin และ Jean - Jacques Robin [20] งานวิจัยนี้เกี่ยวกับพฤติกรรมของพอลิเมอร์ผสม โดยศึกษาความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมบริสุทธิ์กับพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE : PP ที่อัตราส่วน 90 : 10 โดยศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา พบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE : PP ที่อัตราส่วน 90 : 10 เมื่อเปรียบเทียบกับ พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Miscible blends) จะเห็นได้ว่ามีการกระจายของ PP (วัฏภาคกระจาย) จะมีลักษณะเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ กระจายอยู่ใน LDPE (วัฏภาคต่อเนื่อง)



รูปที่ 2.20 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE : PP ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้กล้อง Photomicrograph [20]

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินโครงการ

#### 3.1 วัสดุและสารเคมี

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) เกรด P700J จากบริษัท SCG
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE) เกรด H5818J จากบริษัท SCG
3. สารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) เกรด Polybond 3200 จากบริษัท Crompton

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) รุ่น BOY 50M
2. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) รุ่น LR 5K
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) LEO รุ่น 1455 VP

#### 3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

##### 3.3.1 การเตรียมอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

โดยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ทำการฉีดขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูปที่สภาวะ 3 สภาวะ คือ

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 :30

สภาวะที่	Feed-zone (°C)	Compression-zone (°C)	Metering-zone (°C)	Nozzle-zone (°C)
1	160	170	180	190
2	170	180	190	200
3	180	190	200	210

### 3.2.2 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. การ์คเบอร์ 1
2. เม็ดพลาสติกในส่วนผสมต่าง ๆ
3. เครื่องฉีดพลาสติก

#### ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. เปิดเครื่องฉีดพลาสติก
2. เสียบการ์คเบอร์ 1
3. ทำการฉีดเม็ดพลาสติกที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่ 3.1
4. ในส่วนเมนูอื่น ๆ ในการใช้งานจะกำหนดให้คงที่เสมอและควบคุมเฉพาะที่

#### อุณหภูมิหัวฉีด

### 3.3.3 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)
2. ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)
3. มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

### 3.3.4 เลือกสภาวะที่เหมาะสมใช้ในการฉีดขึ้นรูป

นำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP)

### 3.3.5 ใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูปในเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding)

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) โดยใช้สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปจากข้อที่ 3.3.4

3.3.6 นำชิ้นงานไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ใช้เทคนิคของ SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลว และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM



### 3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน  
70 : 30

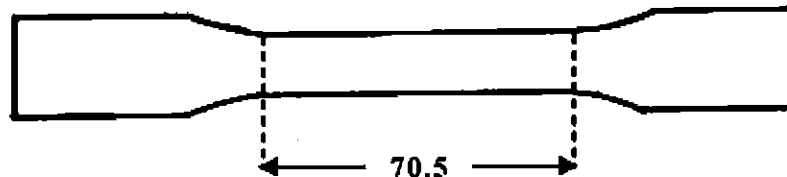
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)	ASTM D 638M	MPa
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)	ASTM D 638M	%
มอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	ASTM D 638M	MPa

#### 3.4.1 สมบัติเชิงกล

##### 3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและมอดุลัสยืดหยุ่น

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [19] โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง UTM ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปคัมเบลล์ดังรูปที่ 3.1 ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสถานะในการทดสอบดังนี้

โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
ความเร็วในการดึง (Test speed)	50	mm/min
ความยาวของเกจ (Gauge length)	70.5	mm



รูปที่ 3.1 ลักษณะชิ้นงานคัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [11]

### วิธีการทดสอบ

1. เตรียมชิ้นงานชุดละ 10 ชิ้น บันทึกค่าความกว้าง และความหนาของชิ้นงาน จัดเส้นทำเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน
2. ติดตั้ง Load cell ขนาด 5 kN พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load cell เข้าที่ Crosshead
3. เปิดสวิทช์เครื่องทดสอบ
4. จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับด้านบน ยึดให้แน่นส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้
5. ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยึดให้เป็นศูนย์
6. ขันหัวจับล่างให้แน่น
7. ทำการทดสอบชิ้นงาน โดยการดึงจนขาด
8. ทำการทดลองจนครบทั้ง 10 ชิ้นในแต่ละชุดการทดลอง

