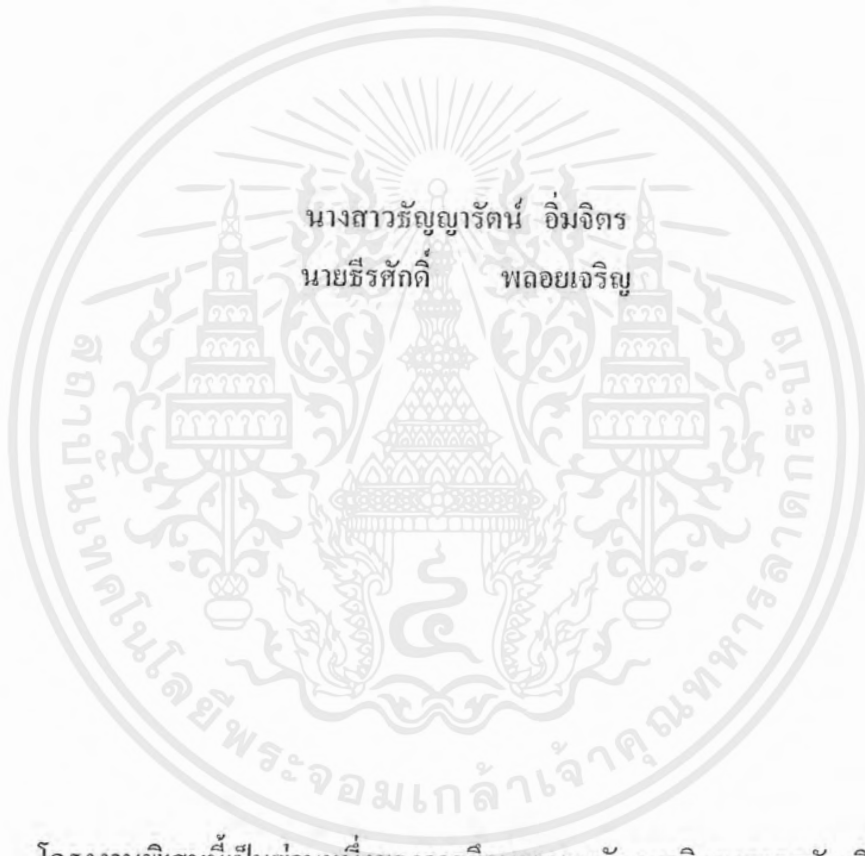


# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสืบค้นสูตรผสมสำหรับบดสีอย่างปูพื้นโดยใช้ถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



นางสาวธัญญารัตน์ อัมจิตร  
นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

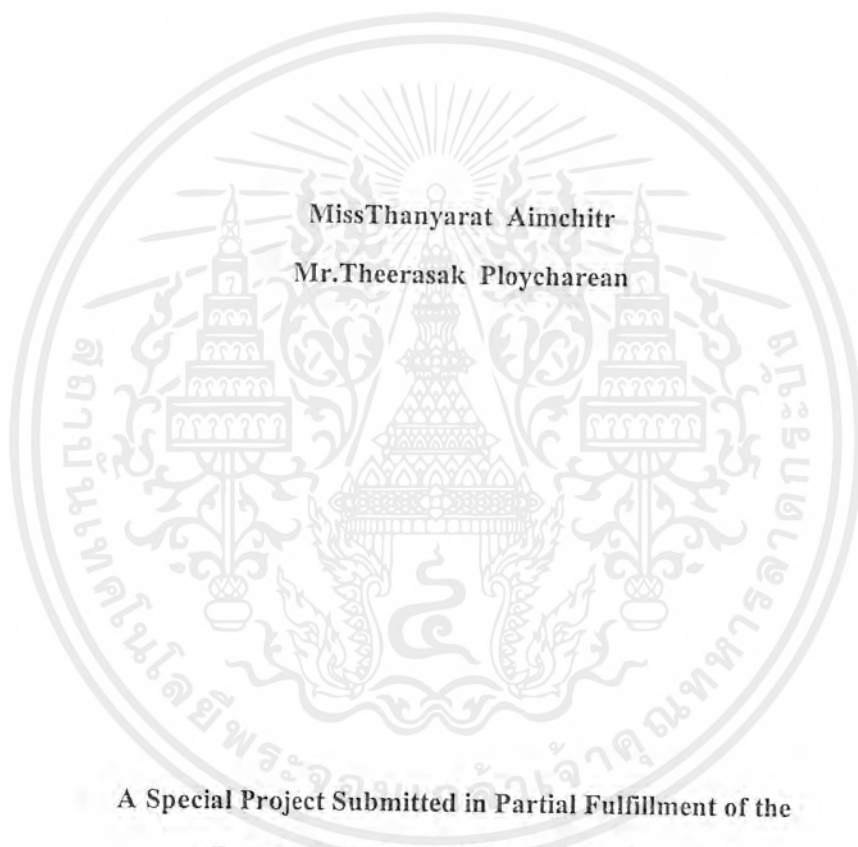
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 37648  
วัน, เดือน, ปี... 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Investigation of Block Buster Formulation by Using Rubber Glove  
and Low Density Polyethylene**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut ' s Institute of Technology Ladkrabang**

**1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

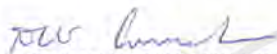
หัวข้อโครงการพิเศษ การสืบค้นสูตรสำหรับบดล็อกยางปูพื้นโดยใช้ถุงมือยางและ  
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

โดย น.ส. ธัญญารัตน์ อิ่มจิตร

นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

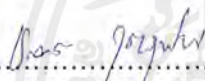
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
.....  
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการโครงการพิเศษ

  
.....  
(ดร.ชตลดา ฤตวิรุพห์)

ประธานกรรมการ

  
.....  
(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ

  
.....  
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสืบค้นสูตรผสมสำหรับบล็อกยางปูพื้นโดยใช้ถุงมือยางและ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
นักศึกษา	นางสาวธัญญารัตน์ อิมจิตร นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผสมสูตรถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพื่อทำบล็อกยางปูพื้น โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง พบว่าสมบัติของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวลดลงถ้าปริมาณถุงมือยางที่ผสมมากขึ้นไปเนื่องจากความไม่เข้ากันของวัสดุทั้งสอง จึงทำการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างถุงมือยางกับพอลิเอทิลีนโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ ถุงมือยางเป็น 0/100 30/70 40/60 50/50 60/40 70/30 และ 100/0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักตามลำดับ จากนั้นศึกษาถึงเวลาในการผสมเท่ากับ 10 15 และ 20 นาทีตามลำดับและอุณหภูมิในการผสมเป็น 140 150 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ ปริมาณของสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการ โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) และกรดสเตียริก เป็น 0/0 0/1 1/0 0/2 2/0 1/1 1/0.5 0.5/1 1/1.5 และ 1.5/1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักตามลำดับ เลือกอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานเป็นบล็อกยางปูพื้น โดยพิจารณาจากสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่าความแข็งแรง เปอร์เซนต์การขาดและราคาในการผลิต

จากผลที่ได้สรุปว่าอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนต่อถุงมือยางที่ทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดคือ อัตราส่วน 70 ต่อ 30 ใช้อุณหภูมิในการผสม 150 องศาเซลเซียส เวลาในการผสม 10 นาที ใช้ปริมาณของ สารช่วยกระจายตัว (WB212) และ กรดสเตียริก อย่างละ 1 เปอร์เซนต์ สูตรและสภาวะเหมาะสมที่ได้นำมาผสมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นพบว่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่าย มีสีอันสวยงาม น้ำหนักเบา และราคาในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าห้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Investigation of Block Buster Formation by Using Rubber Glove and Low Density Polyethylene
Name	Miss Thanyarat Aimchitr Mr. Theerasak Ploycharean
Special Project Advisor	Assist.Prof. Somsak Woramongkolchai
Department	Chemistry
Academic Year	1999

### Abstract

This research aimed to investigate the blending formation of rubber glove and low density polyethylene by using two-roll mill. The property of polymer blends were decreased as the amount of rubber glove would increased according to the incompatibility of two phases. Therefore, it studied the ratio between the rubber glove and polyethylene as 0/100 30/70 40/60 50/50 60/40 70/30 100/0 (percent by weight). Times were 10 15 and 20 minutes and mixing temperatures were 140 150 and 160 °C. The amount of mixed additive (WB212/Stearic acid) in the process were 0/0 0/1 1/0 0/2 2/0 1/1 1/0.5 0.5/1 1/1.5 and 1.5/1 (percent by weight) by using the ratio and optimum condition of product that indicated the properties for block buster. The properties considered were tensile strength, percent of elongation at break, flexural strength, hardness, percent of abrasion and cost of production.

The results showed that the ratio of polyethylene and rubber glove that indicated the best mechanical properties was 70 to 30 with the mixing time of 10 minutes, the mixing temperature at 150 °C. The optimum amount of mixed additive (WB212/Stearic acid) was 1/1 (percent by weight). The formulation and the optimum conditions of polymer blends were used to make a block buster. The physical properties of block buster are strong, attractive color, light, low cost of production unit, and not brittle.

### กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ดร.สุภารัตน์ จำปา ดร.ชลลดา ฤตวิรุพห์ อาจารย์คณะกรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และ แก่ใจโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทแอนเซลล์ประเทศไทยจำกัด บริษัทย่งไทยจำกัด และ บริษัทTPI จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ ทุนมือยาง บล็อกยางปูพื้น และ เม็ดพลาสติก

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และ ให้กำลังใจมาโดยตลอด นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวชญารัตน์ อิมจิตร

นายธีรศักดิ์ พลอยเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พอลิเมอร์ผสม	3
2.2 สารช่วยผสม	8
2.3 พอลิเอทิลีน	8
2.4 ยางธรรมชาติ	10
2.5 ถู่มือยาง	13
2.6 สารตัวเติม	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ผลของปริมาณถู่มือยางที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	21
4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	26
4.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	31
4.4 การอัดแบบแม่พิมพ์ (Compression Molding)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5การประเมินราคา (Cost Estimation)	37
บทที่ 5 สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปการดำเนินการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามชนิดของวัสดุภาค	6
ตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะ โครงสร้างของสายโซ่	9
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของถุงมือยางกับLDPE	18
ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาและอุณหภูมิในการทดลอง	18
ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของสารเติมแต่งในการทดลอง	19
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณถุงมือยางที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	21
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาในการผสมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	27
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	31
ตารางที่ 4.4 แสดงราคาของสารเคมี	37
ตารางที่ 4.5 แสดงราคาบล็อกลายปูพื้นเมื่อใช้LDPEบริสุทธิ์	38
ตารางที่ 4.6 แสดงราคาบล็อกลายปูพื้นเมื่อใช้ LDPEที่นำกลับมาใช้ใหม่	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณถุงมือยาง ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางบดและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	22
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดกับปริมาณ ถุงมือยาง ของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	23
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งแรง โค้งงอ กับปริมาณถุงมือยางของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	24
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับปริมาณถุงมือยางของ พอลิเมอร์ผสม ระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	25
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขาดกับปริมาณถุงมือยางของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	25
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับเวลาในการผสมที่อุณหภูมิ ต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	28
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด กับเวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	28
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรง โค้งงอ กับเวลาในการผสมที่อุณหภูมิ ต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	29
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับเวลาในการผสมที่อุณหภูมิ ต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	29
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การขาด กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิ ต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	30
รูปที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับ กรดสเตียริก	32
รูปที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและ อัตราส่วนระหว่าง สารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-13กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงโค้งงอและอัตราส่วน ระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก	33
รูปที่ 4-14กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง และ อัตราส่วน ระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก	34
รูปที่ 4-15กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การขจัด และ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก	35
รูปที่ 4-16กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเย็งเบนของพอลิเมอร์ผสม และอัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก	36
รูปที่ 4-17รูปแสดงบล็อกยางปูพื้นที่ผลิตได้จากกระบวนการ	36
รูปที่ 5-1 แสดงถึงบล็อกยางที่มีการผสมสีเพื่อช่วยเพิ่มความสวยงาม	40

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ตามที่ได้มีการขยายตัวของโรงงานผลิตถุงมืออย่างภายในประเทศไทยอย่างรวดเร็ว และผู้ผลิตส่วนใหญ่ขาดเทคโนโลยีและประสบการณ์ทำให้เกิดการผลิตถุงมือที่ไม่มีคุณภาพ จำเป็นต้องคัดทิ้งเป็นจำนวนมาก ประเทศเพื่อนบ้านได้ซื้อถุงมืออย่างเสียเหล่านี้ในราคาถูก เพื่อนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีมูลค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดนำถุงมืออย่างที่เสียกลับมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิดโดยพิจารณาว่าควรเป็นผลิตภัณฑ์อย่างที่มีความต้องการใช้มาก การผลิตไม่ยุ่งยากและราคาพอสมควร ตัวอย่างเช่น การผลิตบล็อกลายปูพื้น ได้นำผลิตภัณฑ์ถุงมืออย่างที่เสียจากขบวนการผลิตมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ

การผสมพอลิเมอร์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันพบว่าเมื่อผสมพอลิเมอร์ต่างประเภทเข้าด้วยกัน จะเกิดการแยกวัฏภาคขึ้น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพอลิเมอร์มีค่าต่ำส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ดีน้อยกว่าพอลิเมอร์ก่อนการผสม ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อลดการแยกกันของวัฏภาค ปัญหาที่สำคัญในการผสมพอลิเมอร์ต่างประเภทเข้าด้วยกัน คือการที่พอลิเมอร์ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ลดลงไปกว่าเดิม ด้วยเหตุนี้การหาอัตราส่วน อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม รวมทั้งเวลาที่เหมาะสม สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้มากขึ้น นอกจากนี้การใส่สารช่วยผสมและสารช่วยกระจายตัว จะช่วยทำให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น

ในการวิจัยนี้สนใจการหาสูตรสำหรับทำบล็อกลายปูพื้น ให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและได้พื้นยางที่มีคุณภาพมากที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำถุงมืออย่างที่เสียจากขบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ โดยผสมกับพลาสติกและใช้สารช่วยผสมปริมาณเล็กน้อย เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการศึกษาและการพัฒนาการใช้ถุงมืออย่างที่ใช้แล้วจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารตัวเติมในพอลิเมอร์
2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่างถุงมืออย่างกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
3. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

### 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาหาสภาวะที่ใช้บังคับมือยางโดยใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติดีที่สุด
2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติดีที่สุด
3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
4. ศึกษาหาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้คือความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็ง เปรอร์เซ็นต์การขัดถู และราคาที่ใช้ในการผลิต

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เป็นการลดปริมาณขยะและประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ
2. เพื่อลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์
3. ทำให้สามารถปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ได้สมบัติตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมกัน ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยการอัดรีด (Extrusion) หรือการอัดแบบ (Molding) พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่ผสมกันแล้ว อาจจะรวมเข้ากันได้ (Miscible) หรือเข้ากันไม่ได้ (Immiscible) พอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้สามารถปรับปรุงการเข้ากันได้โดยเติมสารช่วยผสม (Compatibilizers) (7)

##### 2.1.1 วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์

1. เพื่อพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติตรงตามความต้องการโดยไม่ต้องคิดค้นวิธีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่
2. เพื่อเพิ่มราคาของวัสดุที่มีราคาถูกให้มีราคาแพงขึ้น
3. เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบให้ตรงความต้องการของลูกค้า
4. เพื่อนำเศษพลาสติกหรือพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้งกลับมาใช้ใหม่

##### 2.1.2 สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงหลังจากนำพอลิเมอร์มาผสมกัน ได้แก่

1. เพื่อเพิ่มสมบัติด้านการไหลเมื่อหลอมตัว

การผสมพอลิเมอร์จะปรับปรุงการไหลเมื่อพอลิเมอร์หลอมตัวโดยเพิ่มช่วงการหลอมตัวและความยืดหยุ่นสำหรับพอลิเมอร์ที่ต้องขึ้นรูปด้วยการเป่า (Blow molding) และขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming) ตัวอย่างเช่น การเติม อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene) ลงในยางพอลิยูรีเทน (Polyurethane rubber) จะลดความยืดหยุ่นและทำให้การไหลของพอลิเมอร์สม่ำเสมอ

2. เพื่อเพิ่มค่ามอดูลัส

การเติมพลาสติกบางชนิดลงในอิลาสโตเมอร์ จะทำให้ยางมีความเหนียวมากขึ้น เช่น การเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ลงไปในยางอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน (Acrylonitrile-butadiene rubber)

3. เพื่อลดค่ามอดูลัส

ทำได้ด้วยการเติมอีลาสโตเมอร์ลงไปพลาสติกโดยที่อีลาสโตเมอร์ทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าและมีความคงทนถาวรมากกว่า เช่น การเติมคลอรีเนต พอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene) ลงในพอลิไวนิลคลอไรด์

#### 4. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

การเติมพอลิพรอพิลีนลงใน เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอโนเมอร์ (Ethylene-propylene-diene termonomer) หรือเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงในยางไนไตรล์จะได้พลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีความแข็งแรง การเติมพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีน หรือ ฟีนอลิกเรซินลงในยางในระหว่างการผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรง และความเหนียว ซึ่งเป็นการเสริมแรงให้กับยาง ถ้าเติมอะคริลิกแบบโครงร่างแหชนิดสอดประสาน (Interpenetrating network of acrylic) ลงในพอลิเอสเทอร์และพอลิยูรีเทน จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดัง

#### 5. เพื่อช่วยในการหล่อขึ้น

สามารถเพิ่มการหล่อขึ้นให้กับพลาสติกในทางวิศวกรรมที่ใช้สำหรับทำเกียร์และ ฟาประกอบเพลลา (Bearing) ได้ด้วยการเติมผงพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoro ethylene) ลงไปประมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก ลงในอะซีตัล (Acetal) หรือ พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) หรือ ไนลอน 66

#### 6. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ

พอลิพรอพิลีนถูกปรับปรุงให้สามารถทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้โดยใช้ยางบิวทิล (Butyl rubber) หรือ เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอโนเมอร์

#### 7. เพื่อหน่วงการติดไฟ

โดยการเติมพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการติดไฟมากกว่าลงไป เช่น การเติมคลอรีเนต พอลิเอทิลีน ลงในพอลิเอทิลีน

#### 8. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก

การเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกสามารถทำได้ด้วยการเติมพอลิเมอร์ออสถุณฐานซึ่งจะทำหน้าที่รับแรงกระแทก

#### 9. เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการขีดข่วน

#### 10. เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และ เพิ่มอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Heat deflection temperature)

#### 11. เพื่อช่วยเพิ่มความใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเติมพอลิเมอร์ประเภทอะคริลิก เช่น พอลิเมทิลเมทาอะคริเลทลงใน พอลิไวนิลิตีน ฟลูออไรด์ เพื่อลดความเป็นผลึก

12. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อสารเคมี

13. เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต

วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม (7)

พอลิเมอร์ผสมสามารถเตรียมได้หลายวิธี ดังนี้

1. Mechanical blends เป็นที่นิยมใช้กันมาก พอลิเมอร์ที่ผสมอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นผงหรือเป็นเม็ด อาจเติมสารช่วยผสมเพื่อป้องกันการแยกของวัฏภาคทำให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีขึ้น นำมาหลอมรวมกันโดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะกลายแก้ว ( $T_g$ ) ของพอลิเมอร์ อสังฐานและสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) ของพอลิเมอร์ถึงผลึกข้อดีของวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายถูกเพราะไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย ไม่ต้องเสียเวลาในการกำจัดสารละลาย และ ไม่เกิดการ ปนเปื้อน ข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวังอาจทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ เปลี่ยนสี และสมบัติเชิงกลลดลง

2. Mechanochemical blends พอลิเมอร์จะถูกผสมด้วยแรงเฉือนที่มากพอทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพ (Degradation) ทำให้เกิดอนุโมลติสสารจากนั้นจะผสมรวมกันได้เป็นสารประกอบของบิล็อกและกราฟท์โคพอลิเมอร์

3. Solution blends พอลิเมอร์จะละลาย โดยใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนต่ำ เนื่องจากความร้อนและแรงจากเชิงกล แต่จะมีการปนเปื้อนจากตัวทำละลายที่ใช้ในการตกตะกอนซึ่งอาจจะเป็นอันตราย

4. Latex blends วิธีนี้อนุภาคเล็ก ๆ ของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันจะเกิดการแพร่กระจาย (Dispersion) ในน้ำ และเกิดการผสมกัน จากนั้นก็จะจับกันเป็นกลุ่มก้อน

Chemical blends แบ่งได้ 4 ลักษณะ ได้แก่

1. Interpenetrating polymer networks (IPN) พอลิเมอร์ที่มีพันธะเชื่อมโยงเกิดการรวมกับมอนอเมอร์ที่ต่างชนิด โดยที่มอนอเมอร์จะเกิดพอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อมโยงสอดประสานกับพอลิเมอร์เชื่อมโยงที่มีอยู่เดิม

2. Simultaneous interpenetrating polymer networks (SIN) มอนอเมอร์ต่างชนิดจะผสมกัน จากนั้นจะเกิดโซ่โม่พอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อมโยงแต่ไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Semi-interpenetrating polymer network (semi-IPN) มอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันถูกผสมกับเทอร์โมพลาสติก จากนั้นมอนอเมอร์จะเกิดพอลิเมอร์โซ่ขึ้นได้เป็นพอลิเมอร์เชื่อมโยง

4. Interpenetrating elastomeric networks (IEN) คือ พอลิเมอร์ที่ก่อกำเนิดการเชื่อมโยงหลังจากเกิดการจับเป็นกลุ่ม

### 2.1.3 ประเภทของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามสัณฐานวิทยาได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. พอลิเมอร์ที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible) โมเลกุลของพอลิเมอร์ A และ พอลิเมอร์ B จะอยู่รวมกันมองเห็นเป็นวัฏภาคเดียว ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ A จะมีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ B ทำให้เกิดแรงดึงดูดกัน สมบัติของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายกับพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม ซึ่งพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีน้อย เช่น ยางธรรมชาติกับพอลิวิทาโคอิน

2. พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะแยกออกจากกันเป็น 2 วัฏภาคอย่างเห็นได้ชัดโดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยจะเป็นวัฏภาคกระจาย พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากจะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน

3. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (Partially miscible) พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้อาจรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งน้อยกว่า ถ้าอัตราส่วนเท่ากันจะแยกออกเป็นวัฏภาค พอลิเมอร์ A อาจจะไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวหน้าพอลิเมอร์ B ซึ่งช่วยให้วัฏภาคมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีสมบัติที่ดี เช่น พอลิเอทิลีนกับพอลิไอโซบิวทิลีน

### 2.1.4 แบ่งตามลักษณะของวัฏภาคที่นำมาผสมกันสามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามชนิดของวัฏภาคและสมบัติที่ได้รับการปรับปรุง (7)

วัฏภาคต่อเนื่อง	วัฏภาคการกระจาย	ใช้ในการปรับปรุง
แข็ง (Rigid)	อ่อน (Soft)	เพิ่มความเหนียว
แข็ง (Rigid)	แข็ง (Rigid)	เพิ่มการไหล
อ่อน (Soft)	อ่อน (Soft)	เพิ่มระยะเวลาในการใช้งาน
อ่อน (Soft)	แข็ง (Rigid)	ต้านออกซิเดชันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

วิธีที่จะทำให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันมีสัดส่วนวิทยาและสมบัติตามต้องการอาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. ปรับเปลี่ยนกระบวนการผสม
  2. เติมสารช่วยผสม (Compatibilizer)
- ผลที่ได้รับจากวิธีการดังกล่าวข้างต้นมีดังนี้

1. ลดพลังงานระหว่างผิว
2. ทำให้อนุภาคมีการกระจายตัวที่ดีในระหว่างกระบวนการผสม
3. ปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิว
4. ป้องกันการแยกกันของวัฏภาคตลอดการผลิตจนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

#### 2.1.5 การปรับเปลี่ยนกระบวนการผสม

กระบวนการผสมมีความสำคัญมากต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผสม คือ

##### 1. เวลาในการผสม

Teyssie และคณะ (8) ได้ทำการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีนและ Polystyrene-block-ethylene ซึ่งเป็นสารช่วยผสม โดยใช้ลูกกอล์ฟหรือเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนกู่ พบว่าพอลิเมอร์ที่ผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนกู่จะเกิดการแยกวัฏภาค ในขณะที่การใช้ลูกกอล์ฟพอลิเมอร์ผสมจะมีการแยกวัฏภาค ผู้ทำวิจัยเสนอว่าความแตกต่างเกิดขึ้นจากเวลาที่ใช้ในการผสมด้วยลูกกอล์ฟนานกว่าเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนกู่ ทำให้สารช่วยผสมสามารถแพร่กระจายมายังชั้นระหว่างผิวได้สมบูรณ์กว่า

##### 2. แรงเฉือน

Teyssie (8) สามารถอธิบายถึงผลที่เกิดจากการใช้แรงเฉือนสูงโดยใช้ Maxwell normal stress extruder พบว่าการใช้แรงเฉือนสูงทำให้เกิดวัฏภาคร่วมต่อเนื่องกัน (Co-continuous phase)

##### 3. ลำดับในการผสม

ลำดับในการผสมองค์ประกอบแต่ละชนิดเข้าด้วยกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารช่วยผสม เพราะสารช่วยผสมอาจจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคของพอลิเมอร์ชนิดที่ใส่ลงไปก่อนเมื่อเติมพอลิเมอร์อีกชนิดลงไป

##### 4. ความหนืดขององค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดของแต่ละองค์ประกอบจะมีผลต่อการกระจายตัวในขณะผสม ถ้าการกระจายตัวไม่ดีสมบัติของการผสมก็จะไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกรุ่นพอลิเมอร์ที่มีความหนืดใกล้เคียงกัน

## 2.2 สารช่วยผสม

สารช่วยผสมหมายถึงสารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมเพื่อลดแรงตึงผิว (Interfacial tension) ช่วยให้ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถรวมกันได้มากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าเดิม แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

