

การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
พอลิพอฟิลินและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
โดยใช้เอทิลีน-พอฟิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม
Studies on Properties of Polymer Blends between
Polypropylene and High-Density Polyethylene
using Ethylene-Propylene-Diene Copolymer as Coupling agent

กิตติ คำฟู
อปรวิวัฒน์ ปานพรม

ชื่อผู้ลงทะเบียน	กิตติ คำฟู
วันที่รับ	13 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน	19059951
เลขเรียกหนังสือ	ฟร.
หมายเลขวิทยานิพนธ์	76717 2551

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2551
PROJ 71/51



ใบรับรองโครงการวิจัย

หัวข้อโครงการวิจัย : การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีนและ
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้เอทิลีน พอฟอสฟีน
ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม

ผู้ดำเนินการวิจัย : นายกิตติ คำฟู รหัส 48365101
นายอภิวัฒน์ ปานพรม รหัส 48365361

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย : อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันส์มฤทธิ

ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย : -

สาขาวิชา : วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา : วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา : 2551

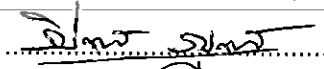
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย



ประธานกรรมการ

(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)



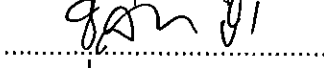
กรรมการ

(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)



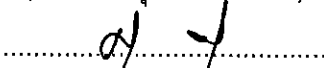
กรรมการ

(อาจารย์ณัฏษณา พูลสวัสดิ์)



กรรมการ

(อาจารย์สุสิทธิ์ ป่าไร่)



ที่ปรึกษาโครงการ

(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันส์มฤทธิ)

หัวข้อโครงการงานวิจัย : การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพอฟิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้เอทิลีน พอฟิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม

ผู้ดำเนินงานวิจัย : นายกิตติ คำฟู รหัส 48365101

นายอภิวัฒน์ ปานพรม รหัส 48365361

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันรัมย์ฤทธิ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา : วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา : 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพอฟิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้เอทิลีน พอฟิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสมโดยศึกษาสภาวะการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ผลการวิจัย พบว่าที่สภาวะการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่ Feed-zone 170 °C, Compression-zone 180 °C, Metening-zone 190 °C และ Nozzle 200°C ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด ส่วนการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0, 90:10, 70:30, 50:50 และ 30:70 พบว่าเมื่อมีการเติม HDPE เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดต่ำลง งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจึงเลือกใช้ PP : HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 โดยใช้ EPDM มาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมศึกษาที่ปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อเติม EPDM ส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดต่ำลง โดยที่ 1%EPDM ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด นอกจากนี้การศึกษาลักษณะวิทยาโดยเทคนิค SEM พบว่าที่ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM พบแต่วัฏภาคของ PP ไม่พบ HDPE บนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากไม่เกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ศิริกาญจน์
ชั้นสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการ
ค้นหาข้อมูลและแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและ
ภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ดร.นพวรรณ ไม้ทอง อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ชูลีพรย์ ป่าไร่ และอาจารย์
ปิยนันท์ บุญยักษ์ศรี ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็น
ประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างรัชชชัย ชุลบุตร และครูช่างไพรัช แสงม่วง ที่คอยเอื้อเฟื้อ
สถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอย่าง
ถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่
ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำ
โครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด และทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้
คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้
ณ โอกาสนี้

กิตติ คำฟู

อปรวิวัฒน์ ปานพรม

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิเมอร์นับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทและสำคัญมากในยุคนี้ เพราะพอลิเมอร์มีคุณสมบัติทางโครงสร้าง คือ ในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนอะตอมมากกว่าสารชนิดอื่นมากจึงทำให้มีคุณสมบัติหลายอย่างพร้อมกัน คือ สมบัติทางกายภาพมีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ฯลฯ สมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า สมบัติทางเคมี ทนกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ และสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้เกือบทั้งหมด เนื่องจากพอลิเมอร์แต่ละชนิด มีสมบัติที่จำกัด ทำให้ปัจจุบันมีการคิดค้นพอลิเมอร์ใหม่ๆ ขึ้นมา เพื่อให้สมบัติดีกว่าเดิมและสามารถนำมาใช้งานตามความต้องการได้ การทำพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blends) เป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้เกิดพอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งจะทำได้พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่รวมเอาคุณสมบัติที่เด่นของพอลิเมอร์แต่ละชนิดไว้ด้วยกัน ได้มีงานวิจัย [1] ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ให้สมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าสมบัติเชิงกลเฉพาะตัวของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาการนำเอทิลีน พอสฟีน ไดอีน โคพอลิเมอร์ (EPDM) มาเป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีน กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีน กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ เอทิลีน พอสฟีน ไดอีน โคพอลิเมอร์ เป็นสารช่วยผสม

1.2.3 ศึกษาสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิฟอสฟีน กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ เอทิลีน พอสฟีน ไดอีน โคพอลิเมอร์ เป็นสารช่วยผสม

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพอฟิลีน และ พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยมี เอทีลีน พอฟิลีน ไดอิน โคพอลิเมอร์ เป็นสารช่วยผสม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพอฟิลีนและพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ เอทีลีน พอฟิลีน ไดอิน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพอฟิลีน กับ พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 70:30, 50:50 และ 30:70

1.5.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้ เอทีลีน พอฟิลีน ไดอิน โคพอลิเมอร์ ที่ปริมาณ 0, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

กรกฎาคม 2551 – เมษายน 2552

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์.[2]

พอลิเมอร์ (Polymer) คือ โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ที่เกิดจากการรวมตัวกันของ โมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) จำนวนมาก มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีแบบโควาเลนต์ เกิดเป็นสายโซ่ยาวที่มีหน่วยซ้ำๆ กัน (Repeating units) อย่างมีลำดับที่แน่นอน

มอนอเมอร์ (Monomer) คือโมเลกุลขนาดเล็กที่อยู่ซ้ำๆ กันในพอลิเมอร์ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของโมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่เหมือนกันหรือต่างกันได้

2.1.1 ประเภทของพอลิเมอร์

2.1.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

บางครั้งอาจเรียกสั้นๆ ว่า พลาสติก เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงหรือกิ่งที่สามารถเกิดการหลอมเหลวเมื่อให้ความร้อน และนำไปขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ เมื่อปล่อยให้เย็นลง จะมีรูปร่างตามภาชนะหรือแม่แบบ สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เพราะพอลิเมอร์ชนิดนี้ไม่มีการเชื่อมโยงพันธะเป็นโครงร่างแห ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (Poly ethylene : PE), พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Poly(ethylene terephthalate):PET), พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride:PVC), พอลิสไตรีน (Polystyrene:PS), พอลิพอฟิลี(Polypropylene : PP)

2.1.1.2 เทอร์โมเซต (Thermosets)

เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงเกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแหสามมิติ การเคลื่อนไหวของสายโซ่ถูกจำกัด ทำให้มีความแข็งแรงสูง เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะมีรูปร่างถาวรไม่สามารถนำไปหลอมขึ้นรูปใหม่ได้อีกและไม่ละลายในตัวทำละลาย แต่จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน ตัวอย่างเช่น เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (melamine formaldehyde), ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol formaldehyde), อีพอกซี (epoxy), พอลิเอสเตอร์ (polyester), ยูรีเทน (urethane), พอลียูรีเทน (polyurethane)

2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [3]