### 3.4.2 การศึกษาพื้นฐานวิทยาโดยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่มีปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลว และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM โดยทำการศึกษาค้นคว้าความเข้ากันได้ของของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) [11, 17]

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสมโดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่สภาวะในการฉีดขึ้นรูป 3 สภาวะ ดังตารางที่ 4.1 โดยใช้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

จากนั้นเลือกสภาวะที่ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุดมาปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (ร้อยละ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน)

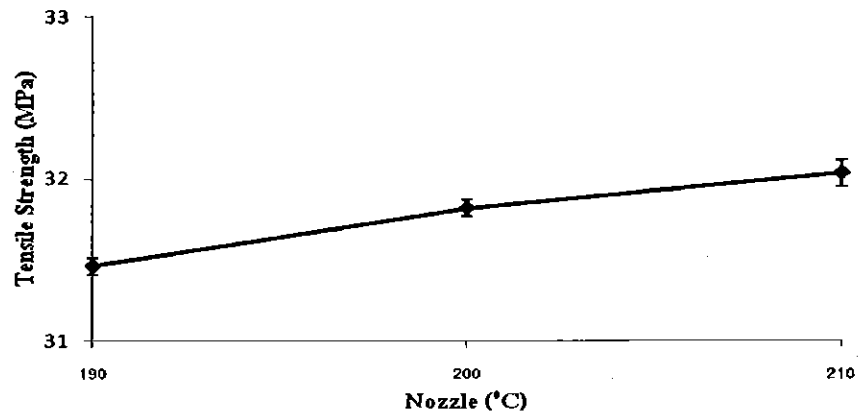
#### 4.1 การศึกษาสภาวะการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จรุงพรธนาม และชานินทร์ ภูเพียร [1] ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์พรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ใช้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด [1]

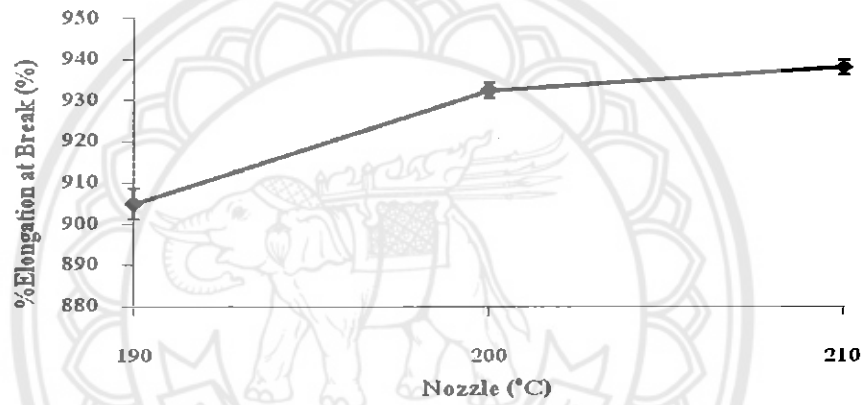
ดังนั้นจึงนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 มาศึกษาสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม โดยศึกษาสภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30

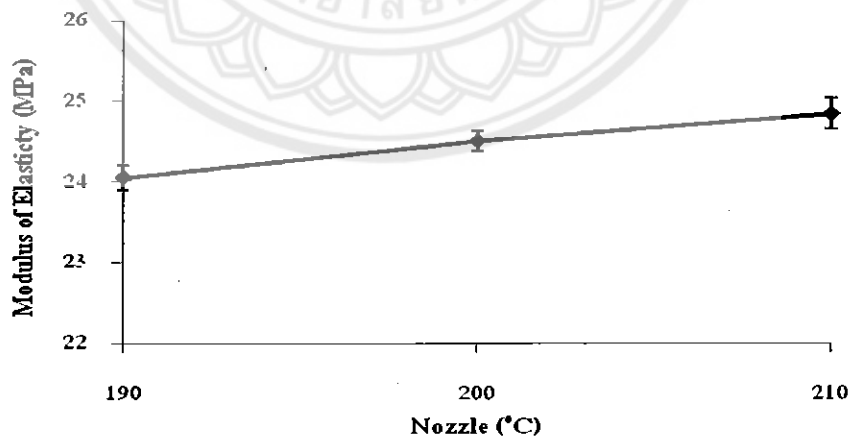
สภาวะที่	Feed-zone (°C)	Compression-zone (°C)	Metering-zone (°C)	Nozzle-zone (°C)
1	160	170	180	190
2	170	180	190	200
3	180	190	200	210