### 1. สารช่วยผสมที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

ส่วนใหญ่เป็นสารเคมี เช่น เปอร์ออกไซด์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์และกรดฟูมาริกเป็นต้น ทำให้เกิดการเชื่อมโยงหรือการวัลคาไนซ์

### 2. สารช่วยผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

จะเป็นพอลิเมอร์ร่วมของพอลิเมอร์หลักที่ผสมกัน โดยจะจัดตัวในลักษณะต่าง ๆ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก แบบสุ่ม และแบบกราฟท์ โดยพอลิเมอร์ร่วมจะแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำหน้าที่คล้ายสะพานเชื่อมระหว่างผิวเพิ่มแรงยึดติดของทั้ง 2 วัสดุเข้าด้วยกัน สารช่วยผสมประเภทนี้นิยมใช้คือพอลิเมอร์ร่วมแบบโคบล็อก (Diblock) แต่พอลิเมอร์ร่วมที่เป็นแบบหลายบล็อก (Multiblock) จะให้ประสิทธิภาพมากกว่า

### 3. สารช่วยผสมที่มีทั้งส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม

## 2.3 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)



พอลิเอทิลีนเกิดจากการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์โดยใช้กระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดต่าง ๆ จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ที่อุณหภูมิห้องพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ แต่ถ้าให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องพอลิเมอร์สามารถพองตัวและละลายได้ในพารา-ไซลีน (p-Xylene) ไตรคลอโรเบนซีน (trichlorobenzene) เดคาเนน (decane) และเดคาลิน (decalin) ทนต่อกรด ค้าง และสารออกซิไดส์ แต่ไม่ทนกับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิสูงและรังสี เมื่อขีดข่วนสามารถเกิดรอยได้ พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุไม่มีขั้วจึงไม่นำไฟฟ้า สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่ได้ 3 แบบ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่ (7)

	โครงสร้างของสายโซ่	ความเป็นผลึก	กระบวนการผลิต	ความหนาแน่น
LDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งมาก	$\cong 50\%$	ใช้ความดันสูง	0.912-0.94
LLDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งน้อย	$> 50\%$	ใช้ความดันต่ำ	0.92-0.94
HDPE	เชิงเส้น	$< 90\%$	ใช้ความดันต่ำ	$> 0.958$

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

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขา (branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ  $-CH_2-$  ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันสูง (high pressure polyethylene) เพราะกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมาก

### 2.3.2 การพอลิเมอไรเซชัน

อุตสาหกรรมเตรียมพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำทำได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้ความดันสูงมาก 1,000-3,000 บรรยากาศ และ อุณหภูมิ  $80-300^{\circ}C$  โดยเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบ อนุมูลอิสระในรูปของออกซิเจน ที่ปะปนอยู่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) หรือ เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไตรด์ (azobisisobutyronitrile) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และความร้อนคายออกมาเป็นจำนวนมาก ถ้าควบคุมไม่ดีอาจเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้ ถ้าต้องการให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ๆ ต้องใช้มอนอเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เพราะสารปนเปื้อนเช่นไฮโดรเจนและอะซีทีลีน ( $C_2H_2$ ) ทำหน้าที่เป็นตัวขยับลูกโซ่ได้ พอลิเอทิลีนอาจเตรียมในสารละลายโดยใช้เบนซีนหรือคลอโรเบนซีนเป็นตัวทำละลาย ภายใต้ภาวะของปฏิกิริยา (ความดันและอุณหภูมิ) เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย

### 2.3.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนแตกต่างกันออกไปบ้างขึ้นกับองศาหรือปริมาณของสาขาโซ่ โดยทั่วไปถ้าโมเลกุลมีสาขาโซ่มาก พอลิเมอร์มีความเป็นผลึกต่ำเพราะโอกาสที่อะตอมต่าง ๆ ในโมเลกุลจะจัดการอย่างเป็นระเบียบเพื่อเกิดลักษณะผลึกมีน้อย ทำให้สมบัติทางกายภาพ เช่นความหนาแน่น จุดหลอมตัว ความแข็งต่ำลงด้วย แต่มีผลทำให้การแพร่ผ่านของแก๊สและความชื้นต่อพอลิเมอร์สูง อย่างไรก็ตามพอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูงมีความเป็นผลึกปานกลาง (ทั่วไปมีร้อยละของความเป็นผลึก 50-60) มีจุดหลอมเหลว ( $T_m$ ) ประมาณ  $115^{\circ}C$  มีความหนาแน่น  $0.91-0.94 \text{ g/cm}^3$  ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรจินเทคไฮโดรคาร์บอน

เช่น โทลูอีน (toluene) ไซลีน (xylene) และไดคลอโรเอทิลีน (dichloroethylene) นอกจากนี้แล้ว พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมแต่เมื่อต้องปฏิกิริยาเคมีทั่วไปสามารถทนทานต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เช่น พอลิเอทิลีนทนกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่กับกรดไนตริก ณ ภาวะเดียวกันจะเปลี่ยนเป็นสีดำ (charred) ที่ผิว ด้วยเหตุนี้พอลิเอทิลีนจึงนำมาใช้ทำภาชนะบรรจุกรดแก่รวมทั้งกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ได้ดี

เมื่อให้พอลิเมอร์นี้สัมผัสกับแสงแดดและออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ พอลิเมอร์นี้จะเสื่อมคุณภาพลงได้ เช่น จะสูญเสียความแข็งแรง ความสามารถในการยืดหยุ่นและความสามารถในการสึกหรอและฉีกขาด ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการสูญเสียเทอร์เชียรีไฮโดรเจนอะตอมคาร์บอน ที่เป็นคาร์บอนสาขาโซ่ การเติมสารทำให้เกิดเสถียรภาพ อาจช่วยดวงหรือหน่วงเหนี่ยวการเสื่อมคุณภาพได้ แต่เพราะมีสารทำให้เกิดเสถียรภาพน้อยมากที่เข้ากับพอลิเมอร์จึงทำให้ไม่มีผล

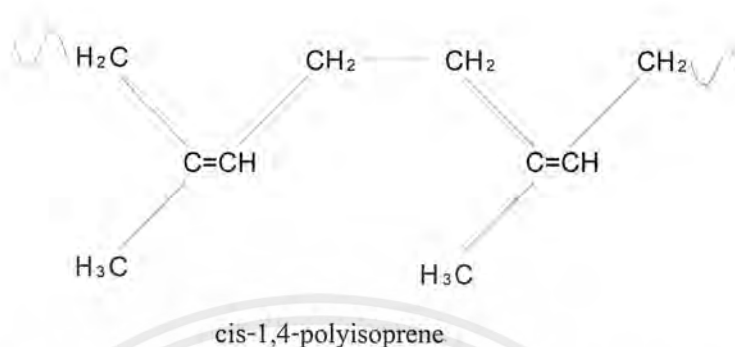
เกือบครึ่งหนึ่งของพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นทั้งหมดนำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มใช้สำหรับห่อของอาหารทำถุงพลาสติก ผ้า (พลาสติก) กันน้ำ ผ้าปูโต๊ะ พอลิเอทิลีนที่เหลือใช้จากของใช้ในบ้าน ในครัวของเด็กเล่น ใช้หุ้มลวดไฟฟ้า และในงานก่อสร้าง เป็นต้น

#### 2.4 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักในสูตรการผสมยางทั่วไปนั้น ผลิตได้จากการกรีดเปลือกของต้นยาง น้ำยางจะไหลออกมารวมกันในภาชนะรองรับ น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวสีขาวและมีอนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้

- ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน 35 %
- สารประกอบเคมีที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ 5%
- น้ำ 60 %

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ๆ จัดเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วย  $\text{C}_5\text{H}_8$  หรือเรียกว่า Isoprene unit มาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ โครงสร้างมีพันธะคู่จัดตัวแบบซิส (cis) มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 50,000 - 3,000,000 และประมาณร้อยละ 60 % จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,300,000 ดังนี้



เนื่องจากในสายโซ่พอลิเมอร์ของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่ ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติยืดหยุ่น และมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วต่ำ ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติในการกระดอนสูง การทำให้คงรูปสามารถทำได้ง่ายโดยใช้ซัลเฟอร์ เนื่องจากพันธะคู่ใน โมเลกุลของยางธรรมชาติมีการจัดเรียงตัวแบบซิส (cis conformation) ซึ่งเป็นการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงจะทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติเคลื่อนเข้ามาชิดกันได้ง่ายและมากขึ้น ทำให้มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมากขึ้น โมเลกุลจะตกผลึกเมื่อได้รับแรงดึง (strain crystalline)

#### 2.4.1 การผสมยางธรรมชาติ

ในการผสมยางธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้น ต้องมีการผสมยางชนิดต่าง ๆ และสารเคมีเพื่อเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติที่บกพร่องไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพและมีสมบัติสม่ำเสมอจำเป็นต้องทำให้วัตถุดิบของยางและสารเคมีต่าง ๆ กระจายตัว อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในการผสมยางธรรมชาติกราฟท์โคพอลิเมอร์นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้กรรมวิธีการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นยางที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์ ซึ่งแตกต่างจากยางธรรมชาติอยู่มาก

#### 2.4.2 กลไกในการผสมยาง

ในการผสมสูตรยางผสม เพื่อให้สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมสูตรยางรวมทั้ง ยางธรรมชาติที่มาผสมเกิดการกระจายตัว การทำให้อนุภาคต่าง ๆ รวมทั้งอนุภาคเล็ก ๆ ของ วัตถุดิบที่นำมาผสมนั้น เกิดการกระจายตัวแบบสุ่ม โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของอนุภาค ยางธรรมชาติ อาจเกิดการไหลในทิศทางของแรงเฉือนนั้น (Laminar mixing) ซึ่งทำให้ขนาดของอนุภาคต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากกระบวนการผสม การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของส่วนประกอบต่าง ๆ มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากกระบวนการผสม ไม่ว่าจะเป็นสารเคมี และ อนุภาคยางในระหว่างการผสม สูตรยางผสม โดยมีขั้นตอนการเกิดขึ้นดังนี้

1. การแบ่งย่อย (Subdivision)

เป็นการแบ่งย่อยกลุ่มก้อนของยางให้เล็กลง โดยยางธรรมชาติจะถูกอัดและดันให้เข้าไปอยู่ระหว่างส่วนหมุน และ ผนังของห้องผสม

2. การรวมตัว (Incorporation)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการแบ่งย่อยกลุ่มก้อนของยาง โดยส่วนประกอบของสารเคมีจะสัมผัสกับวัฏภาคของยาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนืดของแต่ละวัฏภาคเช่นยางบิวทาไดอิน จะมีความหนืดกว่ายางธรรมชาติ การรวมตัวนี้เกิดได้ดีกับวัฏภาคของยางบิวทาไดอิน หรือเริ่มมีความหนืดใกล้เคียงกันกับวัฏภาคของยางธรรมชาติ โดยที่ยางจะเข้าไปล้อมรอบอนุภาคของสารเคมี เกิดเป็นกลุ่มก้อนอนุภาคยางกับสารเคมี (bound rubber) แต่ในกรณีที่การรวมตัวไม่เกิดขึ้น ส่วนผสมจะกึ่งไปมาในห้องผสมและไม่เกิดการผสมขึ้น

3. การกระจาย (dispersion)

ก้อนอนุภาคยางกับสารเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นการรวมตัว จะเกิดการแตกย่อยลงจนมีขนาดที่เหมาะสม และค่อย ๆ กระจายเข้าไปในยางตามความสามารถในการกระจายตัวเข้าไปในยางแต่ละชนิด โดยขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในตอนเติมสารเสริมแรงเขม่าดำ เรียกขั้นตอนนี้ อีกอย่างหนึ่งว่า intensive mixing

4. การผสมอย่างง่าย (simple mixing)

เป็นการเคลื่อนตัวของอนุภาคจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่าง เพิ่มการสูม หรือ เอนโทรปี เหมือนกับการผสมสารปกติ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า extensive mixing

5. การลดความหนืด (plasticization or viscosity reduction)

หลังจากสารเคมีชนิดต่าง ๆ กระจายตัวเข้าไปในเนื้อยางอย่างทั่วถึง แล้วหากยังทำการผสมต่อไป ความหนืดและความยืดหยุ่นของยางผสมจะลดลง เนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลยาง

การเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอน อาจเกิดคาบเกี่ยวกัน ในขั้นตอนแรกที่เกิดการแบ่งย่อยนั้น อนุภาคบางส่วนที่เกิดการแบ่งย่อยแล้ว อาจเข้าสู่ขั้นการรวมตัวได้ โดยที่การแบ่งย่อยยังเกิดไม่สมบูรณ์ ในขั้นตอนอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ถุงมือยาง

กระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอาศัยความร้อนจากแม่แบบ (Former) แล้วทำการจุ่มลงในน้ำยางเพื่อขึ้นรูปให้ได้ตามต้องการ กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการขึ้นรูปโดยวิธีการจุ่ม (Dipping Process) น้ำยางที่ใช้ขึ้นรูปจะเป็นยางธรรมชาติหรือน้ำยางสังเคราะห์ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