พอลิเมอร์ผสม(Polymer blend) เป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเพื่อแก้ไขสมบัติไม่ดีของพอลิเมอร์เดิมซึ่งไม่สามารถใช้สารเติมแต่ง (Additives) ในการปรับปรุงสมบัติ โดยในปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นแล้วมีการผลิตเป็นการค้าอย่างกว้างขวาง

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ซึ่งเป็นการรวมสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่อพอลิเมอร์อยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) - ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมโมเลกุล หรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

2.2.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม [4]

- เพื่อให้สมบัติดีขึ้นแต่มีราคาถูกลง
- เพื่อพัฒนาสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ
- เพื่อทำให้สมบัติเด่นของพอลิเมอร์มีค่าสูงขึ้น
- เพื่อปรับปรุงส่วนประกอบของการผสมตามที่ถูกค้าต้องการ
- เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การนำเศษพลาสติกหลายๆ ชนิด กลับมาขึ้นรูปใหม่

ในการเลือกพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียของพอลิเมอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งต้องชดเชยข้อเสียของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของพอลิเมอร์

ประเภท	ชื่อย่อ	ข้อดี	ข้อเสีย
Polyamide	PA	มีความแข็งแรงกระแทกสูง	เกิดการเสีรูปจากความร้อนได้ง่าย
Polycarbonate	PC	มีความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำทนต่อการเสีรูปจากความร้อน	ไม่ทนต่อตัวทำละลายและสารเคมี
Polyoxymethylene	POM	ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูง	ไม่ทนต่อแรงกระแทกและเกิดการแตกหักได้ง่าย
Poly(ethylene terephthalate)	PET	ทนต่อสารละลายและสารเคมีได้ดี	การหดตัวสูงและเหนียวต่ำที่อุณหภูมิต่ำ
Poly(butylene terephthalate)	PBT		
High impact polystyrene	HIPS	ความแข็งแรงกระแทกสูง	เสีรูปจากความร้อนได้ง่าย
Acrylonitrile butadiene styrene-copolymer	ABS	ความแข็งแรงกระแทกสูงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ	เสีรูปจากความร้อนได้ง่าย
Poly(vinyl chloride)	PVC	ความสามารถในการหน่วงไฟสูง	เปราะ แตกหักง่าย
Polyethylene	PE	ความสามารถในการยึดตัวสูงทนต่อตัวทำละลายและสารเคมี	
Polyphenylene ether	PPE	ทนต่อการเสีรูปจากความร้อน มีความแข็งแรงสูงความสามารถในการหน่วงไฟสูง	ความแข็งแรงกระแทกต่ำ
Polypropylene	PP	พลาสติกที่เบาที่สุด มีผิวแข็ง และมีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก	

2.2.2 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ผสม [5]

พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) หมายถึง พอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter, δ) ใกล้เคียงกันเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันไปจนถึงระดับโมเลกุลซึ่งมีพลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing, ΔG_m) $\Delta G_m < 0$

2. พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Imiscible blend) หมายถึง พอลิเมอร์ผสมที่มี $\Delta G_m > 0$ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการเฮร์โมไดนามิกส์ (2.1)

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

เมื่อ	ΔG	คือ	พลังงานอิสระกิบส์
	ΔH	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม
	ΔS	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม
	T	คือ	อุณหภูมิสัมบูรณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นสาเหตุทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสมต่ำ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสมมักมีค่าเป็นบวก ทำให้ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่าศูนย์ เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้น มีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter, δ) ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้เป็น 2 วัฏภาค คือ พอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของพอลิเมอร์ผสม เรียกว่า วัฏภาคหลัก (Matrix phase) ส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบส่วนน้อย เรียกว่า วัฏภาคกระจาย (dispersed phase) ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)

2.2.3 ความสามารถในการเข้ากันได้

จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว จึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมมีข้อบกพร่อง ดังนี้

- มีสมบัติการยึดติดที่ผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่ดี
- มีค่าความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค (Interfacial tension) สูง
- มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจในการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวด้วยการนำสารช่วยผสม (Compatibiliser) มาใช้เพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูปมีวัฏภาคกระจายที่มีขนาดเล็ก และทำให้สมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคดีขึ้น ซึ่งมีวิธีการที่ให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดี แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

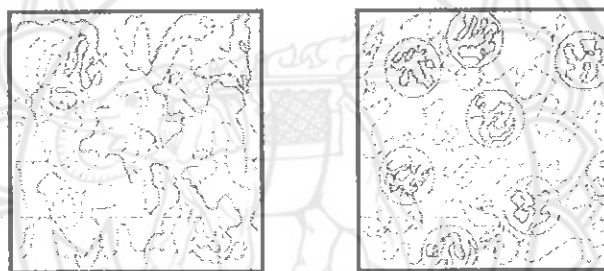
2.2.3.1 Non-reactive Blending คือ การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสตอร์โครงสร้างที่เหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัฏภาคสองชนิดของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสารช่วยผสมนิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ร่วม ซึ่งมีหลายชนิด คือ พอลิเมอร์ร่วม แบบโคบิล็อก แบบไตรบิล็อก แบบกราฟต์ หรือแบบสุ่ม

2.2.3.2 Reactive Blending เป็นวิธีการที่เติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันนั้นมีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะทำการผสม หรือทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การกราฟต์พอลิเมอร์เอทิลีนด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) หรืออะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) ซึ่งทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลที่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเอไมด์

ดังนั้นความสามารถในการเข้ากันได้ หมายถึงความสามารถในการเกี่ยวพัน หรือการทำปฏิกิริยาเคมีขณะที่ทำการผสมกันของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน แต่ไม่ใช่ความสามารถในการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

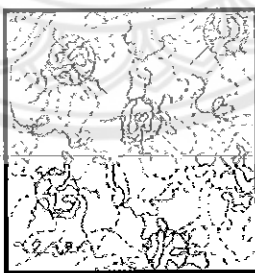
2.2.4 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม [6]

โดยทั่วไปสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมี 3 แบบ ซึ่งใช้ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมเป็นหลักเกณฑ์ในการจำแนก แสดงดังรูปที่ 2.1 ในรูปที่ 2.1 (ก) แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ดีมีวิภาคเดียวไปจนถึงระดับโมเลกุล (Miscible) ลักษณะของสัณฐานวิทยาคลายพอลิเมอร์ผสมร่วมแบบอิสระ (Random copolymer) การที่พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B รูปที่ 2.1 (ข) แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่ไม่เข้ากันมีหลายวิภาค (Immiscible) ซึ่งพบมากในพอลิเมอร์ผสมทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยพื้นฐานต่างๆ เช่น ความหนืดของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สมบัติความมีขั้ว สมบัติการละลาย นอกจากนี้ยังมีสัณฐานวิทยาแบบที่เข้ากันได้ดีบางส่วนและแยกวิภาคอย่างชัดเจน (Partially miscible) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค)



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเมอร์ A (____) และ พอลิเมอร์ B (____)

โดย (ก) miscible (ข) immiscible และ (ค) partially miscible [6]

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยเฉพาะสมบัติเชิงกล จากสัณฐานวิทยาในรูปที่ 2.1 (จ) และ (ค) การกระจายตัวและการยึดติดระหว่างผิวสัมผัส (Interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างวัฏภาค ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลต่ำ ดังนั้นในการผสมพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการจำเป็นต้องทราบ ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมในรูปที่ 2.2