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ Nozzle-zone 190, 200 และ 210 °C (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) มอดุลัสยืดหยุ่น

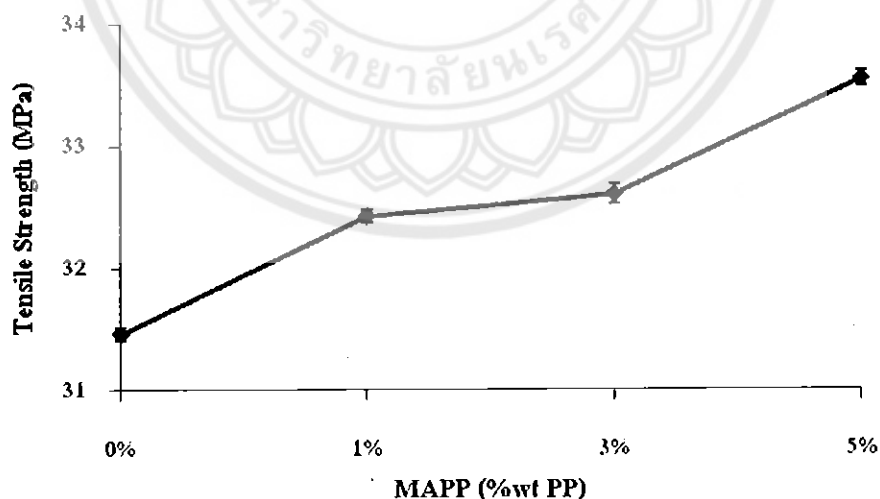
จากการศึกษาสภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ทั้ง 3 สภาวะ พบว่า สมบัติด้านความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปของแต่ละโซน แต่จากผลการทดสอบพบว่า สมบัติด้านแรงดึงไม่แตกต่างกันมาก และเป็นอุณหภูมิที่สามารถฉีดขึ้นรูปได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

ดังนั้น สภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 จึงเลือกสภาวะใช้ในการฉีดขึ้นรูปที่สภาวะที่ 1 (Feed-zone 160 °C, Compression-zone 170 °C, Metering-zone 180 °C และ Nozzle-zone 190 °C) เป็นสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

## 4.2 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP

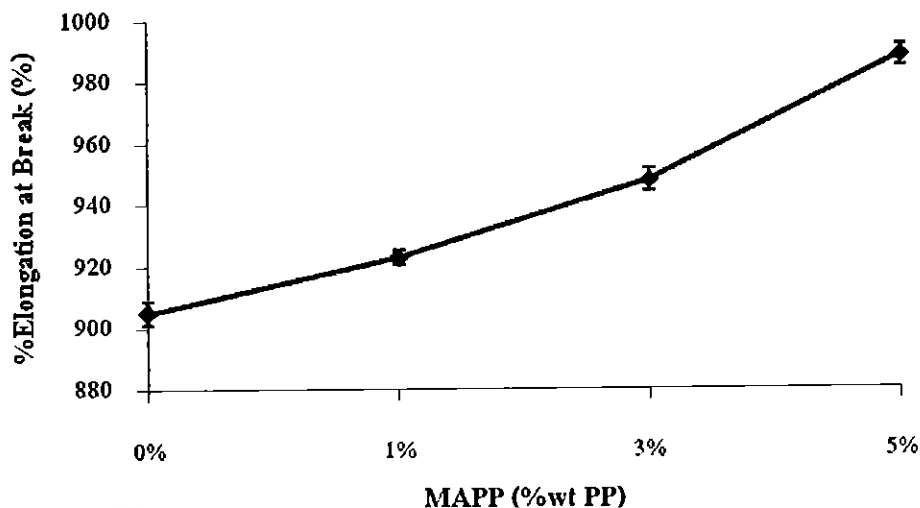
### 4.2.1 สมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ผลการทดลองในข้อ 4.1 โดยเลือกสภาวะที่ 1 ในการฉีดขึ้นรูป (Feed-zone 160 °C, Compression-zone 170 °C, Metering-zone 180 °C และ Nozzle-zone 190 °C) เพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านเชิงกลโดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) ดังรูปที่ 4.2 - 4.4