สมบัติของถุงมือยางที่นำมาใช้

1. ถุงมือที่นำมาใช้ได้รับการให้ความร้อนจนยางเกิดการสุกตัวในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปในระดับหนึ่งแล้ว
2. ผิวของถุงมือได้รับการกักร้อนจากสารเคมีบางชนิดจนทำให้เกิดความลื่นบนผิวของถุงมือนอกด้านในและด้านนอก
3. ถุงมือมีสีเหลืองอ่อนและขาวคลุมถึงข้อมือ
4. ถุงมือมีลักษณะเหนียว ยากต่อการฉีกขาด มีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) สูง และ ความสามารถยืดหยุ่น (Elongation) สูง
5. ถุงมือมีความทนทานต่อสารเคมี
6. ถุงมือมีความทนทานต่อแรงเสียดทาน ทำให้ง่ายต่อการยึดจับ

ถุงมือที่นำมาใช้นี้เป็นถุงมือชนิดปราศจากฝุ่นหรือที่เรียกว่า Powder-Free Examination glove ซึ่งผลิตมาจากน้ำยางธรรมชาติ ในการวิจัยนี้ใช้ถุงมือยางประเภทที่ผิวด้านในไม่ได้มาตรฐานในระหว่างกระบวนการผลิต (Reject) ไม่สามารถนำมาใช้หรือบรรจุส่งขายแก่ลูกค้าได้

## 2.6 สารตัวเติม

สารตัวเติม (filler) ได้แก่ สารจำพวกอนุภาคขนาดเล็กหรือจำพวกเส้นใยที่เติมลงในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพให้ดีขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งาน เช่น ทำให้พอลิเมอร์แข็งแรงขึ้น คงรูป เพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกและแรงอัด เพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอและทนต่อความร้อน เป็นต้น สารตัวเติมที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นสารที่มีราคาถูกลงกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ จึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ สารตัวเติมมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

### 2.6.1 สมบัติพื้นฐานที่ใช้ในการพิจารณาเลือกสารตัวเติม

#### 1. อนุภาค (Particle)

คำจำกัดความเหมาะสมที่ใช้อธิบายขนาดของอนุภาคคือ ค่า Equivalent Spherical Diameter (ESD ratio) หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับอนุภาคนั้น ข้อพิจารณาอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกใช้สารตัวเติม คือ จะต้องดูการกระจายตัวของอนุภาค รูปร่างของอนุภาคและพื้นที่ผิวของอนุภาค การแบ่งอนุภาคของสารตัวเติมออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามสมบัติขั้นพื้นฐาน 2 ประการ คือ ขนาดของอนุภาคและพื้นที่ผิวของอนุภาค สารตัวเติมที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้จากการนำสารจำพวกแกรมาบค้อยให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นอนุภาคของสารตัวเติมจึงมีลักษณะ รูปร่างและขนาดแตกต่างกันออกไป ต้องทำการคัดขนาดก่อนนำไปใช้งาน แต่สารตัวเติมที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานทางการค้า เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการตกตะกอนจะมีรูปร่างและขนาดที่ค่อนข้างแน่นอน

## 2. การกระจายตัวของขนาดของอนุภาค (Particle size distribution)

อนุภาคของสารตัวเติมทั้งหมดควรมีค่าความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์ความละเอียดโดยน้ำหนักใกล้เคียงกัน เพื่อให้ความสามารถในการผสมเข้าด้วยกันกับพลาสติกเท่าเทียมกันในทุก ๆ บริเวณของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้

## 3. พื้นที่ผิว (Surface area)

พื้นที่ผิวจัดเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญของสารตัวเติม ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของสารผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารช่วยกระจายตัว (dispersant) สารปรับปรุงสภาพผิว (surface modifier) พอลิเมอร์ที่มีขี้สามารถถูกดูดซึมหรือทำปฏิกิริยากับพื้นที่ผิวของสารตัวเติม ค่า ESD ของการกระจายตัวของอนุภาคไม่สามารถระบุค่าพื้นที่ผิวของอนุภาคได้แน่ชัด ถ้าปราศจากการพิจารณาปัจจัยทางรูปร่างของอนุภาคควบคู่กันไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวโดยตรงอาจจำเป็นต้องทำในกรณีที่ต้องการหาค่าที่แน่นอน

## 4. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีเป็นสมบัติพื้นฐานของสารตัวเติมและเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเลือกชนิดของสารตัวเติมด้วย โดยพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นหลักสำคัญ โดยที่ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดบนพื้นที่ผิวของอนุภาค

ทฤษฎีและพฤติกรรมของสารตัวเติมและสารเสริมแรง

พฤติกรรมของสารตัวเติม สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1. สารตัวเติมชนิดเสริมแรงจะเกิดพันธะทางเคมีกับวัสดุที่จะทำการเสริมแรง เช่น เซเมนต์ จะทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinking) ในออสโตเมอร์โดยมีปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นแบบอนุโมลอิสระ

2. สารตัวเติมชนิดเฉื่อยจะทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น การใช้สารตัวเติมนั้นไม่สามารถทำให้โซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่จะทำการเสริมแรงเหมือนกันในทุก ๆ ส่วน โดยเฉพาะบริเวณรอบ ๆ อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารตัวเติมกับพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างไปจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ ทั้งนี้เนื่องจาก บางส่วนของโซโมเลกุลในพอลิเมอร์จะยึดเกาะกับผิวของสารตัวเติม โดยพันธะเวเลนซ์ปฐมภูมิ หรือ พันธะเวเลนซ์ทุติยภูมิ ซึ่งจะทำให้ส่วนของโซโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นเคลื่อนไหวยึดเกาะได้ยากขึ้น และอาจทำให้เกิดการจัดเรียง โมเลกุลของพอลิเมอร์เมตริกซ์ พอลิเมอร์ที่เติมสารตัวเติมจะมีอุณหภูมิ เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลจากข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวของ โมเลกุลบริเวณพื้นผิวสัมผัสของพอลิเมอร์กับสารตัวเติม การกระจายตัวของสารตัวเติมใน พอลิเมอร์ เมตริกซ์มีความสำคัญมากเช่นกันเพราะจะทำให้สมบัติเชิงกลหรือสมบัติทางเคมีทั่วทุกส่วนในพอลิเมอร์ใกล้เคียงกัน

3. เมื่อโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้รับแรง โมเลกุลจะรับพลังงานทำให้มันไถลไปตามผิวของ สารตัวเติม ทำให้พลังงานที่เกิดจากการกระแทกสามารถกระจายไปได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ ความทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น

สารตัวเติมได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกอย่างกว้างขวาง เพื่อช่วยลดต้นทุนในการ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่ทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ลดลงจนเสีย คุณภาพ อย่างไรก็ตามสารเคมีบางตัวที่ใช้เป็นสารตัวเติมอาจมีความสามารถในการเสริมแรง (reinforcement) หรือกึ่งเสริมแรง (semi-reinforcement) ก็ได้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กันยา รุจิรานนท์พงศ์ (1) ได้ศึกษาการใช้เศษยางเพิ่มเนื้อสำหรับพลาสติกที่ใช้ทางการค้า เศษ ยางที่ใช้เป็นเศษวัสดุที่ได้จากการผลิตรองเท้ากีฬา มี 3 ชนิดคือ เศษยางจากพื้นรองรองเท้าชั้นนอก (ซึ่งมีส่วนประกอบของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ SBR และ BR) เศษยางจาก พื้นรองเท้าชั้นกลาง (ซึ่งมีส่วนประกอบของโพลีเอทิลีน EVA เป็นหลัก) และเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้น รองเท้า (เป็นเศษยางผสมของพื้นรองเท้าชั้นนอกและชั้นกลาง) พลาสติกที่ศึกษาประกอบด้วย พอลิ สไตรีนที่มีความทนทานต่อแรงกระแทก (HIPS), โคพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีน (PP copolymer), โพลิเมอร์พอลิพรอพิลีน (PP homopolymer), พอลิเอทิลีน (PE), พอลิสไตรีน (PS), อะครีโลไนไตรล์ สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) และ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) การทดลองนี้ได้ศึกษาผลการคัด ขนาดเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้ามาผสมใน โพลิเมอร์พอลิพรอพิลีน (PP homopolymer) ผลของการใช้เปอร์ออกไซด์ที่เติมในของผสม โพลิเมอร์พอลิพรอพิลีน (PP homopolymer) กับเศษยาง และผลของสภาวะการผสมที่มีต่อการผสม พอลิสไตรีน (PS) กับ ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ที่ได้จากพื้นรองเท้าชั้นนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การผสมเศษยางลงในพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เพิ่มค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ระหว่าง PE กับเศษยางแต่ละชนิด PS กับเศษยางแต่ละชนิด และ HIPS กับเศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นนอก พบว่าใกล้เคียงกับพลาสติกที่ยังไม่ผสม ส่วนการผสมของ HIPS กับเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้า และ ABS กับเศษยางแต่ละชนิด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกน้อยกว่าพลาสติกที่ยังไม่ผสม การเติมเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทก PP กับเศษยางลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก PP มีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพ มากกว่าการเกิดการเชื่อมโยง ส่วนการลดขนาดของเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้า มีผลเล็กน้อย ต่อค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของการผสม โคลพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีน (PP homopolymer) กับเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลของ ความแข็งแรงที่ได้แสดงว่าเศษยางทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้นในพลาสติกชนิด PS ABS และ PVC ที่ผสมกับเศษยางแต่ไม่ทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น ในพลาสติกชนิด HIPS, PP และ PE ที่ผสมกับเศษยาง

A.A. PHADKE และ S.K. DE (2) ได้ศึกษาผลกระทบของ cryo-ground rubber (ยางที่ถูกทำให้แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $T_g$  แล้วนำมาบดให้ละเอียด) ที่มีต่อการไหลขณะหลอมเหลวและสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีน การทดลองทำได้โดยผสม cryo-ground rubber ในรูปของผงและยางธรรมชาติลงในพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์หลัก โดยที่ยางธรรมชาติเป็นตัวสำคัญช่วยกระจายตัว การเพิ่ม cryo-ground rubber ไม่มีผลต่อความหนืดที่อัตราความเค้นสูงๆ (มากกว่า  $61 \text{ S}^{-1}$ ) แต่ที่อัตราความเค้นต่ำๆ (น้อยกว่า  $61 \text{ S}^{-1}$ ) ความหนืดจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่ม cryo-ground rubber แต่ขณะเดียวกันค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะลดลงและการเพิ่มยางธรรมชาติจะช่วยแก้ไขการลดลงของค่าความทนทานต่อแรงกระแทกได้

J.Ray and D.Khastgir (3) ศึกษาถึงการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง EVA กับ LDPE ด้วยเครื่องบาร์เบนเดอร์ โดยพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีความคล้ายกัน ในส่วนของหมู่เมทิลซึ่งไม่มีขั้ว แต่มีความแตกต่างกันในส่วนขององศาการเกิดผลึก และความมีขั้วของ EVA เอง จึงมีการใช้วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 ของ EVA ต่อ LDPE มีความแข็งแรงสูงที่สุด แต่ถ้าปริมาณ EVA เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงก็จะลดลง

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (J4324 จากบริษัท TPI)
2. ถุงมือยางที่เสียจากขบวนการผลิต (จากบริษัทแอนเชลล์ ประเทศไทยจำกัด)
3. สารช่วยกระจายตัว (WB212) (บริษัท Schlll & Sellacher จำกัด)
4. กรดสเตียริก (ห้างหุ้นส่วนอินด้าเอ็นเตอร์ไพร์ซ์จำกัด)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (บริษัท Lab Tech จำกัด รุ่น LRM 110)
2. เครื่องอัดแบบ (บริษัท Lab Tech จำกัด)
3. เครื่องทดสอบแรงดึง ( Tensile Tester , LLOYD รุ่น LR 30K )
4. เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester , shore D , Yasuda รุ่น 7689 , Matsuzwa DXT)
5. เครื่องวัดการขัดถู (Teledyne Taber 5130 Messemer instrument limited)
6. เครื่องชั่ง (METTLER PJ 3000)
7. เครื่องตัดชิ้นงาน (CEAST 6052)
8. เครื่อง Heat distortion tester (HD-PC ,Yasuda)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

3.3.1.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่างถุงมือยางกับLDPE

1. นำถุงมือยางมาบดด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 30 นาที
2. ชั่งถุงมือยางที่บดแล้ว 200 กรัม และ เม็ดพลาสติก LDPE 200 กรัม ในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 50/50
3. นำเม็ดพลาสติก LDPE มาจำนวน 200 กรัม ใส่ในเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง โดยกำหนดอุณหภูมิลูกหน้า ที่ 150 °C และ อุณหภูมิลูกหลัง 140 °C
4. เมื่อเม็ดพลาสติกหลอม ใส่ถุงมือยางที่เตรียมไว้ 200 กรัม ผสมให้เข้ากัน เริ่มจับเวลา
5. ใส่สารช่วยกระจายตัว (WB212) กรดสเตียริก อย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

6. ทำการผสมของของผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
7. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1
8. นำมาอัดแบบด้วยเครื่องอัดแบบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 นาที และ หล่อเย็นเป็นเวลา 2 นาที
9. นำมาตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน
10. ทดสอบชิ้นงาน เปรียบเทียบผลของอัตราส่วน เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากสมบัติที่ทดสอบได้นำไปใช้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมต่อไป