	LDPE	HDPE	Ethylene Copolymers	PP	EPDM	PS	SAN	ABS	PVC	PA	PC	PMMA	PBT	PET	SEBS
HDPE	1														
Ethylene Copolymers	1	1													
PP	4	4	2												
EPDM	4	4	3	1											
PS	4	4	4	4	4										
SAN	4	4	4	4	4	4									
ABS	4	4	4	4	4	4	1								
PVC	4	4	2	4	4	4	2	3							
PA	4	4	1	4	1	4	4	4	4						
PC	4	4	4	4	4	4	2	1	4	4					
PMMA	4	4	3	4	4	4	2	2	2	4	2				
PBT	4	4	2	4	4	4	4	2	4	4	1	4			
PET	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	1	4	2		
SEBS	4	4	4	4	4	1	3	2	3	3	4	4	4	4	4

* 1= ดีมาก 2=ดี 3=อาจเข้ากันได้แต่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ และ 4=ไม่ดี

รูปที่ 2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม [6]

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เข้ากันได้ไม่ดี ดังนั้นจำเป็นต้องมีวิธีการในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากันมีหลายวัฏภาคให้มีการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสดีขึ้น

2.3 สารช่วยผสม (Compatibilizer) [7]

การเติมสารช่วยผสมเป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีผลให้

- แรงตึงผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์หลอมเหลวมีค่าลดลง ทำให้การกระจายตัว

ในวัฏภาคดีขึ้น

- เพิ่มแรงยึดติด (Adhesion) ระหว่างผิวสัมผัส ทำให้การถ่ายเทความเค้น (Stress transfer)

เกิดได้ดีขึ้น

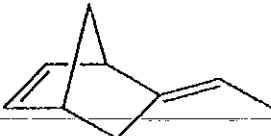
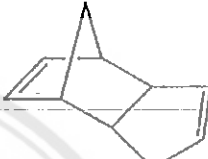
- ช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีฐานฐานวิทยาศาสตร์ที่เสถียร

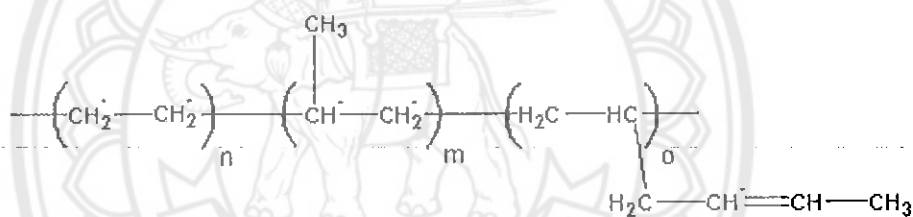
ขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

โดยสารช่วยผสมอาจเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดบล็อกหรือกราฟต์ ซึ่งสามารถแทรกตัวผ่านเข้าไปในวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น ในการเลือกพอลิเมอร์ร่วมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมต้องคำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลในแต่ละส่วนของพอลิเมอร์ร่วม คือ ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความยาวของสายโซ่สั้น ทำให้การแทรกตัวผ่านไปในพอลิเมอร์ผสมได้น้อย ส่งผลให้การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสต่ำ แต่ถ้าน้ำหนักโมเลกุลสูงเกินไป ให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก การแทรกตัวผ่านไปในพอลิเมอร์ก็ต่ำเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์ (Ethylene-Propylene-Diene Copolymer : EPDM)

EPDM เป็นยางสังเคราะห์ชนิดเทอร์โมพลาสติกโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 เป็นสารช่วยผสม มีโครงสร้างเป็นออสซิลลูชันซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ร่วม 3 ชนิด คือ เอทิลีน (Ethylene) โพรพิลีน (Propylene) และไดอีน (Diene) เป็นพอลิเมอร์ร่วมในโครงสร้าง ทำให้เกิดความไม่อิมิตัวในโครงสร้าง ซึ่ง ไดอีน เป็นโครงสร้างที่ใส่เข้าไปเพื่อช่วยให้ง่ายในการเชื่อมโยง โดยไดอีนี่ใช้จะเป็นชนิดไม่คอนจูเกต ตัวอย่างโครงสร้างไดอีนแสดงดังตารางที่ 2.4 ตำแหน่งสำหรับใช้เชื่อมโยงของยาง EPDM ทำให้สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเหมือนกับยางชนิดอื่นๆ ดังนั้นชนิดนี้จึงยังคงมีความทนทานต่อโอโซนและดินฟ้าอากาศดี

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง Nonconjugated diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
1,4 Hexadiene (HD)	เชื่อมโยงช้า แต่ได้ยางที่มีสมบัติใกล้เคียง EPM	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$
Ethylidene norbornene (ENB)	นิยมมากที่สุด แต่แพง เชื่อมโยงง่าย และเข้าได้ดีกับยางไม่อิ่มตัวอื่นๆ	
Dicyclopentadiene (DCPD)	ราคาถูก เข้าได้ดีกับยางชนิดอื่นแต่เชื่อมโยงช้าที่สุด	



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM (terpolymer)[7]

โครงสร้างของหน่วยย่อยใน EPDM มีการกระจายแบบสุ่ม ไม่เรียงลำดับของหน่วยย่อยเอทิลีนและพอฟิลีน แต่จะประกอบด้วยส่วนสั้นๆ ของพอลิเอทิลีนและพอลิพอฟิลีนกระจายอยู่ทั่วไประหว่างโคพอลิเมอร์ (Co-Polymer) การเพิ่มสัดส่วนของไดอีนจะทำให้การไม่อิ่มตัวสูงขึ้น

โครงสร้างและส่วนผสมของ EPDM ทำให้ EPDM มีความต้านทานต่อโอโซน (Ozone) และอากาศ สารประกอบที่มี EPDM เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานกลางแจ้งหรืองานที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีโอโซนสูง โดยไม่ต้องใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน น้ำมัน หรือสารเติมแต่งอื่นๆ นอกจากนี้ EPDM ยังทนต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

คุณสมบัติอื่นๆ รวมถึงความต้านทานต่อของไหลที่มีขั้วเช่น แอลกอฮอล์ คีโตน เอสเทอร์ และอะซิเตท ความทนต่อสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ความสามารถในการบิดงอที่อุณหภูมิ ต่ำได้ดี คุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยม และกรที่ EPDM มีความหนาแน่นต่ำ (ความถ่วงจำเพาะ ประมาณ 0.869) จึงมีความสามารถในการรับสารต่างๆเช่น น้ำมัน หรือ สารเติมแต่งอื่นๆ ใน ระดับสูง ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายขึ้น

EPDM ได้ถูกนำมาใช้ในทางการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ.1964 โดยนำมาใช้กันมากในงานด้านการทำ ชิ้นส่วนโดยแม่พิมพ์และการขึ้นต้น งานที่นำมาประยุกต์ใช้เช่น ท่อ (Hose) ที่มีระบบหล่อเย็นในตัว ยางรถยนต์ แผ่นเหล็กที่ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศ ฉนวนเคเบิลในกระบวนการเผา ไหม้รถยนต์ อุปกรณ์ทางการเกษตร และงานก่อสร้างอาคารและโครงสร้าง

ในงานวิจัยเลือกใช้สารช่วยผสม ชนิด EPDM เหตุผลที่เลือกใช้สารช่วยผสมชนิดนี้ เพราะว่ EPDM ประกอบด้วย เอทิลีน (Ethylene) โพรพิลีน (Propylene) และไดอีน (Diene) จึงง่ายที่ เอทิลีน ใน EPDM จะไปเกี่ยวพันสายโซ่กับ HDPE และ โพรพิลีน ใน EPDM จะไปเกี่ยวพันสายโซ่กับ PP เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันจึงสามารถเกี่ยวพันกันทางสายโซ่ได้ง่าย