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงโดยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อมีการเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP ทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ได้มีการเติมสารช่วยผสม เนื่องจากการศึกษาสมบัติด้านแรงดึงเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์ เมื่อมีการให้ความเค้น (Stress) ดึงให้พอลิเมอร์ยืดยาวออกจนถึงจุดที่เกิดการเสียหาย และขาดออกจากกันในที่สุด เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงดึงสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ตามแนวแรงดึงยืดยาวออกที่ความเครียดที่สูงหลังจุดคราก สายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดการเลื่อนหลุด (Slip) ออกจากการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ เกิดการเสียสภาพแบบ (Plastic Deformation) สายโซ่พอลิเมอร์จะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ และจากที่พอลิเมอร์ระหว่าง PP และ HDPE ไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแบบไฮโดรคาร์บอนทั้งคู่และมีลักษณะความไม่มีขั้วใน โครงสร้าง ทำให้มีการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ และแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ต่ำ ส่งผลให้มีลักษณะเหมือนรอยตำหนิในชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงสายโซ่จึงเลื่อนหลุดออกจากกันได้ง่าย สมบัติด้านความแข็งแรงดึงจึงมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่มีการเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP เข้า ซึ่งสารช่วยผสมนี้จะช่วยลดแรงผิวของพอลิเมอร์ทำให้การกระจายตัวในวัฏภาคดีขึ้น ช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ทำให้สามารถถ่ายเทความเค้นที่เกิดขึ้นได้ดี และช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาคทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสถานะวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการขึ้นรูป สายโซ่ของพอลิเมอร์ในโมเลกุลของสารช่วยผสมชนิด MAPP สามารถเกิดการเกี่ยวพันกันเชิงกล (Mechanical Interlocking) หรือเกิดการเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่ (Chain Entanglement) กับสายโซ่ของพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงใน พอลิเมอร์ผสมช่วยให้ด้านการหลุดเลื่อนของสายโซ่ เมื่อได้รับแรงสามารถรับแรงดึงได้มากขึ้น โดยพบว่าสมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP [12]

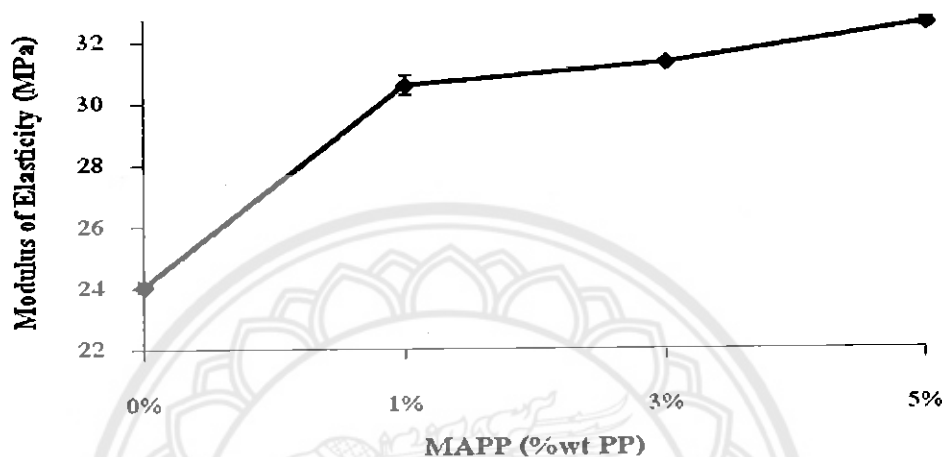


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยและการดึงยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยและการดึงยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อมีการเติม MAPP ทำให้สมบัติด้านร้อยและการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ได้มีการเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP เนื่องจากเป็นการศึกษาเกี่ยวกับร้อยและการดึงยืด ณ จุดขาด เมื่อมีการออกแรงดึงกับพอลิเมอร์จนผ่านขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ไปแล้ว พอลิเมอร์จะไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ เมื่อเอาแรงออก เมื่อเราให้แรงเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ พื้นที่หน้าตัดของพอลิเมอร์ลดลงเรื่อย ๆ จนเป็นคอคอด (Necking) จนกระทั่งขาดออกจากกัน และจากที่พอลิเมอร์ระหว่าง PP และ HDPE ไม่สามารถเข้ากันได้ ทำให้สมบัติด้านร้อยและการดึงยืด ณ จุดขาด ให้ค่าที่ไม่สูงเท่ากับการเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP เนื่องจากสารช่วยผสมที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสมจะเข้าไปช่วยลดแรงตึงผิว (Interfacial tension) ระหว่างพอลิเมอร์ PP กับ HDPE ทำให้การกระจายตัวในวัฏภาคมีการเชื่อมโยงระหว่างพอลิเมอร์ดีขึ้น และการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่มีมากขึ้นกว่าเดิม เพราะโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเป็นโครงสร้างแบบเส้นตรง เมื่อนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่โครงสร้างแบบกิ่งกึ่ง คือ เป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งแตกออกมาจากโซ่หลัก จึงไม่สามารถเกี่ยวพันกันได้ เมื่อให้แรงกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ส่งผลให้ภายในชิ้นงานไม่สามารถต้านทานแรงดึงได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่มีการใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP เนื่องจากสารช่วยผสมชนิด MAPP จะไปทำหน้าที่เสมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่าง PP กับ HDPE