### 3.3.1.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมระหว่างถุงมือยางกับ LDPE

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.1 โดยเปลี่ยนสภาวะในการผสมระหว่างถุงมือยางกับ LDPE ใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งดังแสดงในตารางที่ 3.2
2. นำผลของสภาวะที่ได้มาเปรียบเทียบ จากนั้นจึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผสมโดยพิจารณาจากสมบัติที่ทดสอบได้

### 3.3.1.3 ศึกษาผลของสารเติมแต่ง

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2 โดยเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่ง ดังแสดงในตารางที่ 3.3
2. นำผลของสารเติมแต่งที่ได้มาเปรียบเทียบ โดยพิจารณาจากสมบัติที่ทดสอบได้ เลือกอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผสมโดยพิจารณาจากสมบัติที่ทดสอบได้

### 3.3.1.4 ศึกษาหาเวลาในการอัดแบบผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้น

ทำการอัดแบบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที และหล่อเย็นเป็นเวลา 10 20 30 นาที สังเกตชิ้นงานที่ได้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ถุงมือยาง กับ เปอร์เซนต์ LDPE

%ถุงมือยางบด	100	70	60	50	40	30	0
% LDPE	0	30	40	50	60	70	100

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาและอุณหภูมิในการทดลอง

อุณหภูมิ (°C)	140	150	160
เวลา (นาที)	10,15,20	10,15,20	10,15,20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของสารเติมแต่งในการทดลอง

WB212 (%)	0	0	1	0	2	1	1	1	0.5	1.5
กรดสเตียริก (%)	0	1	0	2	0	1	0.5	1.5	1	1

### 3.4 การทดสอบชิ้นงาน

ทดสอบสมบัติดังนี้

3.4.1 ทดสอบแรงดึง (Tensile property) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (LLOYD) ขนาด 30 kN ใช้ความเร็วในการดึง 25 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D638 ผลที่ได้นำมาคำนวณ

1. หาค่าความทนแรงดึง จากสมการ  
Tensile strength =  $F/A$  (MPa)
2. หาร้อยละการยืด ณ จุดขาด จากสมการ  
% Elongation at break =  $(L-L_0)*100/L_0$
3. หาค่ามอดุลัสจากสมการ  
Modulus of elasticity = stress/strain (MPa)

เมื่อ

$F$  = แรงกระทำสูงสุดที่วัดได้

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

$L$  = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน

$L_0$  = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

### 3.4.2 ทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ

ทดสอบความแข็งแรงโค้งงอด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (LLOYD) และใช้โปรแกรม WINDAP ในการคำนวณและหาค่าความโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D790-90

### 3.4.3 ทดสอบความแข็ง

นำตัวอย่างที่เตรียมเป็นชิ้นงานมาทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Dead Load ชนิด Shore D ที่อุณหภูมิห้อง ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240 จะได้ค่าความแข็งโดยตรงจากเครื่อง

### 3.4.4 ทดสอบความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance)

ทำการทดสอบโดยเครื่อง 5130 Abraser ของ Table ตาม ASTM D 1242<sup>12</sup> Method A ใช้หินขัดละเอียดเบอร์ H-18 น้ำหนัก 500 กรัม ทำการขัดถู 3,000 รอบ เตรียมชิ้นงานให้เป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.15 cm. ใช้ชิ้นงานจำนวน 1 ชิ้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\% \text{Weight loss} = (\text{น้ำหนักก่อนการขัดถู} - \text{น้ำหนักหลังขัดถู}) \times 100 / \text{น้ำหนักก่อนขัดถู}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 ทดสอบอุณหภูมิเบี่ยงเบนทางความร้อนของพอลิเมอร์ (HDT)

ทดสอบสมบัติการบิดตัวทางความร้อน โดยใช้ HDT (Heat Distortion Temperature) คัดชิ้นงาน  $1 \times 1$  ซม. จุ่มในของไหลนำความร้อนให้การกดแบบ Vicat ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D648



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

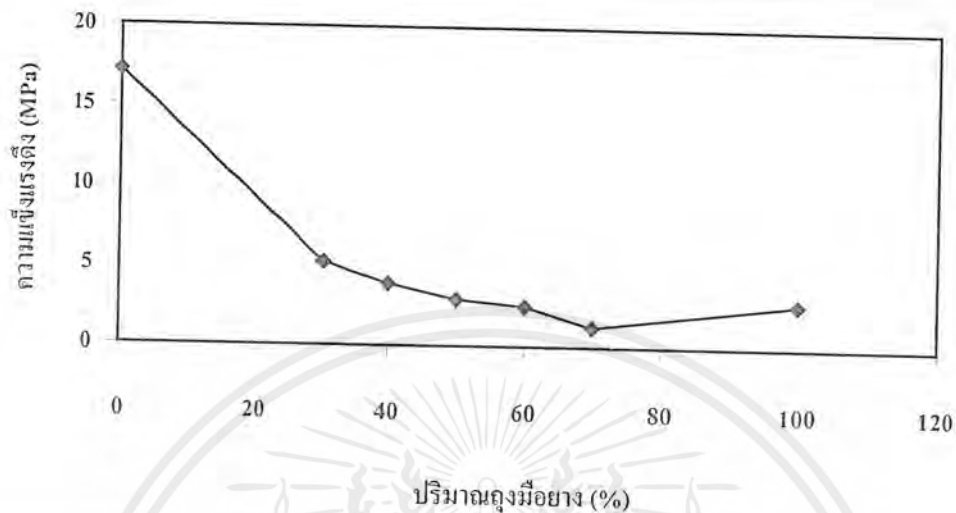
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของปริมาณถุงมือยางที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

ปริมาณถุงมือยางที่เติมลงใน LDPE เมื่อมีปริมาณยางมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยรวมลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.1 และจากกราฟรูปที่ 4-1 พบว่าเมื่อปริมาณของถุงมือยางมีค่ามากขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง สามารถอธิบายได้ว่าถุงมือยางที่ผสมกับพอลิเอทิลีนไม่ได้ทำหน้าที่เสริมแรงกล่าวคือเป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อ เมื่อผสมถุงมือยางลงไปทำให้สารเกิดการแยกออกเป็น 2 วัฏภาคคือส่วนที่เป็นยางและส่วนของพลาสติก โดยที่วัฏภาคของพลาสติกพอลิเอทิลีนจะเป็นส่วนที่รับแรง ดังนั้นเมื่อปริมาณถุงมือยางเพิ่มขึ้นหรือส่วนของพอลิเอทิลีนลดลงเป็นผลทำให้การรับแรงมีค่าลดลงด้วย

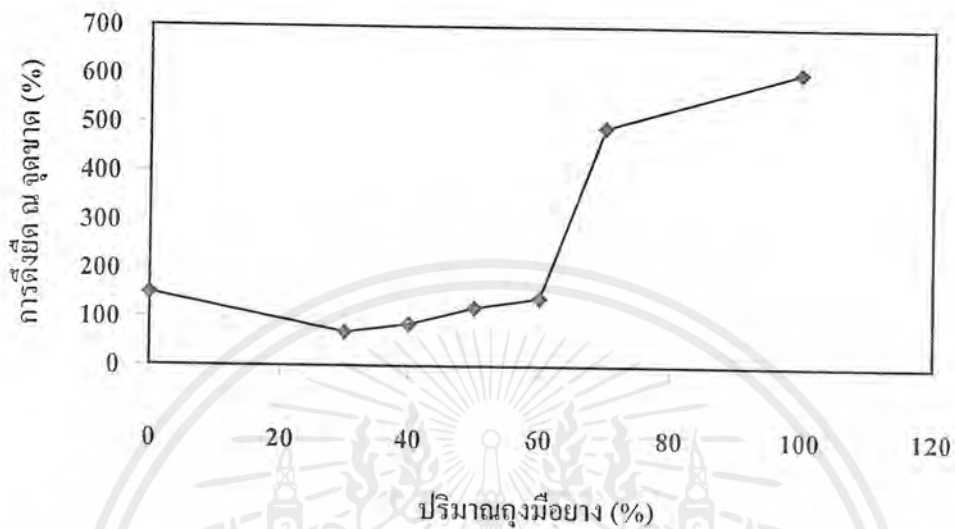
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของปริมาณถุงมือยางที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

LDPE ต่อ ถุงมือยาง	ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	ความแข็งแรง โค้งงอ (MPa)	ค่าความแข็ง	การขีดถู (%)
100/0	17.16	150.08	11.90	42	0.10
70/30	5.194	70.17	7.20	28	0.198
60/40	3.90	86.92	5.66	22	0.32
50/50	2.924	120.51	4.94	18	0.40
40/60	2.540	140.62	3.36	14	1.08
30/70	1.245	492.64	2.77	7	1.23
0/100	2.762	608.71	1.30	3	1.50



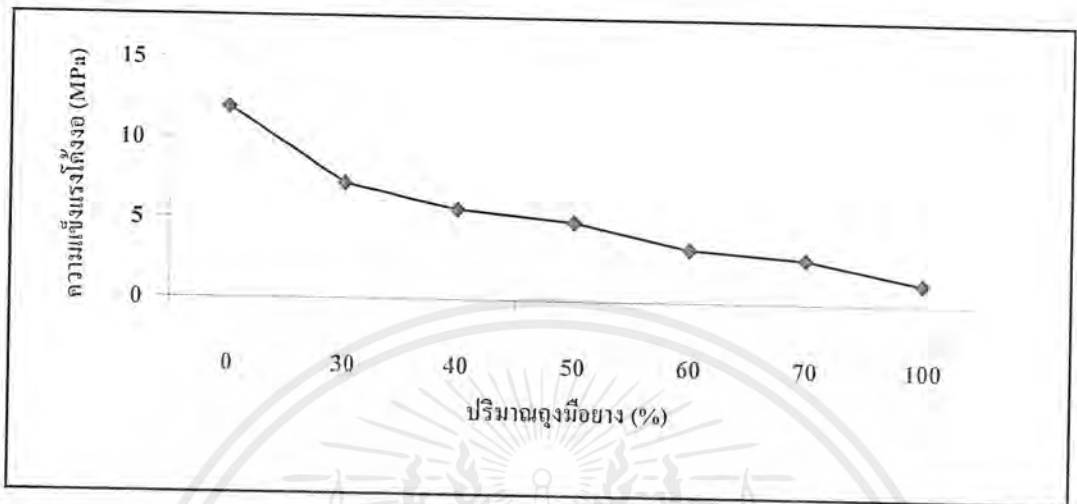
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณถุงมือยางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางบดและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

จากกราฟรูปที่ 4-2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเอทิลีนขณะที่ยังไม่ผสมถุงมือยางมีค่าหนึ่งและเมื่อมีการผสมถุงมือยางบดลงไปจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลงสามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคของยางไปขัดขวางการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเอทิลีน ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงยืดสายโซ่พอลิเอทิลีน สามารถยืดออกได้น้อยลงจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง แต่เมื่อปริมาณของถุงมือยางเพิ่มมากกว่าเดิมพบว่าแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการเข้ากันได้มากขึ้นและเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้นสมบัติของยางจะเด่นชัดมากขึ้นเนื่องจากยางกลายเป็นพอลิเมอร์หลักทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์การตั้งยัด ณ จุดขาด กับ ปริมาณถูมือยาง ของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถูมือยางและพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

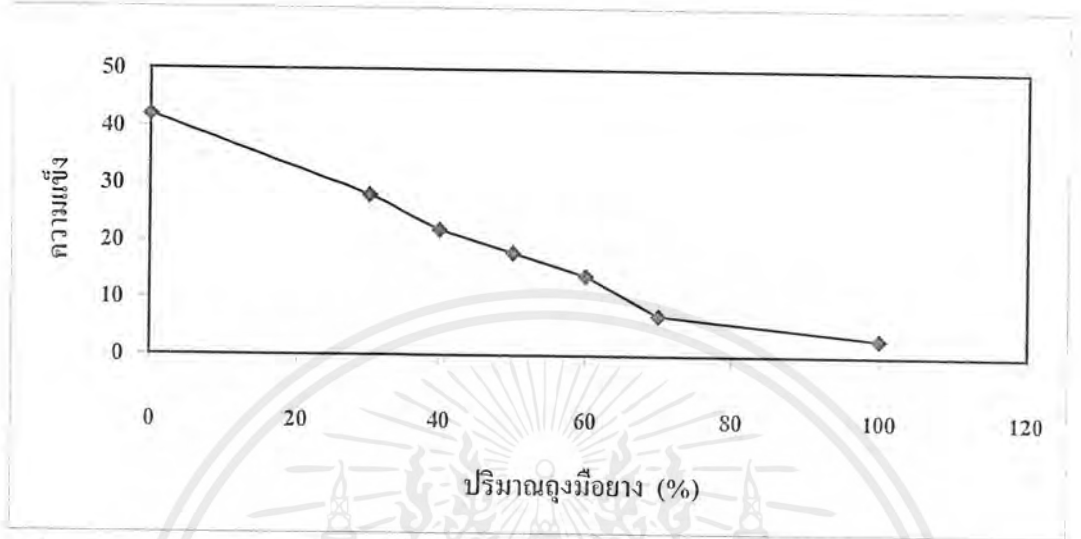
จากกราฟรูปที่ 4-3 พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าโดยปกติพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำนั้นจะมีสายโซ่กิ่งที่ยาวซึ่งทำให้สายโซ่เกิดการพันกันเมื่อมีแรงกระทำจึงสามารถถ่ายเทแรงบริเวณจุดที่รับแรงไปสู่สายโซ่ข้างเคียงได้ แต่เมื่อระบบของพอลิเอทีลีนมีถูมือยางมาผสมทำให้ไปขัดขวางการเกี่ยวพันกันของสายโซ่เป็นผลให้สายโซ่พอลิเอทีลีนกระจายแรงจากบริเวณจุดรับแรงได้ลดลงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลงด้วย