2.4- ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำการึกษา

1. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP)
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE)

2.4.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) [2]

พอลิโพรพิลีน มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอด ปราศจากสายโซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมเหลว 165 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ชนิดนี้ ถือว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้ เช่นเดียวกับกับพอลิเอทิลีน และเนื่องจากมีความเป็นผลึกสูงนี้เอง เป็นเหตุให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง และมีแรง เทนไซล์สูง จุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิโพรพิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่มี อุณหภูมิสูงกว่า วัสดุที่ทำมาจากพอลิโพรพิลีนยังคงรักษารูปร่างไว้ได้ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ทนต่อการด-เบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทั่วไป

สมบัติทั่วไปของพอลิพอฟิลีน

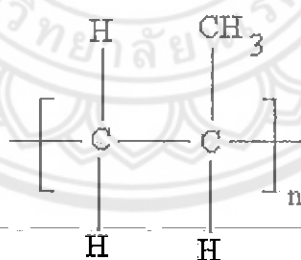
- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปง่าย
- สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมากแต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัวหรืออ่อนนิ่มได้
- มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส ถึง -10 องศาเซลเซียส แต่ที่ 40

องศาเซลเซียส จะเปราะ

- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100 องศาเซลเซียส) ได้
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสงและทึบแสง

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพอฟิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ ก่อสร้างเครื่องมือ เครื่องสำอาง ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับ กระเป๋าคือใช้ในครัวเรือนกล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี กระป๋องน้ำมันเครื่องกระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของพอลิพอฟิลีน [2]

ตารางที่ 2.3 สมบัติของพอลิโพรพิลีน เกรด P700J*

Property	Test Method	Value
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 (230°C, 2.16 kg)	12 g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.910 g/cm ³
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	200 kg/cm ²
Elongation at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	650 %
Flexural Modulus	ASTM D 790	14500 kg/cm ²
Melting Point	ASTM D 2117	163 °C

* ข้อมูลจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของ PP เกรด P700J โดยมีการทดสอบ ดัชนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 230 องศาเซลเซียส ดัมน้ำหนักที่ใช้กดคือ 2.16 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 นาที ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลาย ที่ราบความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด 0.90-1.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นดัมเบลล์ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วในการดึงยืด 50 มิลลิเมตรต่อนาที, มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3-point-bending test) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 มิลลิเมตรหนา 4 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 15-17 เท่าของความหนา จุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117

2.4.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) [2]

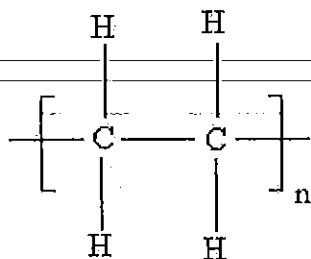
โดยทั่วไปแล้ว พอลิเอทิลีน มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว เมื่อสัมผัสจึงรู้สึก ลื่น ยืดหยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ใสสีผสมได้ง่ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด ไซของพอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมาก เป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีความเป็นผลึกสูง (มากกว่า 90 %) ความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวก็สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปมีความหนาแน่น 0.95 – 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว 135 องศาเซลเซียส ทำให้ความเหนียว ความแข็งและแรงทนไชล์ก็สูงกว่า เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น คุณสมบัติที่ใช้ในการหลอมตัวสูงขึ้น และอัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของพื้นผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกได้ง่ายขึ้น

สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

- มีความยืดหยุ่นได้ดี มีความเหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำ
- มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก
- ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควรและอากาศสามารถซึมผ่านได้ดี
- ความสามารถในการหดตัวขณะอยู่ในแม่พิมพ์ดีมาก ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ง่าย
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
- ผสมสีได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตเป็นฟิล์มใส ฟิล์มสี ฟิล์มโปร่งแสงและฟิล์มทึบแสงได้
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส

ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ ขวดใสสารเคมี ขวดใส่น้ำ ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ ของเล่นของเด็ก ถุงเย็น ถาดทำน้ำแข็ง ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ถุงใส่ของ แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ ใต๊ะและเก้าอี้ที่มีน้ำหนักเบา



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [2]

ตารางที่ 2.4- สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J *

Property	Test Method	Value
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 (230°C, 2.16 kg)	18 g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.962 g/cm ³
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	160 kg/cm ²
Elongation at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	150 %
Flexural Modulus	ASTM D 790	13000 kg/cm ²
Melting Point	ASTM D 2117	131 °C

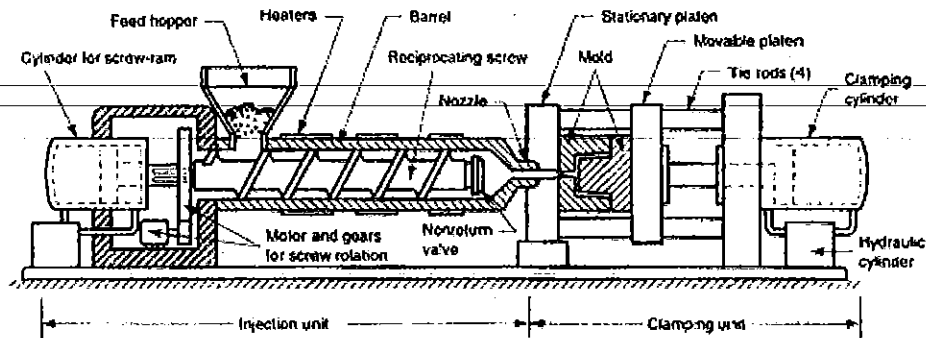
* ข้อมูลจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติของ HDPE เกรด H5818J โดยมีการทดสอบ ดังนี้การไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 230 องศาเซลเซียส ต้มน้ำหนักที่ใช้กดคือ 2.16 กิโลกรัม และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 นาที ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลาย ที่ราบความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด 0.90-1.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นดัมเบลล์ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ให้อัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วในการดึงยืด 50 มิลลิเมตรต่อนาที, โมดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3-point-bending test) ทดสอบโดย

ใช้เครื่องทดสอบเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 มิลลิเมตร
หนา 4 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 15-17 เท่าของความหนา จุดหลอมเหลว (Melting Point)
ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117

2.5 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) [8]