คือ ทำให้เกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกันมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการจัดเรียงตัว การกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE ดีขึ้น

ดังนั้น เมื่อพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่มีการเติมสารช่วยผสม จึงมีแนวโน้มร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มากกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่เติมสารช่วยผสมชนิด MAPP



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 (% / wt PP)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP ลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP เนื่องจากการทดสอบสมบัติทางด้านมอดูลัสยืดหยุ่นเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่าความแข็งแรงดึง ถ้าค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์มีค่ามากจะส่งผลให้ค่าสมบัติด้านมอดูลัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจากที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 มีค่าสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใส่สารช่วยผสมชนิด MAPP เนื่องจากสารช่วยผสมมีสมบัติช่วยลดแรงดึงผิวจึงส่งผลให้ความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพอลิเมอร์ ในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ณะรับแรงได้เพิ่มมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสม

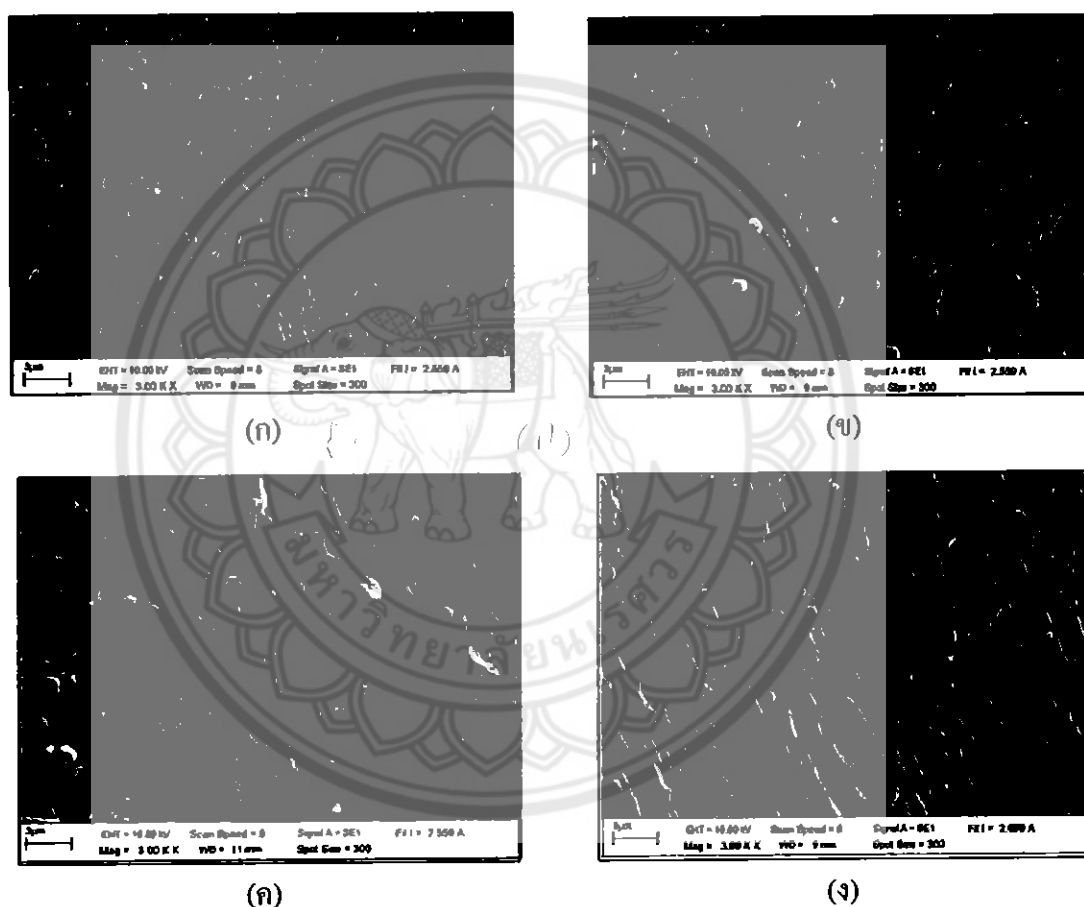
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ใช้ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 5% จะให้ค่า



ความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสยึดหยุ่นที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารช่วยผสมชนิด MAPP ปริมาณอื่น ๆ

#### 4.2.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วย MAPP

จากการปรับปรุงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 เลือกสภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Feed-zone 160 °C, Compression-zone 170 °C, Metering-zone 180 °C และ Nozzle-zone 190 °C) โดยใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5% (% / wt PP) ได้ผลการทดลองในข้อ 4.2.1 นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ให้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่กำลังขยาย

3,000 เท่า (ก) PP : HDPE : 0% MAPP (ข) PP : HDPE : 1% MAPP

(ค) PP : HDPE : 3% MAPP และ (ง) PP : HDPE : 5% MAPP

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ภูมิภาค คือ ภูมิภาคหลัก และภูมิภาคกระจาย โดย PP จะเป็นภูมิภาคหลัก เพราะมีปริมาณมากกว่า และ HDPE จะเป็นภูมิภาคกระจาย ซึ่งกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสม มี

ลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกฤษณา มีสวัสดิ์ [10] และ Sylvie Bertin [20] เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP รูปที่ 4.5 (ก) มีความขรุขระบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ไม่ใช้มาช่วยผสมนั้นจะไม่รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible) เนื่องจากไม่สามารถเข้ากันได้ เพราะเป็นพอลิเมอร์แบบไฮโครคาร์บอนทั้งคู่ จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ หรือมีแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่ต่ำ ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมนั้นแยกออกจากกันเป็น 2 ภูมิภาค อย่างเห็นได้ชัด โดยมี HDPE กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลม PP เป็นภูมิภาคหลัก จากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ทำให้สมบัติด้านแรงดึงจึงมีค่าน้อยกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP เพราะสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่เติมเข้าไปในพอลิเมอร์ผสม ทำให้มีการเกี่ยวพันกันระหว่างพอลิเมอร์ผสม ช่วยให้แรงดึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ผสมลดน้อยลง ทำให้พอลิเมอร์สามารถกระจายตัวในภูมิภาค ช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถในการถ่ายเทแรงเกิดขึ้นได้ดีขึ้น สมบัติทางด้านแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% (% / wt PP) (ข - ง) พบว่า เมื่อมีการใช้สารช่วยผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นั้นจะทำให้บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP มีความเรียบเนียนเห็นเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น เพราะเป็นพอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน โดยที่ HDPE อาจจะเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวหน้าของ PP ซึ่งจะช่วยให้ภูมิภาคมีแรงยึดเหนี่ยวมากขึ้นซึ่งจะทำให้สมบัติทางด้านแรงดึงนั้นเพิ่มขึ้น

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% (% / wt PP) (ข - ง) พบว่า การใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 5% (% / wt PP) ให้ค่าสมบัติทางด้านแรงดึงดีที่สุด

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High - Density Polyethylene : HDPE) โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene : MAPP) เป็นสารช่วยผสม ได้ข้อสรุปดังนี้

1. จากผลการวิจัยพบว่าสถานะที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ใช้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปของแต่ละโซน แต่จากค่าทดสอบ พบว่า ได้ใกล้เคียงกับสถานะในการฉีดขึ้นรูปอื่น ๆ ฉะนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงเลือกสถานะที่ 1 ใช้ในการฉีดขึ้นรูป และเป็นสถานะที่สามารถขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ได้

2. จากการศึกษาสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยการใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ให้สมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP โดยให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 3.05% ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น 1.98% และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น 27.19%

3. จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยการใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% (% / wt PP) พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5% (% / wt PP) ให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 3.05%, 3.62% และ 6.64% ตามลำดับ ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น 1.98%, 4.76% และ 9.21% ตามลำดับ และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น 27.19%, 30.23% และ 35.47% ตามลำดับ

4. การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงโดยการใช้สารช่วยผสมชนิด MAPP พบว่า บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมมีผิวที่ขรุขระ ไม่เป็นเนื้อเดียวกันน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิลุบล เผือกขาว [9] กล่าวว่าสารช่วยผสมทุกชนิดสามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ หรือความต่อเนื่องของวัสดุภาคมากขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มเทคนิคในการผสมพอลิเมอร์และสารช่วยผสมในเครื่องผสมเกลียวหนอน (Extrusion Molding) ก่อนนำไปฉีดขึ้นรูปในเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding) เพราะการผสมโดยการใส่เครื่องผสมเกลียวหนอน จะสามารถช่วยให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมและสารช่วยผสม สามารถผสมเข้ากันได้ดีกว่าเครื่องฉีดพลาสติก



## เอกสารอ้างอิง

- [1] จรุง พรธนา, ชานินทร์ ภูเพียร. 2546. “คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง”. *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*
- [2] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2538. พลาสติก (พิมพ์ครั้งที่12). กรุงเทพมหานคร
- [3] พอลิเมอร์. วิธีพิเศษ สารานุกรมเสรี. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/พอลิเมอร์>
- [4] การจัดเรียงสายโซ่ของเทอร์โมพลาสติก. โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์. บทที่ 4 เคมีพอลิเมอร์. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer\\_Chemistry/image\\_files/chapter4.htm](http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter4.htm)
- [5] ข่าวก พลาสติก พอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ที่ช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมามีส่วนสำคัญในเทคโนโลยีขั้นสูง. ผลิตภัณฑ์พลาสติก. ไทยพลาสติกคอกคอม สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2552 จาก <http://www.thai-plastic.com>
- [6] EL-Pro PP .SCG Chemicals. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://chemicals.scg.co.th/scg/File\\_Application%5CP700J%20Feb,09.pdf](http://chemicals.scg.co.th/scg/File_Application%5CP700J%20Feb,09.pdf)
- [7] EL-Lene HDPE. SCG Chemicals. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://chemicals.scg.co.th/scg/File\\_Application/H5818J%20Feb,09.pdf](http://chemicals.scg.co.th/scg/File_Application/H5818J%20Feb,09.pdf)
- [8] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend). สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles\\_files/cp\\_5\\_2548\\_polymer\\_blend.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles_files/cp_5_2548_polymer_blend.pdf)
- [9] นิอุบล เผือกขาว. 2550. “สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง”. *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*
- [10] กฤษณา มีสวัสดิ์. 2542. “อิทธิพลของสารช่วยผสมและการฉายรังสีที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิโพลีเอทิลีนผสม” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังบัณฑิตวิทยาลัย*
- [11] ชนิดา ไบรินวัฒนกำธร. 2547. “การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ซีลีโอซ”. *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี*

- [12] DuPont Polymer Modifiers. 2006. **Compatibilizers improve the value of blended or recycled polymers.** สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก : [www.dupont.com/industrial-polymer/plastic/polymers/fusabond.html](http://www.dupont.com/industrial-polymer/plastic/polymers/fusabond.html)
- [13] กัทรพร สงวนศักดิ์. 2550. “ผลของสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มพอลิพรอพิลีนนาโนโพสิต” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังบัณฑิตวิทยาลัย
- [14] Polybond 3200. Crompton Corporation. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก <http://www.cromptoncorp.com/serviet/ContentServer?pacename>
- [15] งานฉีดพลาสติก (Injection Moulding). หน่วยที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับงานแม่พิมพ์พลาสติก ใบความรู้ 1/28. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://www.bpcd.net/new\\_subject/industry/yungyut/km\\_yongyuth4/plastic%20mold%20subject/unit%201/knowledge%20sheet.pdf](http://www.bpcd.net/new_subject/industry/yungyut/km_yongyuth4/plastic%20mold%20subject/unit%201/knowledge%20sheet.pdf)
- [16] ขั้นตอนการผลิตพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก <http://www.gened.chula.ac.th/chulawisdom/group1/02chulawisdom.htm>
- [17] สุภโชค ต้นพิชัย. 2548. “พอลิเมอร์ผสมจากผงพอลิพรอพิลีน และขวดเพตใช้แล้วที่บดด้วยเทคนิคพัลเวอไรเซชัน” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยี ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [18] Engineering Materials. Physical properties of polymer. สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสุรนารี. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2551 จาก [http://www.sut.ac.th/Engineering/Matal/polymer/4\\_physical\\_properties\\_v\\_stu.ppt](http://www.sut.ac.th/Engineering/Matal/polymer/4_physical_properties_v_stu.ppt)
- [19] ASTM D-638. 1996. “ Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric) ”, *Philadephai : American Society for Testing and Material*
- [20] Sylvic Bertin, Jean – Jacques Robin . 2002. “Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends” *European Polymer Journal Volume 38 (2002) 2255 - 2264 C.E.RE.M.A.P. Route des Salins, B.P.118, 34140 Meze, France*