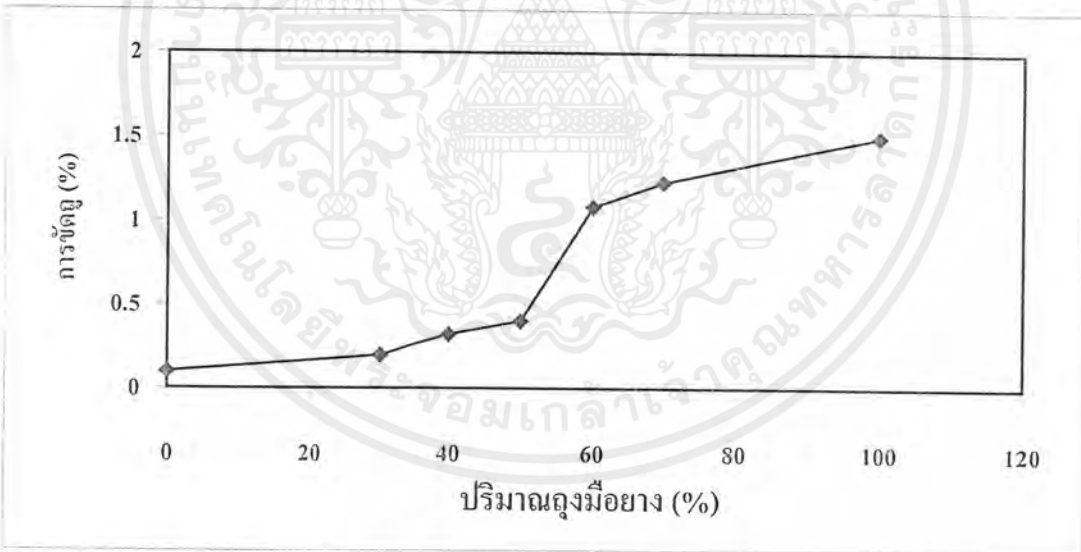
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งแรงโคงงอ กับ ปริมาณถุงมือยาง ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิโอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4-4 พบว่าเมื่อปริมาณถุงมือยางเพิ่มขึ้นเท่ากับเป็นการเพิ่มส่วนของอีลาสโตเมอร์มากขึ้นดังนั้นค่าความแข็งจึงมีแนวโน้มลดลงและจากกราฟรูปที่ 4-5 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การขีดครูดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของถุงมือยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากวิฤภาคของยางมีลักษณะที่อ่อนตัว มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคต่ำทำให้ถูกขีดครูดหลุดออกได้มากกว่าวิฤภาคของพลาสติก ดังนั้นเมื่อมีปริมาณถุงมือยางมากเป็นผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การขีดครูดเพิ่มขึ้น ดังกราฟรูปที่ 4-5

ดังนั้นจากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4-1 ถึง รูปที่ 4-5 จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE ต่อถุงมือยางบดเป็น 70:30 เนื่องจากในการผลิตบดสีออกยางปูพื้นต้องมีส่วนรับแรงกดมาก มีค่าความแข็งพอสมควร และทนการขีดครูด อัตราส่วนนี้จึงเหมาะสม



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับปริมาณถุงมือยางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การยืด กับ ปริมาณถุงมือยางของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

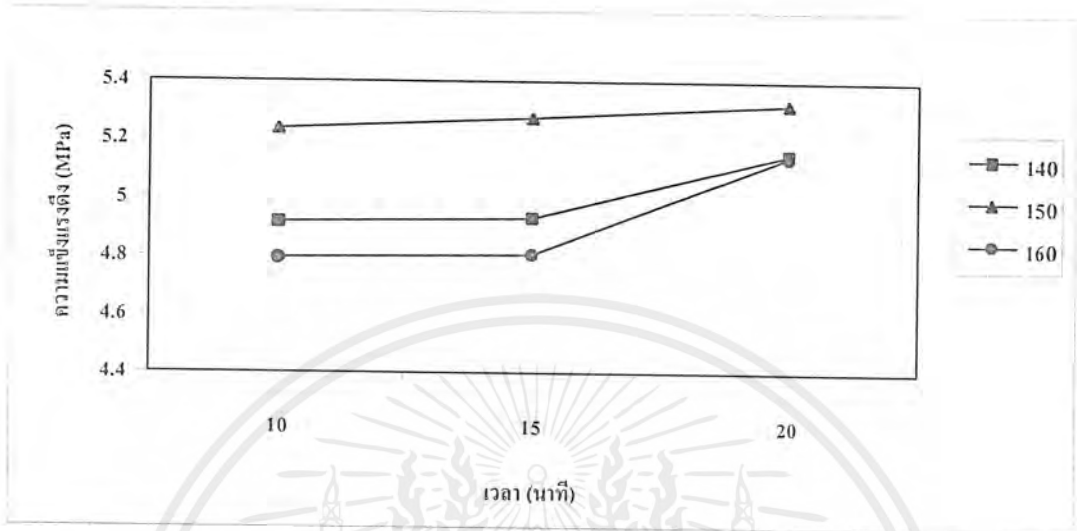
#### 4.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการผสมทำให้มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยที่อุณหภูมิจะมีผลมากกว่าเวลาดังแสดงในตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลาในการผสมกับค่าความแข็งแรงดังแสดงในกราฟรูปที่ 4-6 พบว่าเมื่อเวลาคงที่ค่าความแข็งแรงดังมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิเป็น  $150^{\circ}\text{C}$  จากผลดังกล่าวอธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำการผสมเข้ากันระหว่าง LDPE กับถุงมือยางยังเข้ากันได้ดีไม่ดีขึ้นเนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผสม ไม่มากพอและการผสมกันที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดการเปราะเนื่องจากการเสียดสีของถุงมือยางเมื่อได้รับความร้อนสูงเกินไปเกิดการแยกตัวกันระหว่างถุงมือยางและ LDPE ที่อุณหภูมิต่ำที่พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดังมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากใช้เวลาในการผสมนานทำให้ถุงมือยางมีเวลาในการสัมผัสกับ LDPE ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด (รูปที่ 4-7) และ ความแข็งแรงโค้งงอ (รูปที่ 4-8) ให้ผลสอดคล้องกันกับค่าความแข็งแรงดัง แต่อุณหภูมิและเวลาในการผสมไม่มีผลต่อความแข็งแรง (รูปที่ 4-9) และเปอร์เซ็นต์การขาด (รูปที่ 4-10) เนื่องจากสมบัติทั้งสองนั้นขึ้นกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติเชิงกลดีคืออุณหภูมิที่  $150^{\circ}\text{C}$  และเวลาในการผสมที่เหมาะสมคือ 10 นาที เนื่องจากการใช้เวลาในการผสมมากขึ้นไม่ได้ช่วยให้สมบัติดีขึ้นมากนัก นอกจากนี้การใช้เวลาผสมมากขึ้นจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

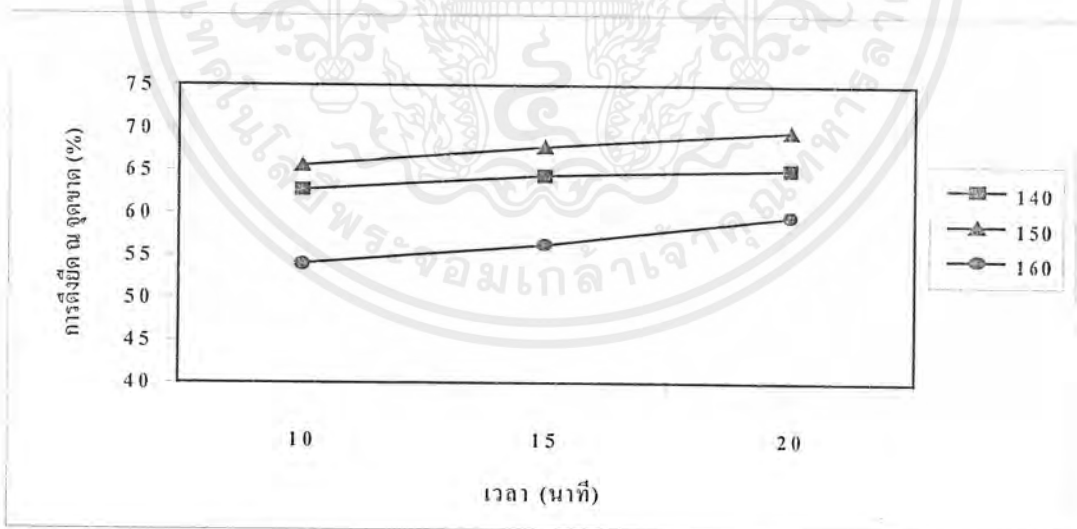
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

อุณหภูมิ/เวลา	ค่าความ แข็งแรงดึง (MPa)	การดึงยืด ณ จุดขาด(%)	ความแข็งแรง โค้งงอ (MPa)	ค่าความแข็ง	การขัดถู (%)
140/10	4.917	62.70	6.796	27	0.207
140/15	4.931	64.41	6.863	27	0.208
140/20	5.150	65.11	7.096	27	0.203
150/10	5.235	65.61	7.259	27	0.205
150/15	5.247	67.81	7.275	27	0.204
150/20	5.321	69.61	7.313	27	0.200
160/10	4.794	54.01	6.826	27	0.202
160/15	4.806	56.25	6.947	27	0.202
160/20	5.141	59.57	7.154	27	0.199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