การฉีดขึ้นรูปเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่สำคัญ และใช้กันอย่างกว้างเนื่องจากการฉีดขึ้นรูปมีข้อ
ได้เปรียบกว่าวิธีอื่นๆ คือ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี และมีขนาดต่างๆกัน กรรมวิธี
การทำงานไม่ยุ่งยากเนื่องจากสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ นอกจากนี้สามารถทำงานได้กับ
พลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง และกับพลาสติกทุกประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก
(Thermoplastics) เทอร์โมเซต (Thermosets) และอีลาสโตเมอร์ (Elastomers) การทำงานของ
เครื่องฉีดขึ้นรูปเริ่มจากระบบขับเคลื่อน (ระบบไฮดรอลิก) ของส่วนการยึดแม่แบบจะดันให้แท่นยึด
แม่แบบเคลื่อนที่ (Moving platen) วิ่งมาประกบปิดกับแท่นยึดแม่แบบที่อยู่กับที่ (Stationary
platen) ขณะที่แม่แบบปิดอยู่ ส่วนของการฉีดจะเริ่มทำงานโดยเกลียวหนอนจะหมุนเพื่อดึงเม็ด
พลาสติกลงมาหลอม โดยใช้ความร้อนจากการเสียดสีและจากแถบความร้อน ในขณะที่เม็ด
พลาสติกหลอมจะเคลื่อนตัวไปด้านหน้าตามร่องของเกลียวหนอน และทำให้เกิดความดันขึ้น
เนื่องจากเกลียวหนอนมีการหมุนขึ้นให้เม็ดพลาสติกหลอมเคลื่อนตัวมาข้างหน้าตลอดเวลา จึงเกิด
การสะสมของพอลิเมอร์ที่ด้านหน้าของเกลียวหนอนจนมากพอที่จะดันให้เกลียวหนอนถอยกลับ
ไปสู่ระยะที่กำหนดไว้ เกลียวหนอนจึงหยุดหมุนแล้วจึงเริ่มฉีด โดยแบ่งเป็น 2 จังหวะคือ การฉีดใน
จังหวะแรกเกลียวหนอนจะทำหน้าที่คล้ายลูกสูบดันให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าสู่แม่แบบมากขึ้น
เพื่อชดเชยกับส่วนที่หดตัวของผลิตภัณฑ์ แล้วเข้าสู่การทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว (Cooling) ซึ่งเกิด
จากการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังของแม่แบบที่เย็น ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวและ
แข็งตัวจนสามารถนำออกจากแม่แบบได้ ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปในการขึ้นรูป
ชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้



รูปที่ 2.6 เครื่องฉีดแบบ Injection Molding [9]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรรยา พรธนาม และธานีพร ภูเพียร [1] ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ผลของวิจัย

PP 100% ให้ค่าความทนต่อแรงดึง(Tensile Strength) มากที่สุด

HDPE 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น(% Elongation at break) มากที่สุด

PP:HDPE 70:30 ให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น(Modulus of Elasticity) มากที่สุด

ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170 , Compression-zone 180 , Metering-zone 190 และ Nozzle 200°C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

Sylvie Bertin, Jean-Jacques Robin [10] ศึกษาและอธิบายพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพพิลีน บริสุทธิ์และรีไซเคิล

ผลของวิจัย

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE:PP ที่ 90:10 รีไซเคิล ที่ใช้เครื่องฉีดแบบ twin-screw extrusion ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

ใช้สารช่วยผสมชนิด EPDM ให้ค่าสมบัติเชิงกลรวมดีกว่า ใช้สารช่วยผสมชนิด EPM

เมื่อเติม ใช้สารช่วยผสมชนิด EPDM ลงไปทำให้สมบัติเชิงกลรวมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE(90)/PP(10) มีค่าลดต่ำลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 พอลิโพรพิลีน (PP) เกรด P100J

3.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เกรด H5818J

3.1.3 สารช่วยผสม (Coupling agent) ชนิด เอทิลีน พอพิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์ (Ethylene-Propylene-Diene Copolymer : EPDM) เกรด 501A

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding) รุ่น BOY 50M

3.2.2 เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine (UTM) รุ่น LR 5K

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) LEO รุ่น 1455 VP

3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE

3.3.1.1 เตรียมส่วนผสมระหว่าง PP กับ HDPE ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่าง PP:HDPE

PP (%)	HDPE (%)
100	0
90	10
70	30
50	50
30	70

3.3.1.2 นำ PP:HDPE ในอัตราส่วนต่างๆ ผสมในเครื่องฉีด (Injection molding) ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170°C, Compression-zone 180°C, Metening-zone 190°C และ Nozzle 200°C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที [1]

3.3.1.3 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่

- ทดสอบแรงดึง (Tensile Strength)
- ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)
- มอดุลัส (Young's Modulus)

3.3.1.4 ศึกษาพื้นฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM

3.3.1.5 นำพอลิเมอร์ผสมที่มีวิธีผสมและอัตราส่วนที่เหมาะสมมาปรับปรุงสมบัติเชิงกล

โดยใช้สารช่วยผสม

3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสม EPDM

3.3.2.1 เตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารช่วยผสม EPDM ที่ใช้ในการปรับปรุงพอลิเมอร์ผสม

PP:HDPE	EPDM (% / wt PP+HDPE)
70:30*	0
	1
	3
	5
	10

หมายเหตุ * PP:HDPE จากตารางที่ 3.1 ที่ให้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมต่อการนำมาปรับปรุง

3.3.2.2 นำส่วนผสมต่างๆ มาขึ้นรูปตามข้อที่ 3.3.1.2.

3.3.2.3 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลตามข้อที่ 3.3.1.3. - 3.3.1.4.

3.4 วิธีการทดสอบ

สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์ผสม

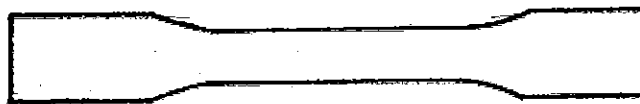
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)	ASTM D638M	MPa
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)	ASTM D638M	%
มอดุลัส (Young's Modulus)	ASTM D638M	MPa

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดและมอดุลัส

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เป็นไปดั่งมาตรฐาน ASTM D 638 [6] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine :UTM) ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปดัมเบลล์ดังรูปที่ 3.1 ให้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตรและใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 500 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 60 มิลลิเมตร/นาที (mm/min)
- ความยาวของเกจ (Gauge length) 70.5 มิลลิเมตร (mm)



รูปที่ 3.1 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [11]

สมบัติเชิงกลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ

1) ความแข็งแรงดึง (Tensile Stress)

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ	σ	=	ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
	P	=	แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น นิวตัน
	A	=	พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร

2) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break:EI)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (\%EI)} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ	EI	=	ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด
	L_f	=	ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
	L_o	=	ความยาวของเกจเริ่มต้น มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

3) มอดุลัส (Young's Modulus)

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{PL}{A\Delta L} \dots\dots\dots(3.3)$$

เมื่อ	E	=	มอดุลัสของความยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
	σ	=	ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
	e	=	ความเครียด (Strain)

3.4.2 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope. SEM) ที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 3000 เท่า การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลว และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM โดยทำการศึกษาการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสม



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพอฟิลินและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้เอทิลีน พอฟิลิน ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม โดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ รวมทั้งได้ศึกษา การใช้สารช่วยผสม ชนิด EPDM ที่ปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติของ พอลิเมอร์ผสม ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

4.1.1 สมบัติเชิงกล

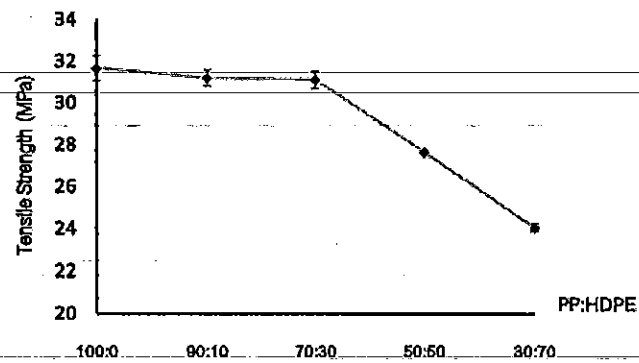
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0, 90:10, 70:30, 50:50 และ 30:70 โดยใช้สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170°C, Compression-zone 180°C, Metening-zone 190°C และ Nozzle 200°C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที [1] ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1

i5059951

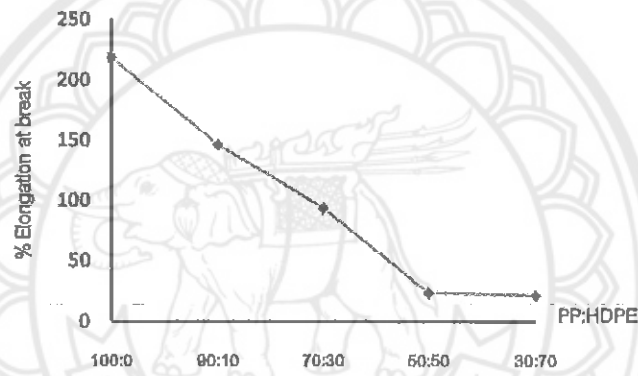
ป.ร.