ตารางที่ ก.1 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่

Nozzle-zone 190 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	31.46	903.94	23.89
2	31.52	909.87	24.24
3	31.44	907.49	24.20
4	31.49	900.71	23.99
5	31.39	902.46	23.94
ค่าเฉลี่ย	31.46	904.89	24.05
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.05	3.74	0.16

ตารางที่ ก.2 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่

Nozzle-zone 200 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	31.83	931.39	24.61
2	31.77	934.52	24.40
3	31.76	933.63	24.36
4	31.88	929.94	24.51
5	31.86	932.91	24.65
ค่าเฉลี่ย	31.82	932.48	24.51
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.05	1.83	0.13



ตารางที่ ก.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่

Nozzle-zone 210 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	32.00	940.83	24.55
2	32.14	937.16	24.89
3	31.94	938.01	24.82
4	32.11	936.16	24.90
5	31.99	938.56	25.06
ค่าเฉลี่ย	32.04	938.15	24.84
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.08	1.76	0.19

ตารางที่ ก.4 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่

ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 1% (% / wt PP) ที่ Nozzle-zone  
190 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	32.44	925.33	30.08
2	32.40	923.42	30.79
3	32.49	920.00	30.79
4	32.36	924.92	30.79
5	32.43	920.75	30.50
ค่าเฉลี่ย	32.42	922.88	30.59
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.05	2.41	0.31

ตารางที่ ก.5 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 3% (% / wt PP) ที่ Nozzle-zone 190 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	32.55	947.60	31.38
2	32.69	942.66	31.43
3	32.68	951.31	31.32
4	32.51	947.15	31.25
5	32.59	950.86	31.24
ค่าเฉลี่ย	32.60	947.92	31.32
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.08	3.48	0.08

ตารางที่ ก.6 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ 5% (% / wt PP) ที่ Nozzle-zone 190 °C

No.	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
1	33.48	984.67	32.60
2	33.58	990.83	32.41
3	33.61	989.12	32.72
4	33.48	984.71	32.63
5	33.60	991.76	32.52
ค่าเฉลี่ย	33.55	988.22	32.58
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06	3.36	0.12





(ก)



(ข)

รูปที่ ข.1 แสดงชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ฉีดขึ้นรูป  
(ก) ชนิดไม่เติมแม่แบบ และ (ข) ชนิดเติมแม่แบบ



(ก)



(ข)

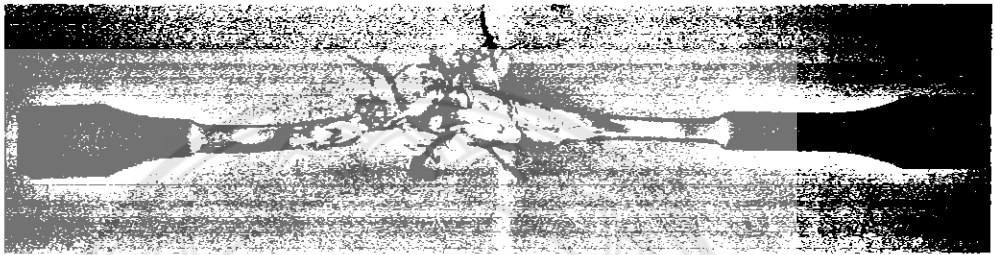


(ค)

**รูปที่ ข.3** แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE  
ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ Nozzle-zone (ก) 190 °C (ข) 200 °C และ (ค) 200 °C



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.4 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงของของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด MAPP ที่ปริมาณ (ก) 1% (ข) 3% และ (ค) 5% (% / wt PP) ที่ Nozzle-zone 190 °C

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวกนิษฐา ใจอ่อน  
ภูมิลำเนา 80/3 ถ.พระองค์ขาว อ.เมือง จ.พิษณุโลก  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [courage\\_n@hotmail.com](mailto:courage_n@hotmail.com)