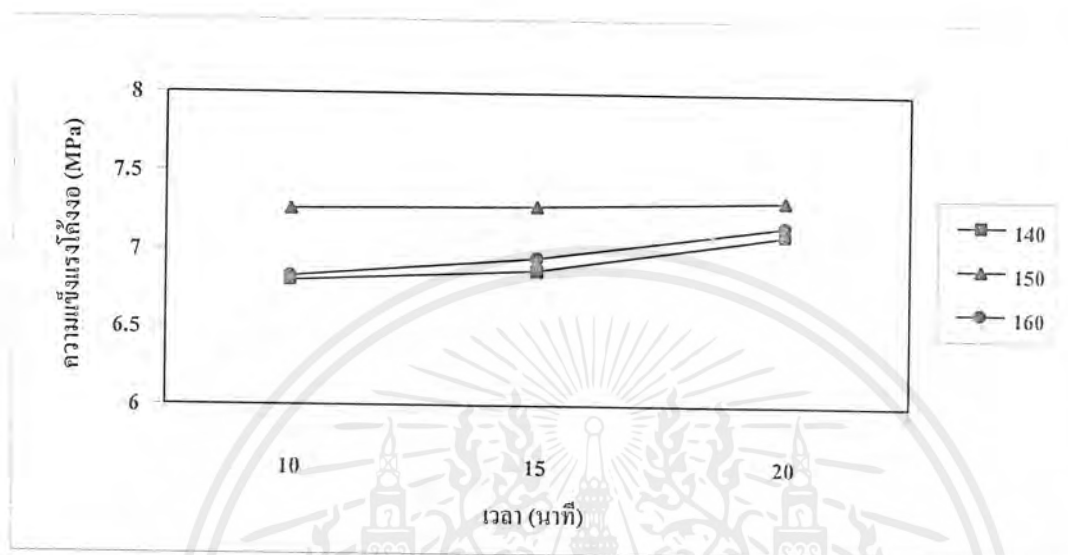


รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

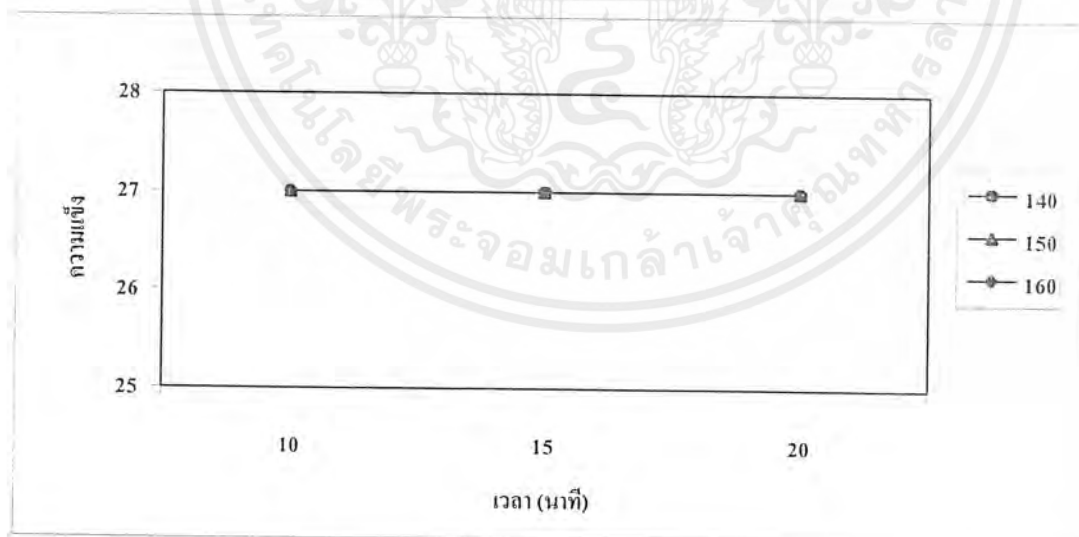


รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

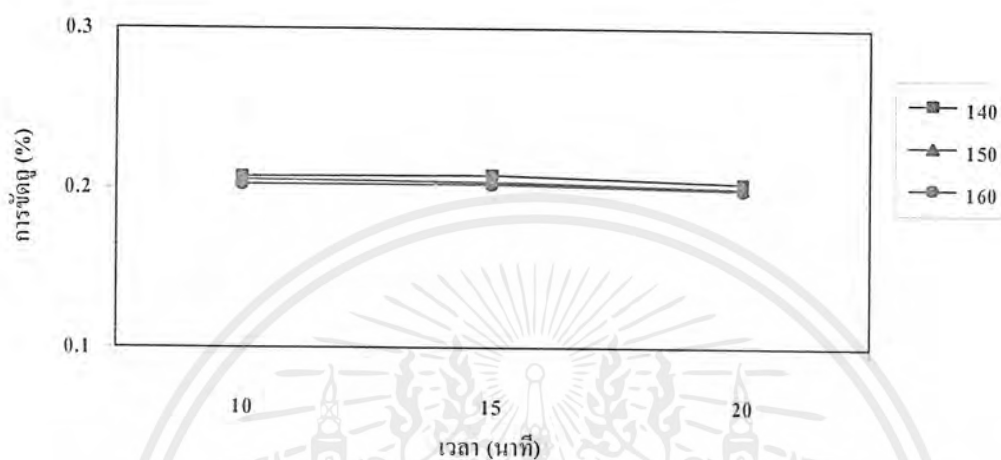


รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งแรงโค้งงอ กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็ง กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การขจัด กับ เวลาในการผสมที่อุณหภูมิต่างๆของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างถุงมือยางและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเติมแต่งทำให้มีผลต่อสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยชนิดของสารเติมแต่งมีผลมากกว่าปริมาณของสารเติมแต่งดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารเติมแต่งที่ปริมาณต่างๆ

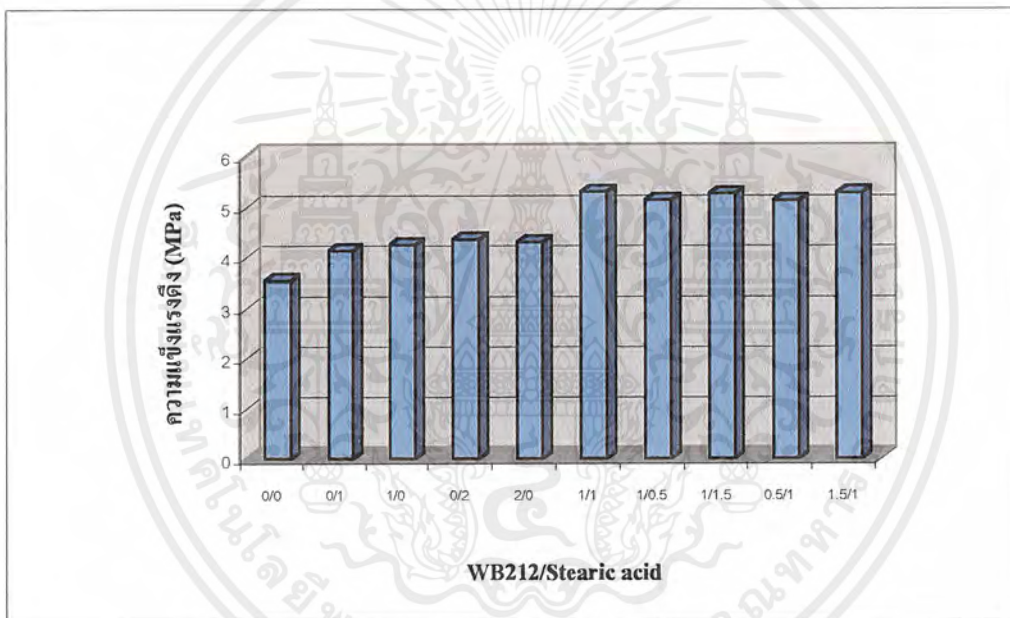
W/S*	ค่าความ แข็งแรงดึง (MPa)	การดึงยืด ณ จุดขาด(%)	ความแข็งแรง โค้งงอ (MPa)	ค่าความแข็ง	%การขาด	HDT (°C)
0/0	3.543	40.01	5.086	26	0.23	50.2
0/1	4.125	45.82	5.823	26	0.19	60.8
1/0	4.238	50.43	5.802	26	0.20	61.2
0/2	4.348	48.96	6.002	26	0.20	58.6
2/0	4.288	52.48	6.094	26	0.21	59.2
1/1	5.303	65.61	7.323	27	0.20	68.5
1/0.5	5.136	64.38	7.031	27	0.23	69.4
1/1.5	5.267	64.33	7.371	28	0.20	68.8
0.5/1	5.120	65.49	7.092	27	0.22	69.5
1.5/1	5.284	66.53	7.379	26	0.23	68.4

\*อัตราส่วนผสมระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับ กรดสเตียริก

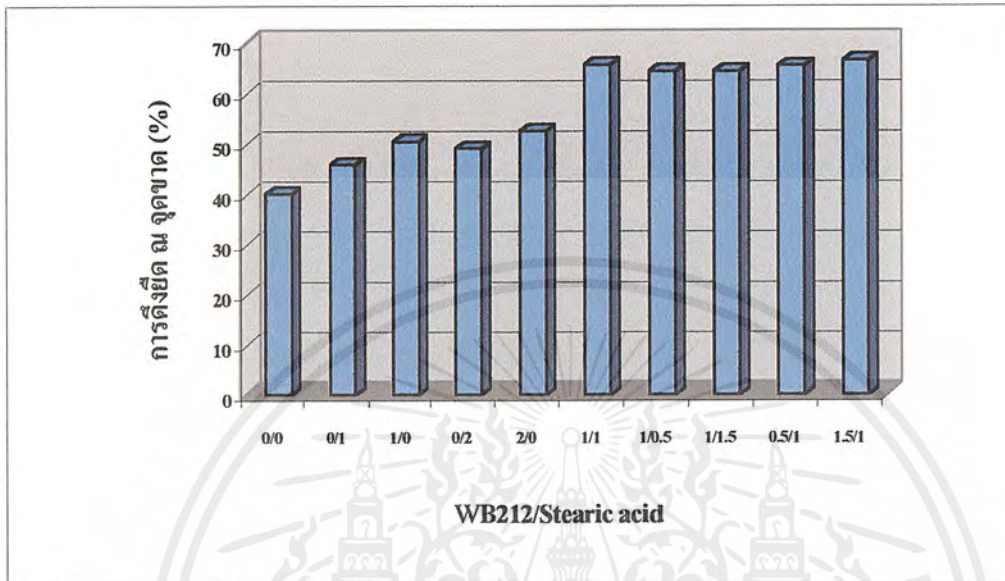
จากรูปที่ 4-11 ถึง 4-13 พบว่าความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และ ค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมสารช่วยผสมลงในระบบของพอลิเมอร์ผสม ทั้งนี้เนื่องจากก่อนการเติมสารช่วยผสม LDPE กับถุงมือยางบดมีองค์ประกอบที่ผสมเข้ากันได้ยาก และการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคต่างๆทำให้ค่าความแข็งแรงดึง การดึงยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอต่ำ ผสมกันไม่ดี เมื่อเติมกรดสเตียริก ลงไปโดยไม่เติมสารช่วยกระจายตัว (WB212) พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติดีขึ้น โดยกรดสเตียริก ช่วยในการกระจายอนุภาคสารตัวเติมของยางแตกตัวไม่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนให้กระจายทั่วยางและช่วยให้ระบบมีการหล่อลื่นขึ้นมากทำให้การดำเนินการผสมง่ายขึ้น เมื่อเติม สารช่วยกระจายตัว (WB212) ลงไปโดยไม่เติมกรดสเตียริกพบว่าพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติดีขึ้น เนื่องจากสารช่วยกระจายตัว (WB212) เป็นแฟตตี้แอซิดเอสเทอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งมีสายโซ่ยาวอาจช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างยาง กับ LDPE แต่เมื่อสารช่วยผสมแต่ละชนิดมีมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

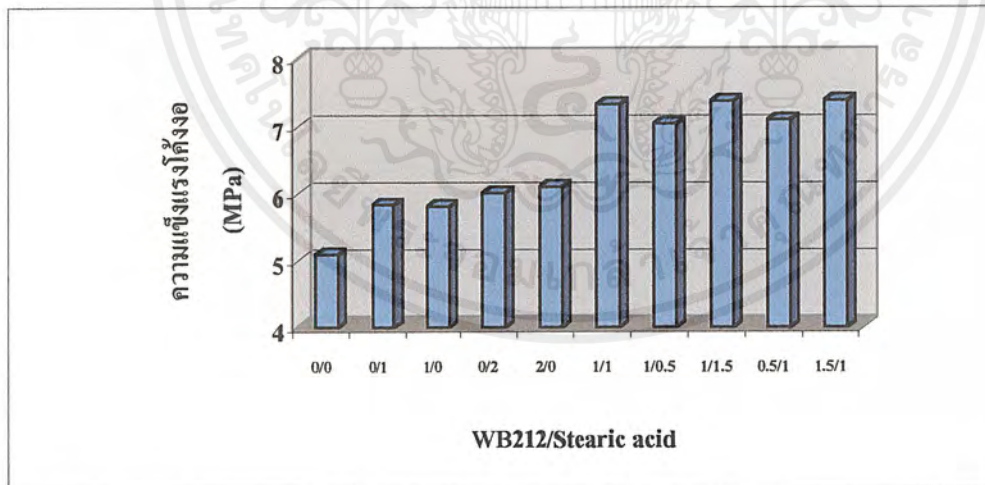
ไปจะไม่ทำให้สมบัติดีขึ้นไปกว่าเดิม เมื่อเติมสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริกลงไป ในอัตราส่วนที่เท่ากันพบว่าพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติดีขึ้นและรวมเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเติมสารช่วยผสม อย่างใดอย่างหนึ่ง เนื่องจากกรดสเตียริกจะช่วยกระจาย (WB212) ให้กระจายทั่วพื้นผิวของยางทำให้ สารช่วยกระจายตัว (WB212) หันด้านที่มีขี้ผึ้งเกาะกับยางที่มีสารอื่นเจือปน (มีขี้ผึ้งมากกว่า LDPE ) และ หันด้านที่ไม่มีขี้ผึ้งเกาะกับ LDPE ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณสารช่วย ผสมเปลี่ยนแปลงไปไม่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง และ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับ กรดสเตียริก



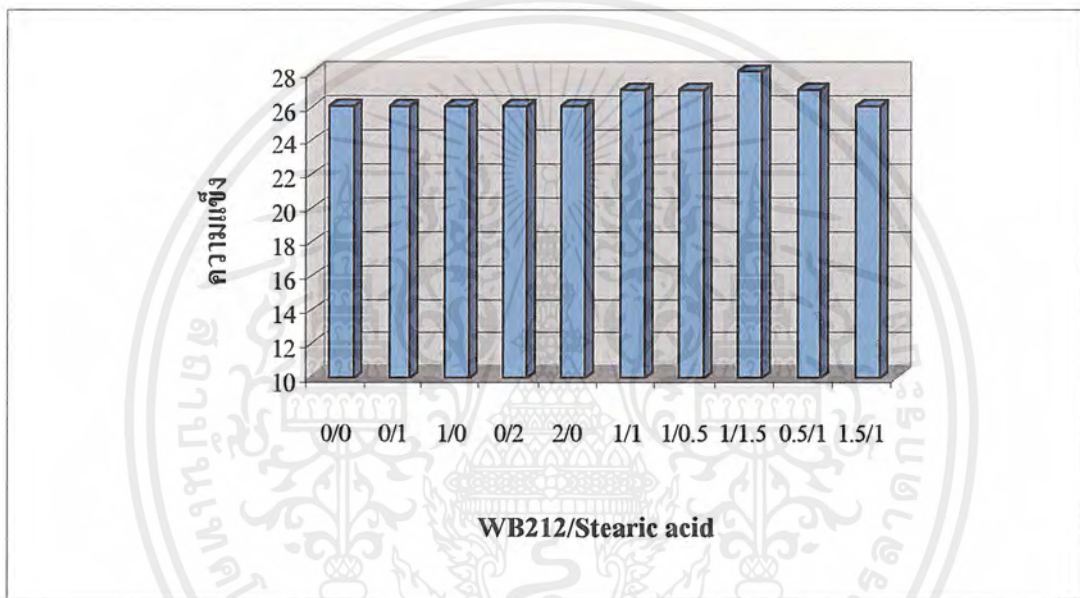
รูปที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์การดึงยัด ณ จุดขาด และ อัตราส่วนระหว่าง สารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก



รูปที่ 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรง โค้งงอและอัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจาย ตัว (WB212) กับกรดสเตียริก

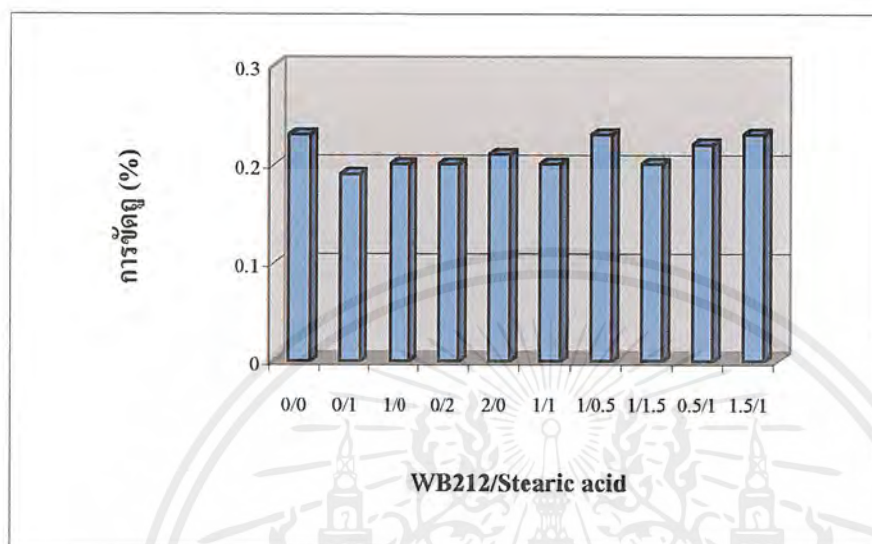
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-14 ถึง รูปที่ 4-15 พบว่าค่าความแข็งและเปอร์เซ็นต์การขีดถูของพอลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณสารช่วยผสมที่เดิมมีปริมาณน้อย จึงมีบทบาทเพียงเล็กน้อย โดยอิทธิพลส่วนใหญ่มาจากปริมาณของ LDPE กับ ถุงมือยางบด



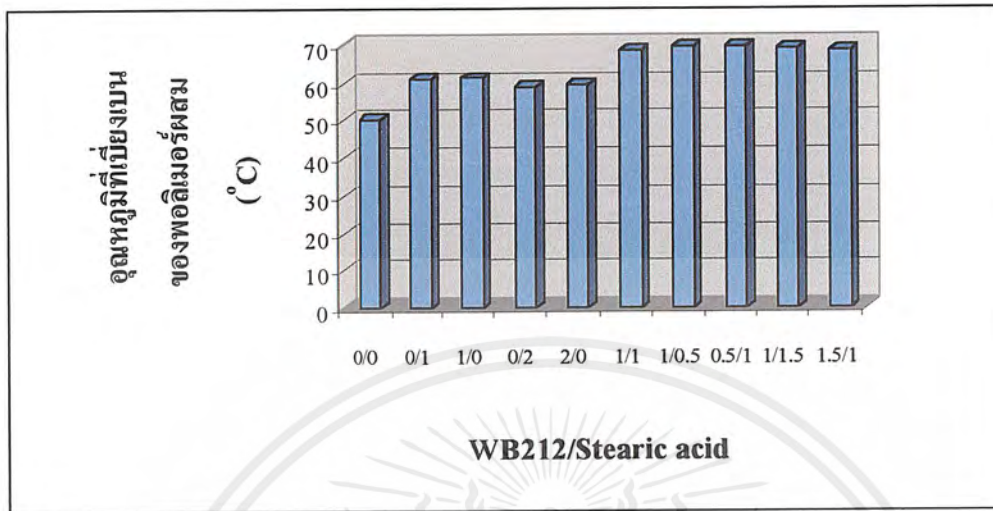
รูปที่ 4-14กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง และ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การขจัด และ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก

จากรูปที่ 4-16 พบว่าอุณหภูมิการเบี่ยงเบนทางความร้อน (HDT) ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมมีค่าต่ำเนื่องจากความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่าง LDPE กับ ดุงมีอย่างบดมีน้อยและหรือการกระจายตัวไม่ทั่วพื้นผิวทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนแปลงสภาพไม่ดีเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นเมื่อเติมสารช่วยผสม การยึดเกาะระหว่าง LDPE กับ ดุงมีอย่างบดมีความแข็งแรงมากขึ้น ดุงมีอย่างสามารถกระจายได้ทั่วพื้นผิวของ LDPE ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนแปลงสภาพได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า และปริมาณของสารช่วยผสมที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลต่ออุณหภูมิเบี่ยงเบนของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ผสมและ อัตราส่วนระหว่างสารช่วยกระจายตัว (WB212) กับกรดสเตียริก

#### 4.4 การอัดแบบแม่พิมพ์ (Compression Molding)

ในการอัดแบบขึ้นงานเพื่อนำไปใช้งานจริงโดยผลิตเป็นบล็อกยางปูพื้น โดยทำการอัดแบบแม่พิมพ์บล็อกยางปูพื้นที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 15 นาที และหล่อเย็นเพื่อให้พอลิเมอร์ผสมแข็งตัวเป็นเวลา 30 นาที ที่เวลา 10 และ 20 นาทีขึ้นงานยังไม่เย็นตัวข้างในขึ้นงานมีความร้อนสะสมอยู่จึงทำให้เกิดรอยยุบบนขึ้นงานพบว่า การหล่อเย็นที่เวลา 30 นาทีทำให้พอลิเมอร์เย็นตัวพอดีและไม่เกิดรอยยุบของขึ้นงาน



รูปที่ 4-17 รูปแสดงบล็อกยางปูพื้นที่ผลิตได้จากกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การประเมินราคา (Cost Estimation)

เนื่องจากการผลิตบล็อกยางปูพื้นต้องมีการประเมินต้นทุนในการผลิต จากการทดลองเป็นการนำ LDPE บริสุทธิ์ผสมกับถุงมือยางบด การผลิตบล็อกยางปูพื้น 1 บล็อก จะได้บล็อกยางปูพื้นมีน้ำหนัก 500 กรัม โดยพิจารณาตารางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.4 เราใช้อัตราส่วนตามตารางที่ 4.5 ได้ราคาบล็อกยาง เมื่อใช้ LDPE บริสุทธิ์มีราคา 12.06 บาทต่อชิ้น ซึ่งถูกกว่าตามท้องตลาดและได้สมบัติที่ดี แต่ในปัจจุบันถุงพลาสติกกำลังเป็นปัญหาสำคัญสำหรับประเทศไทย ซึ่งจะกระทบนี้ย่อยสลายยาก การนำถุงพลาสติกที่ผลิตได้จาก LDPE ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปัญหาขยะ ประหยัดต้นทุนในการผลิต และประหยัดพลังงานเนื่องจากพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูปมาแล้วเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะหลอมขึ้นรูปได้ง่ายกว่าพลาสติกบริสุทธิ์ ราคาของบล็อกยาง 1 บล็อกเมื่อนำถุงพลาสติกขึ้นรูปใหม่แทนพลาสติกบริสุทธิ์ที่อัตราส่วนเดียวกันได้ราคาตามตาราง ที่ 4.6 คือ 2.40 บาทต่อชิ้น ซึ่งมีราคาต้นทุนถูกกว่าบล็อกยางที่ทำมาจากพลาสติกบริสุทธิ์ประมาณ 9.66 บาทต่อชิ้น

ในด้านพลังงานที่ใช้ในตอนนี้เรายังไม่มีการคำนวณเนื่องจากการผลิตบล็อกยางในสถานปฏิบัติการภาควิชาเคมีเป็นแบบครั้งคราว เครื่องมือไม่พร้อมที่จะทำให้ต้นทุนพลังงานถูกลงกว่าการผลิตแบบต่อเนื่องได้ เราจึงประเมินราคาเฉพาะต้นทุนของสารตั้งต้น

ตารางที่ 4.4 แสดงราคาของสารเคมี

ชนิดของสารเคมี	ราคา(บาท/กิโลกรัม)
LDPEบริสุทธิ์	26
Recycled LDPE (ถุงพลาสติกที่ใช้แล้ว)	3
ถุงมือยางบด	0
WB212	160
Stearic acid	30

ตารางที่ 4.5 แสดงราคาวัตถุดิบของปูพื้นเมื่อใช้ LDPE บริสุทธิ์

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้(กรัม)	ราคา(บาท)
LDPE บริสุทธิ์	420	10.92
ถุงมือยางบด	180	0
WB212	6	0.96
Stearic acid	6	0.18
	รวมราคา	12.06

ตารางที่ 4.6 แสดงราคาวัตถุดิบของปูพื้นเมื่อใช้ LDPE ที่นำกลับมาใช้ใหม่

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้(กรัม)	ราคา(บาท)
Recycled LDPE (ถุงพลาสติกที่ใช้แล้ว)	420	1.26
ถุงมือยางบด	180	0
WB212	6	0.96
Stearic acid	6	0.18
	รวมราคา	2.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ดังต่อไปนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการกระบวนการผสม LDPE กับถุงมือยางบดเข้าด้วยกัน ขึ้นกับองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในแต่ละอัตราส่วน ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการสูงไปทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการสลายตัว เนื่องจากความร้อน และในทางกลับ ถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผสมน้อยเกินไป ทำให้การหลอมตัวไม่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของสมบัติเชิงกล
2. ถ้าเติมสารช่วยผสมทำให้สมบัติเชิงกลที่สำคัญเช่นความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรง โค้งงอมีสมบัติดีขึ้น สมบัติเชิงกลต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารช่วยผสมที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าปริมาณสารช่วยผสมมีมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างผิวหน้าของ พอลิเมอร์ผสมได้จึงทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือลดลงได้
3. สูตรที่เหมาะสมสำหรับบดล็อกยางปูพื้นเป็นดังนี้
  - อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง LDPE กับ ถุงมือยางบด คือ 70:30
  - อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมคือ 150 °C
  - เวลาที่เหมาะสมในการผสมคือ 10 นาที
  - ปริมาณสารช่วยกระจายตัว (WB212) ที่เหมาะสมในการผสมคือ 1 เปอร์เซ็นต์
  - ปริมาณกรดสเตียริกที่เหมาะสมในการผสมคือ 1 เปอร์เซ็นต์
  - อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดแบบบดล็อกยางปูพื้นคือ 150 °C
  - เวลาที่เหมาะสมในการอัดแบบบดล็อกยางปูพื้นคือ 15 นาที
  - เวลาที่เหมาะสมในการหล่อเย็นบดล็อกยางปูพื้นคือ 30 นาที

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ของถุงพลาสติก มาแทน LDPE บริสุทธิ์ เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ ลดต้นทุนการผลิต และแก้ปัญหาขยะย่อยสลายยาก
2. ศึกษาสารตัวเติมชนิดอื่นที่สามารถผสมในพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. การนำไปประยุกต์ใช้
  - ศึกษาถึงอายุการใช้งานของบดล็อกยางปูพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาสมบัติเพิ่มเติม เช่น สมบัติการไหล ความคงทนเมื่อมีแรงคงที่กดที่ชิ้นงานเป็นเวลานาน เป็นต้น
  - ศึกษาถึงความคงทนเมื่อใช้งาน
  - การพัฒนาความสวยงาม เช่น การตกแต่งผิวหน้าด้วยลวดลายต่างๆ การใส่สีช่วยเพิ่มความสดใส
- ใส่ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 แสดงถึงบล็อกยางที่มีการผสมสีเพื่อช่วยเพิ่มความสวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง

1. กัญญา รุจิรานนทพงศ์ “การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษยางที่เหลือใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับเทอร์โมพลาสติก 7 ชนิด” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2537
2. Phadke,A.A.,DE,S.K. “ Effect of Cryo-ground Rubber on Melt Flow and Mechanical Properties of Polypropylene ” J.Polymer.Eng.Sci. 26(1986):1079-1086.
3. Ray,I.,Khastgir,D., “ Correlation between Morphology with Dynamic Mechanical Properties and Electrical Conductivity for EVA-LDPE Blend ” Polymer, 34(1993):2030-7.
4. บทสัมภาษณ์ คุณเดชาธร เจริญรัตน์ หัวหน้างานอาวุโส ฝ่ายห้องปฏิบัติการ บริษัท แอนเซลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
5. ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์ เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน วัฒนชัยพานิชย์ หน้า 308-316,2527.
6. ทองใบ พุทธิเสถียร และ สุรัตน์ อารีรัตน์ “การศึกษาการผสมยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติ กราฟท์โคพอลิเมอร์กับยางสังเคราะห์” โครงการงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2534
7. กฤษณา มีสวัสดิ์ “อิทธิพลของสารช่วยผสมและการฉายรังสีที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิโอเลฟินผสม” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์ (เทคโนโลยีพอลิเมอร์) บัณฑิตวิทยาลัย สจล. 2542
8. Markham R.L., Elastomer Technology Handbook Boca Raton : CRC Press., 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้