๓๖๓๑๗

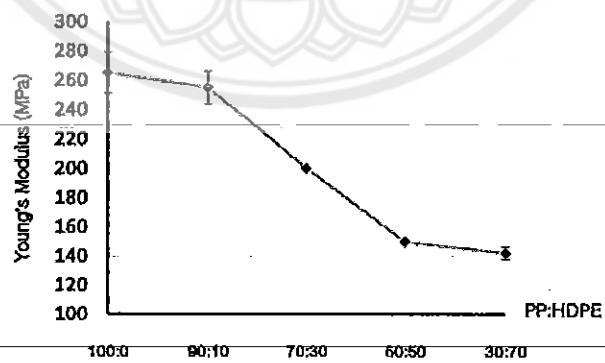
๒๕๕๑



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึง และปริมาณ PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

(ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (ค) มอดุลัส

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งแรงดึงกับปริมาณ PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า เมื่อมีการเติมปริมาณของ HDPE เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดต่ำลง เพราะ PP กับ HDPE เข้ากันไม่ได้ [6] เมื่อให้แรงกับชิ้นงานส่งผลให้ไม่สามารถส่งผ่านแรงภายในชิ้นงานทดสอบได้อย่างต่อเนื่องเพราะความสามารถในการยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์มีน้อยการส่งผ่านแรงระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์จึงเป็นไปได้ยาก [12]

จากรูปที่ 4.1 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด กับปริมาณ PP:HDPE อัตราส่วนต่างๆพบว่า เมื่อมีการเติม HDPE เพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากมีการเติมปริมาณของ HDPE ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำลงไป จึงทำให้ร้อยละของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง [13]

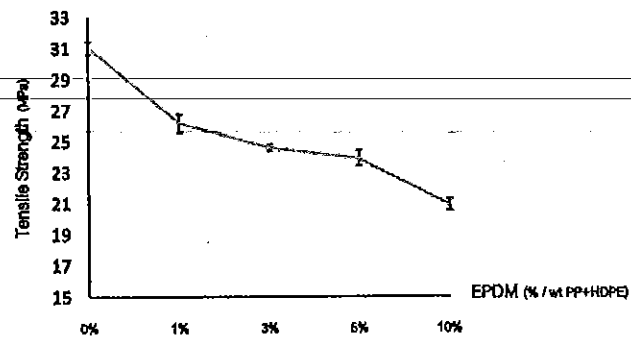
จากรูปที่ 4.1 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มอดุลัสกับปริมาณ PP:HDPE อัตราส่วนต่างๆพบว่า เมื่อมีการเติม HDPE เพิ่มขึ้นส่งผลให้มอดุลัสมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจาก HDPE ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนนุ่ม (Soft) มากกว่า PP ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานต่อการเสียรูปต่ำลง

จากการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE พบว่าที่อัตราส่วนผสม 90:10 ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับ PP มากที่สุด แต่เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจึงเลือกที่อัตราส่วน 70:30 เพราะให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ที่อัตราส่วน 90:10 และมีอัตราการผลิตของพอลิเมอร์ชนิด HDPE ที่มากกว่า

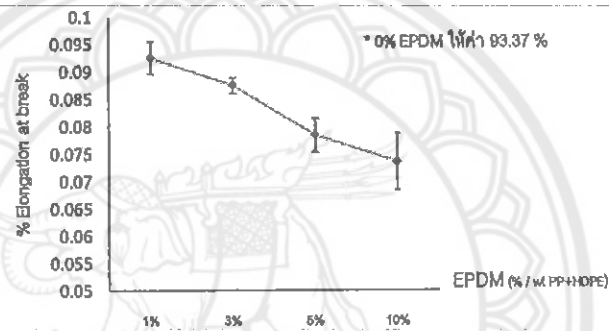
4.2 ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM

4.2.1 สมบัติเชิงกล

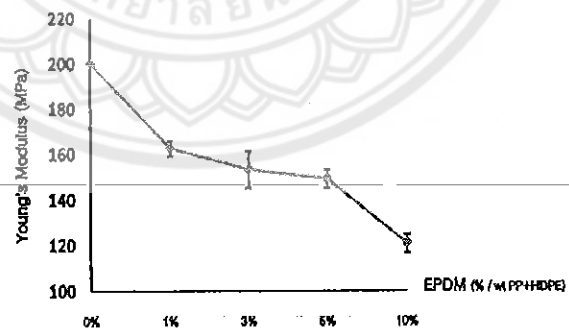
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170°C, Compression-zone 180°C, Metening-zone 190°C และ Nozzle 200°C และความเร็รรอบ 50 รอบต่อนาที จากผลการทดลองในข้อ 4.1.1 โดยเลือกอัตราส่วนผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 มาทำการปรับปรุงสมบัติโดยการใช้สารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ปริมาณ 0, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM

(ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (ค) มอดุลัส

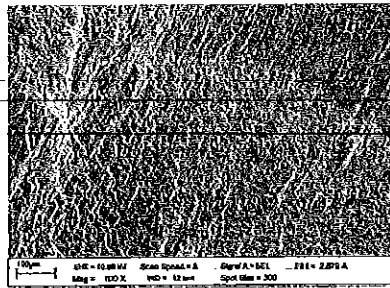
จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ มอดุลัส กับปริมาณ PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ ปริมาณ 0, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อเติมปริมาณ EPDM ช่วยให้ค่าสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการกระจายตัว EPDM ไม่สม่ำเสมอ

จากการศึกษาพบว่า 1%EPDM ให้ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ มอดุลัส ดีที่สุด

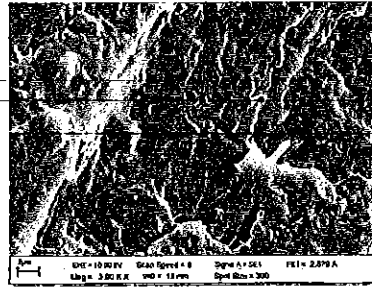
4.2.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ปรับปรุงคุณสมบัติในการใช้สารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ปริมาณ 0, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม และนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ให้ผล การศึกษาดังรูปที่ 4.3

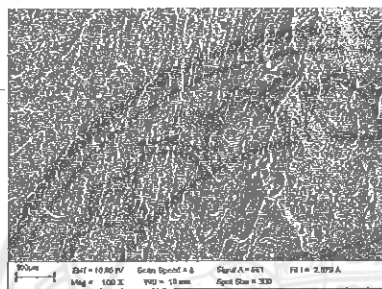




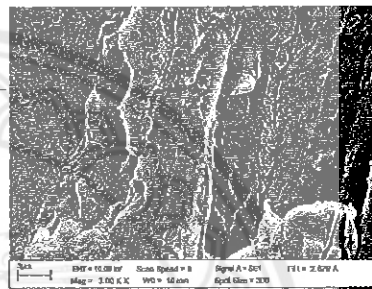
(ก)



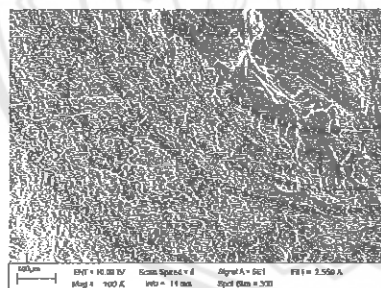
(ข)



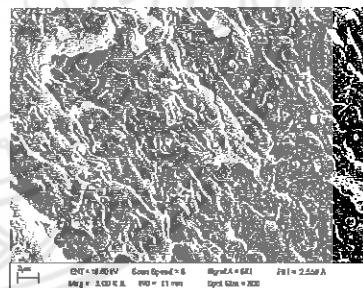
(ค)



(ง)

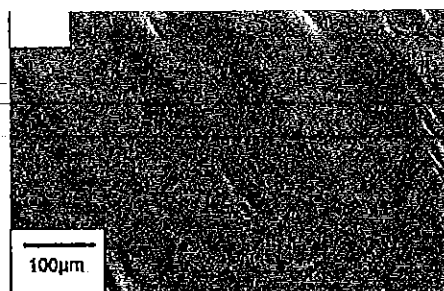


(จ)

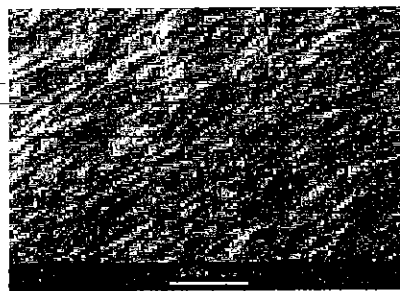


(ฉ)

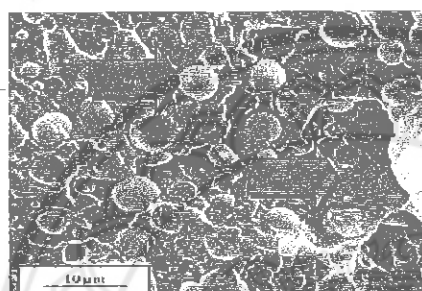
รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 3000 เท่า ที่ปริมาณ EPDM ต่างๆ กัน (ก)-(ข) PP:HDPE (ค)-(ง) PP:HDPE :1%EPDM (จ)-(ฉ) PP:HDPE : 5%EPDM PP:HDPE



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาจากงานวิจัย (ก) PP ที่กำลังขยาย 100 เท่า [14] (ข) HDPE ที่กำลังขยาย 400 เท่า [15] (ค) PP(80):HDPE(20) ที่กำลังขยาย 10 เท่า[16]

จากรูปที่ 4.3 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM จากการทำการศึกษพบว่าเมื่อทำการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบแต่วัฏภาคของ PP ไม่พบ HDPE บนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม ดังรูปที่ 4.4 (ก),(ข) เนื่องจากการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมไม่เกิดการกระจายตัวที่ดี ถ้าพอลิเมอร์ผสมผสมเข้ากันได้ดี การกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมจะกระจายตัวอยู่ในเนื้อเดียวกัน หรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่องของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ดังรูปที่ 4.4 (ค)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพอฟิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้ไอทิลีน พอฟิลีน ไดอีน โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม ได้ข้อสรุปดังนี้

1 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 100:0, 90:10, 70:30, 50:50 และ 30:70 ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170°C, Compression-zone 180°C, Metening-zone 190°C และ Nozzle 200°C และความเร็วยรอบ 50 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ HDPE ส่งผลให้สมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำลง ส่วนสมบัติเชิงกลที่อัตราส่วนผสมที่ 90:10 ให้ค่าสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกันแต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม จึงเลือกที่อัตราส่วน 70:30

2 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 มาทำการปรับปรุงสมบัติโดยการใส่สารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170°C, Compression-zone 180°C, Metening-zone 190°C และ Nozzle 200°C และความเร็วยรอบ 50 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อเติม EPDM ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำลง และที่ปริมาณ EPDM ต่างๆพบว่าที่ 1%EPDM ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ปริมาณอื่น

3 จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ปรับปรุงคุณสมบัติในการใส่สารช่วยผสมชนิด EPDM ที่ปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม และนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM พบแต่วัฏภาคของ PP ไม่พบ HDPE บนพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากไม่เกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1 ควรมีการเพิ่มวิธีการผสม โดยในการดำเนินงานวิจัยนี้จะมีการผสมแบบเดียว ทำให้การกระจายตัวในการผสมเกิดการกระจายตัวที่ไม่ทั่วถึง จึงควรมีการเพิ่มวิธีการผสมเพื่อให้มีการกระจายตัวได้ดีขึ้น

2 ศึกษาสารช่วยผสมชนิดอื่นที่มีโครงสร้างคล้าย PP กับ HDPE



บรรณานุกรม

- [1] จรุง พรธนา,ธานินทร์ ภูเพียร ,2546 " คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง". *ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*
- [2] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์,2538 *พลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 12, กรุงเทพมหานคร,2538
- [3] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา . *พอลิเมอร์ผสม* . Online). Available : www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2548_polymer_blend.pdf
- [4] สมศักดิ์ วรรณกุลชัย สารปรับแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร,2547
- [5] W.J.WORK, "Defination of Terms Related to Polymer Blends, Composites, and Multiphase Polymeric Material", *Pure Appl. Chem.*, 76, 2004, 1985-2007
- [6] Jacqueline I. Kroschwitz, " High performance Polymers and Composite", 65-80.
- [7] P.K. Mallich. 1993. *Fiber-reinforced Composites : Material, Manufacturing and Desing*. 2nd ed. Marcel Dekker. New York
- [8] สมศักดิ์ วรรณกุลชัย 2544. *เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2.3-กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- [9] *Plastics Dome. Injection Molding machine & tooling.* (Online). Available : [//plastics.turkavkaz.ru/equipment/injection-molding-machine/](http://plastics.turkavkaz.ru/equipment/injection-molding-machine/)
- [10] Sylvie Bertin, Jean-Jacques Robin. "Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends". *European Polymer Journal* 38 (2002) 2255-2264
- [11] ASTM D-638. 1996. " Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)". *Philadelphai : American Society for Testing and Material*
- [12] Z.F.Fang, G.W.MA, B.Q. Shentu and C.W.Xu. 2000 "Influence of viscosity Ratio on Morphology of PVC/PEblend" *Journal of European Polymer*; 36:2309-2311
- [13] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527. *เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน* สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- [14] NaWang, Qinghong Fang, Yawei Shao and Jing Zhang. (2009). "Microstructure and properties of polypropylene composites filled with co-incorporation of MCM-41 (with template) and OMMT nanoparticles prepared by melt-compounding". *Materials Science and Engineering A* 512:32-38

[15] University of Cambridge.สืบค้นเมื่อ 19/5/52,จาก

www.doitpos.ac.uk/systems.php?id=65

[16] A.M.C. Souza and N.R Demarquette.(2002). "Influence of coalescence and interfacial tension on the morphology of PP/HDPE compatibilized blends".Polymer43.3959-3967





ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE

ตารางที่ ก.1 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ชิ้นงาน	Tensile Strength (MPa)				
	100:0	90:10	70:30	50:50	30:70
1	31.44	31.2	31.65	27.78	24.19
2	31.25	31.78	31.26	27.59	24.05
3	31.06	30.98	30.87	27.59	24.19
4	32.49	31.04	30.95	27.57	23.97
5	32.04	30.81	30.59	27.47	23.73
AVG	31.66	31.16	31.06	27.60	24.03
SD	0.59	0.37	0.41	0.11	0.19

ตารางที่ ก.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ชิ้นงาน	% Elongation at break				
	100:0	90:10	70:30	50:50	30:70
1	212.79	145.59	92.83	22.81	21.31
2	217.62	143.78	91.68	21.54	22.31
3	218.79	148.99	91.92	25.71	22.29
4	222.15	144.32	94.97	22.83	20.25
5	219.25	147.11	95.43	22.40	20.35
AVG	218.12	145.96	93.37	23.06	21.30
SD	3.41	2.13	1.74	1.57	1.00

ตารางที่ ก.3 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

ชิ้นงาน	Young's Modulus (MPa)				
	100:0	90:10	70:30	50:50	30:70
1	250	275	200	150	140
2	275	250	200	150	140
3	275	250	200	150	140
4	250	250	200	150	150
5	275	250	200	150	140
AVG	265	255	200	150	142
SD	13.69	11.18	0	0	4.47

ตารางที่ ก.4 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ในปริมาณต่างๆ

ชิ้นงาน	Tensile Strength (MPa)				
	0% EPDM	1% EPDM	3% EPDM	5% EPDM	10% EPDM
1	31.65	25.59	24.41	23.95	21.53
2	31.26	26.71	24.71	24.37	20.68
3	30.87	26.45	24.61	23.29	20.63
4	30.95	25.46	24.92	24.46	20.94
5	30.59	26.75	24.44	23.54	20.79
AVG	31.06	26.19	24.62	23.92	20.91
SD	0.41	0.62	0.21	0.51	0.36

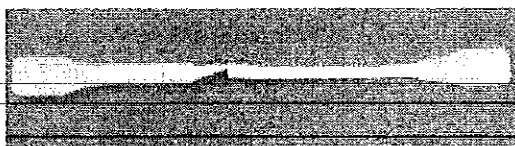
ตารางที่ ก.5 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ในปริมาณต่างๆ

ชิ้นงาน	% Elongation at break				
	0% EPDM	1% EPDM	3% EPDM	5% EPDM	10% EPDM
1	92.829	0.089	0.089	0.081	0.078
2	91.678	0.092	0.087	0.075	0.067
3	91.922	0.097	0.086	0.076	0.079
4	94.974	0.092	0.086	0.079	0.074
5	95.426	0.093	0.089	0.081	0.07
AVG	93.366	0.093	0.087	0.078	0.074
SD	1.736	0.003	0.002	0.003	0.005

ตารางที่ ก.6 สมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:HDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM ในปริมาณต่างๆ

ชิ้นงาน	Young's Modulus (MPa)				
	0% EPDM	1% EPDM	3% EPDM	5% EPDM	10% EPDM
1	200	161.67	148.33	153.33	123.33
2	200	166.67	158.33	151.67	126.67
3	200	161.67	146.67	151.67	120.00
4	200	165.00	148.33	145.00	118.33
5	200	158.33	165.00	145.00	116.67
AVG	200	162.67	153.33	149.33	121
SD	0	3.25	7.99	4.01	4.01

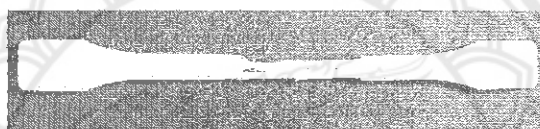




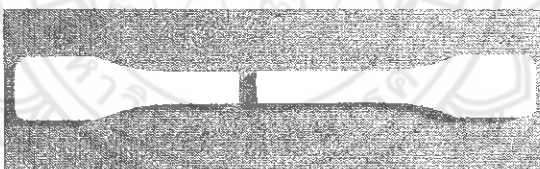
(ก)



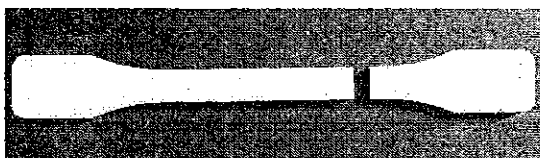
(ข)



(ค)



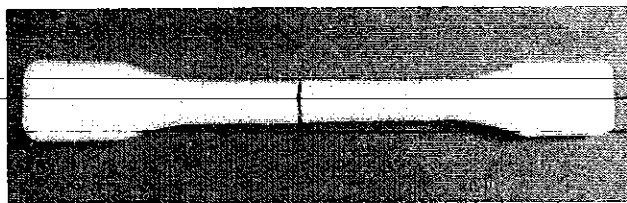
(ง)



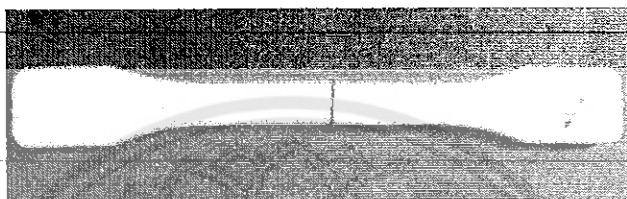
(จ)

รูปที่ ข.1 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ที่ปริมาณ PP:HDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

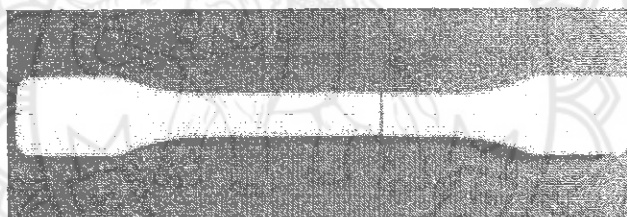
(ก) 100:0 (ข) 90:10 (ค) 70:30 (ง) 50:50 (จ) 30:70



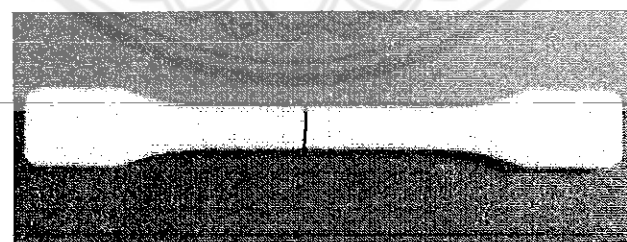
(ก)



(ข)



(ค)



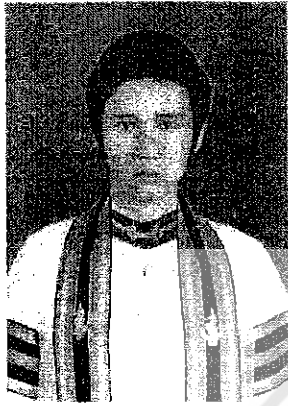
(ง)

รูปที่ ข.2 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ที่ปรับปรุงด้วยสารช่วยผสมชนิด EPDM

(ก) PP 70 :HDPE 30 :1%EPDM (ข) PP 70 :HDPE 30 :3%EPDM

(ค) PP 70 :HDPE 30 :5%EPDM (ง) PP 70 :HDPE 30 :10%EPDM

ประวัติผู้เขียนวิจัย



ชื่อ-ชื่อสกุล กิตติ คำฟู
วัน เดือน ปีเกิด 16 กันยายน 2529
ที่อยู่ปัจจุบัน จังหวัดสุโขทัย
ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทุ่งเสถี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย

- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก



ชื่อ-ชื่อสกุล อภิรัตน์ ปานพรหม
วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2528
ที่อยู่ปัจจุบัน จังหวัดตาก
ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสรรพวิทยาคม จังหวัดตาก

- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก