

การนำพอลิโอสไตรีนและยางธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่  
ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก

RECYCLING OF POLYSTYRENE AND NATURAL RUBBER  
FOR IMPACT RESISTANCE APPLICATION



ประพนธ์ เลี้ยวสมบุรณ์  
PRAPON LIAWSOMBOON

วพ.  
๗/๒๙๙ก  
๒๕๔๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 44026  
วัน, เดือน, ปี 2 ต.ค. 2545

.b.....  
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2545

ISBN 974-648-662-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๗๗๐๔๐๖๖๔

**RECYCLING OF POLYSTYRENE AND NATURAL RUBBER  
FOR IMPACT RESISTANCE APPLICATION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

**ISBN 974-648-662-4**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำที่เกี่ยวข้อกับพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม การช่วยแก้ไขปัญหาและความเอาใจใส่ดูแลการทำงานจาก ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์ผู้ร่วมควบคุมวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแนะนำและแก้ไขปัญหาต่างๆ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.มาลีณี ชัยศุกกิจสินธุ์ ดร.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ และ ผศ.ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล อาจารย์และคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุคดี สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท แอนเชลด์ ประเทศไทย จำกัดและบริษัท เบนส์เมย์เยอร์ ประเทศไทย จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสารเคมีเพื่อใช้ในการงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเดชารุ เจริญรัตน์และคุณสุขเกษม เหลืองทองคำที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้องและเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงอีกมากมายทางผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ประพนธ์ เลี้ยวสมบูรณ์

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	27
3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน.....	27
3.3.2 การทดสอบชิ้นงาน.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	36
4.1 การศึกษาชนิด อัตราส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสม ในการนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก.....	36
4.2 การศึกษาผลของการเพิ่มเวลาในการผสมพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง.....	57
4.3 การศึกษาความแตกต่างของการใช้พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่าน การใช้งานกับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ.....	60
4.4 การศึกษาผลของการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสม.....	62
4.5 การศึกษาหาปริมาณการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เหมาะสม ลงในพอลิเมอร์ผสม.....	66
4.6 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป.....	70
4.7 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป.....	73
4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคไดนามิกเมคานิคอล เทอร์มอลออลดนาไลซิส (DMTA).....	76
4.9 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	78
4.9.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสม.....	78
4.9.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสม สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	97



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติเชิงกลของพอลิस्टาไร์นและพอลิस्टาไร์นชนิดทนต่อแรงกระแทก.....	10
2.2 ส่วนประกอบและน้ำหนักที่ใช้ผลิตถุงมือที่ใช้ในงานทั่วไป.....	13
2.3 ส่วนประกอบและน้ำหนักที่ใช้ผลิตถุงยางอนามัย.....	14
2.4 ชนิดของพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามลักษณะของภูมิภาค ที่นำมาผสมและสมบัติที่ได้รับการปรับปรุง.....	19
3.1 มาตรฐานต่างๆที่ใช้ทดสอบพอลิเมอร์ผสม.....	32
3.2 อัตราส่วนของของผสมระหว่างคาร์บอนเตตระคลอไรด์กับไซลีน.....	34
4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิस्टาไร์นจากบรรจุภัณฑ์ พอลิस्टาไร์นชนิด ทนต่อแรงกระแทกและถุงมือ.....	37
4.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ.....	56
4.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมก่อนและหลังเติมสารช่วยผสม สตาไร์นบิวทาไดอีนสตาไร์น.....	70
4.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	76

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของพอลิสไตรีน.....8
2.2	สัณฐานวิทยาของโพรพอลิสไตรีน.....9
2.3	สูตรโครงสร้างของหน่วยไอโซพรีน.....11
2.4	ลักษณะของถุงมือยางที่นำมาใช้ในงานวิจัย.....16
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ กับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้.....16
2.6	การแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม.....17
2.7	ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม.....17
2.8	สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....19
2.9	เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง.....24
4.1	ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....38
4.2	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....38
4.3	มอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....39
4.4	ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....39
4.5	ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....40
4.6	ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....41
4.7	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....41
4.8	มอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....42
4.9	ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โพรพอลิสไตรีน กันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....42

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน กั้นกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	43
4.11 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน กั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	44
4.12 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	44
4.13 มอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน กั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	45
4.14 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน กั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	45
4.15 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน กั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	46
4.16 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	47
4.17 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	47
4.18 มอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	48
4.19 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	48
4.20 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	49
4.21 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	50
4.22 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	50
4.23 มอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	51

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ความแข็งกคของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	51
4.25 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน.....	52
4.26 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	53
4.27 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	53
4.28 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	54
4.29 ความแข็งกคของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	54
4.30 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีน จากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน.....	55
4.31 ความแข็งแรงดึงเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที.....	58
4.32 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที.....	58
4.33 มอดุลัสเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที.....	59
4.34 ความแข็งกคเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที.....	59
4.35 ความแข็งแรงกระแทกเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที.....	60
4.36 สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานและ พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ.....	61
4.37 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอีนสไตรีนและสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีนปริมาณ 10 phr.....	63
4.38 ลักษณะการเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคของสารช่วยผสมแบบต่างๆ.....	64

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณ 10 phr เปรียบเทียบกับเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน 4 phr และพอลิสไตรีนจากบรรจุกัณฑ์ 6 phr.....	65
4.40 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณต่างๆกัน.....	67
4.41 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติม สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน.....	67
4.42 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณต่างๆกัน.....	68
4.43 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณต่างๆกัน.....	68
4.44 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติม สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน.....	69
4.45 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	71
4.46 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม ที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	71
4.47 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	72
4.48 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	72
4.49 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	73
4.50 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	74
4.51 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสม ที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	74
4.52 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	75
4.53 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	75
4.54 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน.....	76
4.55 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม.....	78
4.56 สัณฐานวิทยาพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิดต่างๆปริมาณ 10 phr.....	80
4.57 สัณฐานวิทยาพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน.....	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการขยายตัวของโรงงานผลิตถุงมืออย่างภายในประเทศไทยอย่างรวดเร็วและผู้ผลิตส่วนใหญ่ขาดเทคโนโลยีและประสบการณ์ทำให้เกิดการผลิตถุงมือที่ไม่มีคุณภาพเป็นจำนวนมาก แม้ว่าประเทศเพื่อนบ้านได้ซื้อถุงมืออย่างเหล่านี้ไปใช้ในราคาถูกเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีมูลค่าสูงขึ้นก็ตามแต่ก็ยังมีถุงมืออย่างที่เหลืออยู่อีกมากมายจึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำถุงมือที่ไม่ได้คุณภาพกลับมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิด โดยคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการใช้มาก การผลิตไม่ยุ่งยาก ราคาพอสมควรและมีสมบัติที่เหมาะสม ประกอบกับมีการใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลายทำให้มีแนวโน้มของการใช้งานมากขึ้น สิ่งตามมาคือปัญหาขยะพลาสติกเพราะพลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูง Milgrom และ Leidner [1,2] ได้ให้คำนิยามต่างๆ ดังนี้

ของเสียพลาสติก (waste plastic) คือ ส่วนของพลาสติกที่อยู่ในพวกขยะซึ่งอาจมีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือเผาทิ้ง

เศษพลาสติก (scrap plastic) คือ ส่วนของพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยมีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ในทางการค้าด้วยเทคนิคทางกระบวนการมาตรฐาน

พลาสติกกรบกวน (nuisance plastic) คือ ผลผลิตพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการทำพลาสติกที่ไม่สามารถจะนำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้เทคนิคและสภาวะทางเศรษฐกิจที่มีอยู่ได้

แนวทางหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติกคือการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (recycle) โดยนำมาผสมกับพอลิเมอร์อื่นๆซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน แต่เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่ได้อาจมีสมบัติต่ำลงหรือไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจึงต้องมีการเติมสารปรับแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ Milgrom [1] ได้ให้นิยามการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การนำกลับมาใช้ใหม่แบบปฐมภูมิ คือ การนำเศษพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการผลิตมาใช้ใหม่โดยใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตัวเดิมหรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน โดยใช้กระบวนการมาตรฐาน โดยอาจนำไปผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่แต่ต้องมีส่วนผสมในปริมาณคงที่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้คงที่

2. การนำกลับมาใช้ใหม่แบบทุติยภูมิ คือ การนำเอาพลาสติกที่ผู้บริโภคใช้แล้วทิ้งหรือขยะพลาสติกจากอุตสาหกรรมซึ่งประกอบด้วยพลาสติกหลายชนิดมาหลอมรวมกันผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยสมบัติที่ได้จะต่ำกว่าพลาสติกบริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสมบัติที่ไม่ดีนัก เช่น ท่อระบายน้ำ การค้ำต้นไม้และกล่องใส่จดหมาย เป็นต้น

3. การนำกลับมาใช้ใหม่แบบตติยภูมิ คือ การนำเอาขยะมาแยกสลายด้วยความร้อนได้สารประกอบเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบง่ายกระบวนการนี้ไม่ก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษและลดขยะพลาสติกได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ทั้งยังได้สารเคมีที่นำมาใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น น้ำมันเบา ก๊าซและสารประกอบอินทรีย์ เป็นต้น

4. การนำกลับมาใช้ใหม่แบบจตุรภูมิ คือ เทคโนโลยีทางกระบวนการที่มุ่งนำเอาพลังงานจากขยะพลาสติกมาใช้โดยการเผาพลาสติกให้เป็นเถ้า (incineration) หรือการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) เป็นต้น

การผสมพอลิเมอร์ต่างๆเข้าด้วยกันจะเกิดการแยกวัฏภาคขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพอลิเมอร์มีค่าต่ำทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันส่งผลให้สมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ต่ำกว่าพอลิเมอร์ก่อนการผสม ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาปรับปรุงเพื่อลดการแยกกันของวัฏภาคโดยการหาอัตราส่วนผสม เวลาในการผสมและอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้มากขึ้น นอกจากนี้การใส่สารช่วยผสมและสารช่วยกระจายตัวทำให้เกิดการผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่แบบทุติยภูมิโดยนำขวดบรรจุนมเปรี้ยว ยาคูลต์หรือ โฟมกันการกระแทกซึ่งเป็นพลาสติกประเภทพอลิสไตรีนมาผสมกับถุงมือยางที่ไม่ได้คุณภาพซึ่งทำจากยางธรรมชาติเพื่อปรับสมบัติความแข็งแรงเปราะของพอลิสไตรีนให้ดีขึ้นด้วยสมบัติของยางธรรมชาติที่มีความยืดหยุ่นเพื่อนำไปใช้ในงานรองรับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นจึงเติมสารช่วยผสมในปริมาณต่างๆกันเพื่อปรับให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมดีมากยิ่งขึ้นแล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณขยะพลาสติก (พอลิสไตรีน) และยางที่ไม่ได้คุณภาพ (ยางธรรมชาติ) โดยการนำมาผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแล้วขึ้นรูปด้วยการอัดแบบขึ้นรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก
2. เพื่อศึกษาผลของการผสมร่วมระหว่างพลาสติกและยางที่ไม่ได้คุณภาพ
3. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพลาสติกกับยางที่ไม่ได้คุณภาพ
4. เพื่อศึกษาบทบาทของสารช่วยผสมที่ช่วยให้กระบวนการผสมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพลาสติกและยางมีคุณภาพดีขึ้น

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาหาแนวทางในการศึกษาและพัฒนาใช้ถุงมือยาง ขวดบรรจุภัณฑ์และ โฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในรูปของพอลิเมอร์ผสม
2. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้
3. ศึกษาหาปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม
4. ศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อพอลิเมอร์ผสม
5. ศึกษาลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาขยะจากพลาสติกและยางโดยนำกลับมาแปรรูปใช้ใหม่เป็นพอลิเมอร์ผสม
2. ทราบถึงสภาวะ สัดส่วนในการผสมและชนิดของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการผสมระหว่างพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์กับถุงมือยางเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีสมบัติทนต่อแรงกระแทกสูง
3. สามารถนำความรู้ที่ได้มาช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ภายในประเทศโดยการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนให้ต่ำลงและมีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์

## บทที่ 2

# งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการนำพลาสติกและยางมาผสมโดยวิธีต่างๆกัน ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2526 เจษฎา โมกะกุล [3] ได้ศึกษาการเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนด้วยการผสมแบบลาเท็กซ์โดยใช้พอลิสไตรีนในอัตราส่วน 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีการแยกตัวออกเป็น 2 วัฏภาคและเมื่อขึ้นรูปแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดึงที่ดีแต่สมบัติเชิงกลอื่นๆมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิสไตรีนค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งกมมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงซึ่งผลที่ได้พอจะสรุปได้ว่าการเติมพอลิสไตรีนช่วยปรับปรุงสมบัติของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วให้มีความแข็งแรงขึ้น โดยขึ้นกับปริมาณของพอลิสไตรีนและซัลเฟอร์ที่ใช้

ในปี พ.ศ. 2529 สุรจิตร เฟื่องฟู [4] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกโดยนำพอลิสไตรีนมาผสมกับยางธรรมชาติด้วยการพอลิเมอไรเซชันสารละลาย สไตรีนกับยางธรรมชาติ 5 - 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวแปรที่มีผลต่อการพอลิเมอไรเซชันประกอบไปด้วยอุณหภูมิในการพอลิเมอไรเซชัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ความเร็วในการปั่นกววน ปริมาณยางที่เติมลงไปและน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ใช้ โดยน้ำหนักโมเลกุลของยางที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ  $2 \times 10^5$  -  $3 \times 10^5$   $2 \times 10^5$  -  $5 \times 10^5$  และ  $2 \times 10^5$  -  $1.6 \times 10^6$  ผลจากการศึกษาความเข้ากันของพอลิเมอร์ผสมพบว่าพอลิเมอร์ผสมแยกออกเป็น 2 วัฏภาค ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมขึ้นกับความเร็วในการปั่นกววน ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติและปริมาณยางที่ใช้ และพบว่าต้องใชยางธรรมชาติปริมาณมากกว่ายางบิวทาไดอินในการเสริมแรงเพื่อเตรียมพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกเนื่องจากยางธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงน้อยกว่ายางบิวทาไดอิน พอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติมีสมบัติที่ไม่ดีเท่ากับที่เตรียมจากยางบิวทาไดอิน โดยพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีนที่ผลิตขายสามารถเตรียมได้จากยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุล  $3 \times 10^5$  โดยใส่ยางธรรมชาติลงไป 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2537 กัญญา รุจิรานนท์พงษ์ [5] ได้ศึกษาการนำเศษยางมาใช้เพื่อเพิ่มเนื้อพลาสติกที่ใช้ทางการค้า เศษยางที่ใช้เป็นเศษวัสดุที่ได้จากการผลิตรองเท้ากีฬา 3 ส่วน คือ

1. เศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นนอกมีส่วนประกอบของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติ บิวทาไดอิน (BR) กับยางสังเคราะห์สไตรีนบิวทาไดอิน (SBR)
2. เศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นกลางมีส่วนประกอบของโพลีเอทิลไวนิลอะซีเตต (EVA) เป็นหลัก
3. เศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้า (เศษยางผสมของพื้นรองเท้าชั้นนอกและชั้นกลาง)

ส่วนพลาสติกที่นำมาใช้ศึกษาประกอบด้วยพอลิพรอพิลีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทก (HIPP) พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีน (PE) พอลิสไตรีน (PS) พอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทก (HIPS) อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินสไตรีน (ABS) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกลก่อนและหลังผสมเศษยางลงในพอลิเมอร์ ผลของการลดขนาดเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้ามาผสมกับพอลิพรอพิลีนและผลของการเติมเปอร์ออกไซด์ลงในของผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเศษยาง จากผลการทดลองผสมเศษยางลงในพอลิไวนิลคลอไรด์พบว่าทำให้มีค่าความแข็งแรงแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงแรงกระแทกของของผสมระหว่างพอลิสไตรีนกับเศษยางและพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่ผสมกับเศษยางจากพื้นรองเท้าชั้นนอกได้ค่าใกล้เคียงกับพลาสติกที่ไม่ได้ใส่เศษยาง พอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่ผสมกับเศษยางที่ได้หลังการประกอบพื้นรองเท้าและอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินสไตรีนที่ผสมกับเศษยางให้ค่าความแข็งแรงแรงกระแทกน้อยกว่าพลาสติกที่ยังไม่ผสมเศษยางและจากค่าความแข็งแรงคราก (yield strength) พบว่าเศษยางทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น (stress concentration) ในพอลิสไตรีน ส่วนอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินสไตรีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมกับเศษยางไม่ทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้นในพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทก การลดขนาดของเศษยางที่ได้หลังจากการประกอบพื้นรองเท้าเมื่อนำไปผสมกับ พอลิพรอพิลีนพบว่าทำให้ค่าความแข็งแรงแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลของการเติมเปอร์ออกไซด์ทำให้ความแข็งแรงแรงกระแทกของของผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเศษยางมีค่าลดลงเนื่องจาก พอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มเสื่อมสภาพมากกว่าเกิดการเชื่อมโยง

ในปี พ.ศ. 2538 กฤตย์ แสงทอง [6] ได้ศึกษาการเตรียมและปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจากยางธรรมชาติและพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาวิธีการผสม ชนิดและอัตราส่วนของสารเชื่อมโยงโมเลกุลเพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้ในการผลิตอุตสาหกรรม จากการศึกษาค้นคว้าการปรับค่าความหนืดของยางธรรมชาติโดยวิธีนวดในลูกกลิ้งก่อนนำไปผสมกับพอลิพรอพิลีนทำให้ของผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้นแต่วิธีนี้ไม่เหมาะนักเพราะทำให้สมบัติทางกายภาพลดลงมากและพบว่าการตั้งอุณหภูมิการผสมที่ 175 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบในการผสมที่ 80 รอบต่อนาทีได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติดีที่สุด การศึกษาอัตราส่วนของยางธรรมชาติเมื่อผสมกับพอลิพรอพิลีนในอัตราส่วน ยาง/พอลิพรอพิลีน 60/40 และ 70/30 โดยใช้สารเชื่อมโยงโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดต่างๆพบว่าให้สมบัติทางกายภาพที่ไม่แตกต่างกันนักแต่การใช้สารเชื่อมโยงโมเลกุลไดควิมิวเปอร์ออกไซด์ (DCP) 0.5 phr ร่วมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MA) 5.0 phr ให้สมบัติทางกายภาพของของผสมที่ดีที่สุด

ในปี พ.ศ. 2539 Z.Horak และคณะ [7] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) กับพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทก (HIPS) โดยใช้สไตรีนบิวทาไดอีนที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นไดบล็อก ไตรบล็อกและเพนตะบล็อกเป็นสารช่วยผสม จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไตรบล็อกเป็นสารช่วยผสมได้ค่าความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงที่สุด สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมสารช่วยผสมให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำที่สุด

ในปี พ.ศ. 2541 Y.Takeshita และคณะ [8] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างสไตรีนบิวทาไดอีนกับอะคริโลไนไตรล์บิวทาไดอีนโดยผสมแบบลาเท็กซ์ จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมระหว่างสไตรีนบิวทาไดอีนกับอะคริโลไนไตรล์บิวทาไดอีนที่มีต่อการผสมและสมบัติเชิงกลพบว่าไม่สามารถผสมกันได้เนื่องจากเกิดแยกออกจากกันเป็นสองวัฏภาคส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ดี

ในปี พ.ศ. 2541 K.Cho และคณะ [9] ได้ศึกษาผลของขนาดยางพอลิบิวทิลอะคริเลทที่มีต่อความยืดหยุ่นของพอลิเมทิลเมททาอะคริเลทโดยทำการทดสอบ 2 วิธี คือ ทดสอบความแข็งแรงกระแทกและทดสอบการโค้งงอ พบว่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดสอบต่างกันโดยการทดสอบความโค้งงอการเสียรูปเกิดรอยแตกที่ผิวหน้าหลายรอยแต่ในการทดสอบความแข็งแรงกระแทกเกิดการแตกหักของชิ้นงาน จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกพบว่าขนาดของอนุภาคยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตรให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่สุดแต่ขนาดของยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ไมโครเมตรสามารถใช้ปรับปรุงความแข็งแรงกระแทกเพื่อใช้ในงานทั่วไปได้ สำหรับการทดสอบความโค้งงอพบว่าอนุภาคของยางขนาด 2 ไมโครเมตรช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเสียรูปได้ดี

ในปี พ.ศ. 2542 B.T.Poh และ M.B.Kasmuri [10] ได้ศึกษาผลของปริมาณกรดสเตียริกที่มีต่อการย้อนกลับของการวัลคาไนซ์ในยางธรรมชาติที่เกิดการอีพอกซิไดซ์โดยใช้อุณหภูมิช่วง 150 - 180 องศาเซลเซียส ใส่กรดสเตียริก 0.5 - 14.5 phr ใช้ซัลเฟอร์เป็นสารทำให้เกิดการเชื่อมโยงและมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลที่ได้พบว่าการย้อนกลับลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกแต่เมื่อใส่กรดสเตียริกปริมาณมากกว่า 6.5 phr การย้อนกลับของการวัลคาไนซ์ยังลดน้อยลงเรื่อยๆ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การย้อนกลับของการวัลคาไนซ์ยังเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานความร้อนเพื่อให้เกิดการสลายตัวมากกว่าการเชื่อมโยง

ในปี พ.ศ. 2542 S.Sakurai และคณะ [11] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ร่วมแบบไตรบล็อกสไตรีนบิวทาไดอีนพอลิสไตรีน (SBS) ที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ที่ละลายในตัวทำละลายโดยการเชื่อมโยงเกิดหลังจากการระเหยตัวทำละลายด้วยการแอนนิลที่ 150 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียสเป็นเวลา 100 นาทีเพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จากนั้นเตรียมเป็นฟิล์มแล้วนำมาแยกวัฏภาคโดยสกัดด้วยตัวทำละลาย ฟิล์มที่เตรียมได้นำมาทดสอบค่าไดนามิกวิสโคอีลาสติกและสมบัติเชิงกล จากการศึกษาพบว่า การเชื่อมโยงในสภาวะนี้ช่วยให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เพราะการแยกวัฏภาคจะถูกขัดขวางโดยการเชื่อมโยง

ในปี พ.ศ. 2542 U.S.Ishiaku และคณะ [12] ได้ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการผสมที่มีต่อสมบัติเชิงกลและลักษณะของพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ที่อัตราส่วน 50/50 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผสม คือ ความเร็วในการปั่นกววน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ โดยเมื่อใช้ความเร็วรอบในการปั่นกววนมากขึ้น อุณหภูมิผสมสูงขึ้นและเวลาในการผสมที่นานขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลและการผสมดีขึ้น

ในปี พ.ศ. 2542 A.O.Baranov และคณะ [13] ได้ศึกษาการกระจายตัวของยางในเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์โดยทดลองใช้ยางไนไตรล์หรือยางเอทิลีน-พโรพิลีนกระจายตัวในไนลอน-6 และพอลิพรอพิลีนพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัว ได้แก่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิว อัตราส่วนความหนืดของการกระจายตัวและการกระจายของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสารที่เป็นวัฏภาคหลักโดยการกระจายตัวที่ดีของยางไนลอน - 6 เกิดเมื่อค่าความหนืดของสารเริ่มต้นที่นำมาผสมมีค่าใกล้เคียงกัน

ในปี พ.ศ. 2542 R.P.Singh และคณะ [14] ได้ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แสงและความเสถียรของสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (SBS) เมื่อต่อกึ่งด้วย 2,6 - บิวทิล - 4 - เมทิลฟีนอล (BHT) 2 - (2 - ไฮดรอกซี - 5 - เมทิลฟีนิล) เบนโซโซโทรอะโซล (Tinuvin P) ทริสโนนิลฟีนิลฟอสไฟต์ (Irgafos TNPP) หรือ 1,2,2,6,6 - เพนตะเมทิลไพเพอร์ลิไดนิล - 4 - อะคริเลท(PMPA) ลงบนผิวฟิล์ม SBS แล้วนำไปฉายแสงอุลตราไวโอเลต (UV) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแล้วศึกษาปริมาณไฮดรอกซิลและคาร์บอนิลที่เกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่าเมื่อต่อกึ่งด้วย PMPA 0.3 phr ลงบนผิว SBS ให้ปริมาณไฮดรอกซิล/คาร์บอนิลน้อยที่สุดเมื่อต่อกึ่งด้วย BHT และ Irgafos TNPP ไม่ช่วยป้องกันแสง UV เพราะสารทั้งสองตัวนี้เป็นเพียงสารช่วยเพิ่มเสถียรภาพขณะผ่านกระบวนการ (process stabilizer) เมื่อใช้ Tinuvin P สามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ SBS ได้แต่มีประสิทธิภาบน้อยกว่า PMPA

ในปี พ.ศ. 2543 M.Hua Zhou และคณะ [15] ได้ศึกษาการนำสเตียริลเมทาอะครายเลท (SMA) และไคไวนิลเบนซีน (DVB) ต่อกึ่งลงในยางธรรมชาติ (NR) โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BPO) เป็นตัวริเริ่มในสารละลายโทลูอีนหรือคลอโรฟอร์มพบว่าได้ค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) และอุณหภูมิในการสลายตัวที่สูงขึ้น อัตราการต่อกึ่งและการเชื่อมโยงของ SMA และ DVB เกิดได้ดีเมื่ออัตราส่วน โมลของ SMA รวมกับ DVB : BPO เป็น 4 : 2 phr โดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

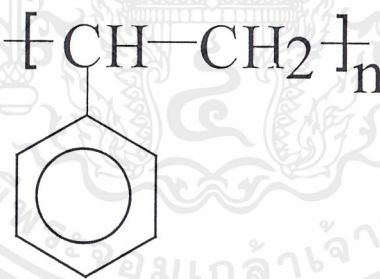
ในปี พ.ศ. 2543 T.G.Vladkova และคณะ [16] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนโดยการผสมยางไนไตรล์ลงในพอลิสไตรีนพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น 5-8 เท่า ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 25 - 30 เปอร์เซ็นต์และการยึดติดกับวัสดุที่มีผิวสามารถยึดติดได้ดีขึ้น

ในปี พ.ศ. 2543 J.R.Kim และคณะ [17] ได้ศึกษาการไหลของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิสไตรีนอะคริโลไนไตรล์ (SAN) ซึ่งเป็นวัฏภาคหลักกับพอลิสไตรีนซึ่งเป็นวัฏภาคกระจายตัวโดยมีพอลิเมอร์ร่วมสไตรีนเมทิลเมทาอะคริเลท (PS - PMMA) เป็นสารช่วยกระจายตัวจากการศึกษาพบว่าการกระจายตัวเกิดได้ดีเมื่อการบวมตัวของวัฏภาคหลัก ( $S_{out}$ ) เทียบกับวัฏภาคกระจายตัว ( $S_{in}$ ) มีค่า  $0.4 \leq S_{out}/S_{in} \leq 2.5$  และมีการบวมตัวที่สมดุลระหว่างส่วนด้านในและด้านนอกของตัวพอลิเมอร์

ในปี พ.ศ. 2543 A.Klasek และคณะ [18] ได้ศึกษาการใช้ไดโนโตรไดเอมีนและไดโนโตรไดเอไมด์ปรับปรุงสมบัติของยางคอมปาวด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางบิวทาไดอีนที่ผ่านการเชื่อมโยงพบว่าไดโนโตรไดเอมีนช่วยลดการกระดอน ส่วนไดโนโตรไดเอไมด์ไม่ช่วยเพิ่มสมบัติไดนามิกส์แต่ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลและช่วยป้องกันการขาด

## 2.2 พอลิสไตรีน (PS)

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็น โซ่ตรงอสัณฐานดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของพอลิสไตรีน [19]

ในพ.ศ.2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดย บริษัท คาว์เคมี จำกัด และ บริษัท ฟาร์เมน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้ [19]

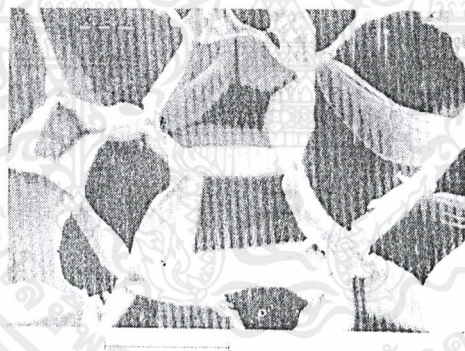
1. มีความแข็ง ใสและเปราะ
2. ไม่ดูดความชื้น
3. ไม่นำไฟฟ้า
4. เชื้อต่อสารเคมี
5. มีความทนทานต่อกรด ด่าง ฮาโลเจน ตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีความทนทานต่อความร้อนได้ไม่ดีเพราะอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) อยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียสจึงเกิดการย่อยสลายได้หากถูกความร้อน
7. มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 - 200,000
8. ทนทานต่อแรงดึงได้ดี
9. มีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.05 - 1.07 g/cm<sup>3</sup>
10. ละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติก
11. สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ

### 2.2.1 โฟมพอลิสไตรีน (polystyrene foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานมักนำไปทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์และนำไปทำเป็นโฟมกันการกระแทกซึ่งทำได้โดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทนจากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่าแล้วอัดเข้าไปในเบ้าให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หรืออาจทำให้เกิดเป็นเซลล์โดยนำพอลิสไตรีนมาเติมสารที่ทำให้พองตัว (blowing agent) แล้วใส่ในแบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการจากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซออกมาเกิดเป็นโฟมพอลิสไตรีน [20] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สันฐานวิทยาของโฟมพอลิสไตรีน [21]

โฟมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. พวกที่เร่งด้วยผงฟูทำให้เกิดโฟมได้ เช่น พอลิสไตรีน (PS)
2. พวกที่หลอมแล้วทำให้ฟู เช่น พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)
3. พวกที่เริ่มต้นหลอมเหลวเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดเป็นโฟม เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF)

### 2.2.2 พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS)

ช่วงเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ผลิตพอลิโอสไตรีนมาก หลังจากสงครามสงบพอลิโอสไตรีนมีมากเกินความต้องการจึงมีการคิดนำไปใช้ในด้านอื่นๆเพราะมีสมบัติเด่นหลายอย่าง เช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่พอลิโอสไตรีนมีข้อเสียคือเปราะและมีความทนต่อแรงกระแทกต่ำจึงมีการพัฒนาและปรับปรุง พอลิโอสไตรีนให้มีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้นโดยเติมยางบิวทาไดโอสไตรีนลงในพอลิโอสไตรีนเรียกว่าพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งผลิตเป็นครั้งแรกโดยบริษัท ดาวน์เคมี จำกัด และบริษัท ฟาร์เบน จำกัด สมบัติเชิงกลของพอลิโอสไตรีนและพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของพอลิโอสไตรีนและพอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก [4]

สมบัติ	หน่วย	พอลิโอสไตรีน	พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
ความแข็งแรงดึง	GN/m <sup>2</sup>	3.5	1.6
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	MN/m <sup>2</sup>	-	17.15
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก	%	-	2
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	MN/m <sup>2</sup>	54	21
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	%	2.1	40
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm <sup>2</sup>	1.0	4.5
อุณหภูมิที่เกิดการเสียรูป	°C	100	96
การส่งผ่านของแสง	-	ใส	ทึบแสง

พอลิโอสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากมีความใส แต่เมื่อมีความหนามากจะทึบแสง การนำไปใช้งานจึงมักใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น [22]

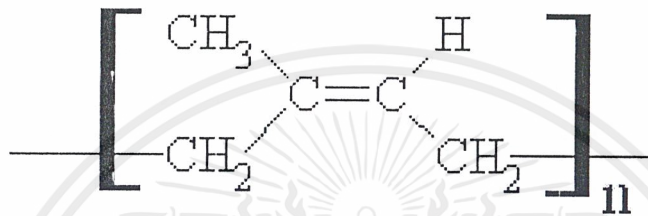
### 2.3 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นส่วนผสมหลักในสูตรผสมยางทั่วไป ผลิตได้จากการกรีดต้นยางให้น้ำยางไหลออกมารวมกันในภาชนะรองรับ น้ำยางธรรมชาติมีเป็นของเหลวสีขาวโดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ ออกประกอบทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน 35 เปอร์เซ็นต์
- สารประกอบเคมีที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมันและเกลือแร่ 5 เปอร์เซ็นต์
- น้ำ 60 เปอร์เซ็นต์

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) ที่ซ้ำๆกันมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์โดยโครงสร้างมีพันธะคู่จัดตัวเป็นแบบซิส มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 50,000 - 3,000,000 ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างของหน่วยไอโซพรีน [23]

สมบัติที่สำคัญของยางธรรมชาติได้แก่

1. มีค่าความแข็งแรงของยางดิบสูง (green strength)
2. มีสมบัติเชิงกลที่ดีภายใต้แรงดึง
3. มีความยืดหยุ่นสูง
4. ไม่ทนทานต่อแรงเฉือน
5. ไม่ทนทานต่อโอโซนและออกซิเจนเนื่องจากมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง

ในสายโซ่พอลิเมอร์ของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่ทำให้ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นและมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วต่ำทำให้มีสมบัติในการกระดอนสูงแต่มีสมบัติการคืบต่ำ การทำให้คงรูปสามารถทำได้ง่ายโดยใช้ซัลเฟอร์ ยางธรรมชาติมีสมบัติตกผลึกได้เมื่อได้รับแรงดึง (strain crystalline) เนื่องจากมีพันธะคู่ในโมเลกุลและมีการจัดเรียงตัวแบบซิส (cis-conformation) ซึ่งเป็นการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงโมเลกุลของยางธรรมชาติจะเคลื่อนเข้ามาชิดกันง่ายและใกล้กันมากขึ้นทำให้เกิดตกผลึก

การผสมยางธรรมชาติเพื่อใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นต้องมีการผสมยางชนิดอื่นๆ และสารเคมีเพื่อเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติที่บกพร่องเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีสมบัติที่สม่ำเสมอ โดยต้องทำให้วัฏภาคของยางและสารเคมีที่เติมเข้าไปมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

ในการผสมสูตรยางต้องทำให้สารเคมีต่างๆที่ใช้ในการผสมเกิดการกระจายตัว โดยการทำให้อนุภาคต่างๆเกิดการกระจายตัวแบบสุ่มแต่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของอนุภาค ยางธรรมชาติอาจเกิดการไหลในทิศทางของแรงเฉือนซึ่งทำให้ขนาดของอนุภาคต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากกระบวนการผสม การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของส่วนประกอบต่างๆเนื่องมาจากกระบวนการผสมมีดังต่อไปนี้ [24]

### 1. การแบ่งย่อย (subdivision)

การแบ่งย่อยเป็นการแบ่งย่อยกลุ่มก้อนของยางให้เล็กลงโดยอัดและดันยางธรรมชาติให้เข้าไปอยู่ในโรเตอร์และระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องผสม

### 2. การรวมตัว (incorporation)

การรวมตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการแบ่งย่อยกลุ่มก้อนของยางโดยส่วนประกอบของสารเคมีสัมผัสกับผิวภาคของยางซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืดของแต่ละภาค เช่น ยางบิวทาไดอีนมีความหนืดกว่ายางธรรมชาติ การรวมตัวนี้เกิดได้ดีกับผิวภาคของยางบิวทาไดอีนจนเต็มความสามารถที่รับได้หรือเริ่มมีความหนืดใกล้เคียงกันกับผิวภาคของยางธรรมชาติ การรวมตัวนี้เกิดขึ้นเมื่อยางเข้าไปล้อมรอบอนุภาคของสารเคมีเกิดเป็นกลุ่มก้อนอนุภาคยางกับสารเคมี (bound rubber) ถ้าในกรณีที่การรวมตัวไม่เกิดขึ้นส่วนผสมจะกลิ้งไปมาในห้องผสมทำให้การผสมไม่เกิดขึ้น

### 3. การกระจายตัว (dispersion)

ก้อนอนุภาคยางกับสารเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นการรวมตัวเกิดการแตกย่อยลงจนมีขนาดที่เหมาะสมแล้วค่อยๆกระจายเข้าไปในยางแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับความสามารถของการกระจายตัวจัดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและมีชื่อเรียกเฉพาะว่า การผสมด้วยความเร็วรอบสูง (intensive mixing)

### 4. การผสมอย่างง่าย (simple mixing)

เป็นการเคลื่อนตัวของอนุภาคจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างเพื่อเพิ่มการกระจายตัวแบบสุ่มหรือเอนโทรปีเหมือนกับการผสมสารปกติ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการผสมแบบเอ็กซ์เทนซีฟ (extensive mixing)

### 5. การลดความหนืด (plasticization or viscosity reduction)

หลังจากสารเคมีกระจายตัวเข้าไปในเนื้อยางอย่างทั่วถึงแล้วหากยังดำเนินการผสมต่อไปความหนืดและความยืดหยุ่นของยางผสมจะลดลงเนื่องจากเกิดการแตกตัวของโมเลกุลยาง

การเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอนอาจเกิดคาบเกี่ยวกัน โดยในขั้นตอนแรกที่เกิดการแบ่งย่อยอนุภาคบางส่วนเกิดการแบ่งย่อยแล้วอาจเข้าสู่ขั้นการรวมตัวได้ โดยที่ขั้นการแบ่งย่อยยังเกิดไม่สมบูรณ์ส่วนในขั้นตอนอื่น ๆ มีลักษณะเดียวกัน โดยอย่างที่ได้อาจการผสมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมาย เช่น ยางรถยนต์และถุงมือยาง เป็นต้น

## 2.4 ถุงมือยาง

กระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอาศัยความร้อนจากแม่แบบ (former) โดยนำแม่แบบจุ่มลงในน้ำยางเพื่อขึ้นรูปให้ได้ตามความต้องการเรียกกระบวนการขึ้นรูปนี้ว่า กระบวนการจุ่ม (dipping process) โดยน้ำยางที่ใช้ขึ้นรูปเป็นยางธรรมชาติหรือน้ำยางสังเคราะห์ ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ [25, 26] โดยทั่วไปมีการใช้น้ำยางในการผลิตถุงมือยางด้วยกันหลายประเภทซึ่งถุงมือยางแต่ละชนิดจะมีสูตรในการผสมที่ต่างกัน ดังตัวอย่างแสดงส่วนประกอบและน้ำหนักที่ใช้ผลิตถุงมือยางที่ใช้ในงานทั่วไปในตารางที่ 2.2 และส่วนประกอบและน้ำหนักที่ใช้ผลิตถุงยางอนามัยในตารางที่ 2.3 เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและน้ำหนักสารเคมีที่ใช้ผลิตถุงมือยางที่ใช้ในงานทั่วไป [27]

ส่วนประกอบ		น้ำหนักที่ใช้
1	น้ำยางชั้น 60 เปอร์เซนต์	167
2	สารละลายโพแทสเซียมโอโรเทท 20 เปอร์เซนต์	4
3	สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซนต์	5
4	ซัลเฟอร์ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	2.5-3
5	ZDEC ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	1.5
6	ZBDT ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	0.5
7	สารป้องกันการออกซิเดชัน 50 เปอร์เซนต์	2
8	ซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	2.5
9	น้ำมันอีมีลชัน 50 เปอร์เซนต์	10
10	น้ำบริสุทธิ์	ในปริมาณที่เปลี่ยน
รวม		TSC เป็น 40 % 195

โดยใช้เวลาในการเชื่อมโยง 15 - 30 นาทีที่อุณหภูมิ 70 - 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบและน้ำหนักสารเคมีที่ใช้ผลิตถุงยางอนามัย [27]

ส่วนประกอบ		น้ำหนักที่ใช้
1	น้ำยางข้น 60 เปอร์เซนต์	167
2	สารละลายโพแทสเซียมโอรีเอท 20 เปอร์เซนต์	2
3	สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซนต์	5
4	ซัลเฟอร์ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	2.5
5	ZDC ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	1.5
6	ZMBT ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	0.5
7	WSL อิมัลชัน 30 เปอร์เซนต์	2
8	ซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัว 50 เปอร์เซนต์	2
9	สารละลายสี 25 เปอร์เซนต์	0.4
รวม		182.9

โดยใช้เวลาในการเชื่อมโยง 15 - 30 นาทีที่อุณหภูมิ 70 - 100 องศาเซลเซียส

ถุงมือที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตมาจากน้ำยางซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ [28]

1. น้ำยางข้น (high ammonia latex)
2. สารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizer)
3. สี (white pigment)
4. สารทำให้เกิดการเชื่อมโยง (sulfur)
5. สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant)
6. สารกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา (activator)
7. สารเร่งให้เกิดปฏิกิริยา (accelerator) ประกอบไปด้วย
  - ก. ซิงค์ซอลต์ของกรดไดไทโอคาร์บามิก (zinc salt of dithiocarbamic acid)
  - ข. ไทอะโซล (thiazole, zinc salt)

ถุงมือยางที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถระบุปริมาณและส่วนประกอบที่แน่นอนได้ เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่เป็นความลับของทางบริษัท แอนเชลล์ ประเทศไทย จำกัด สมบัติและลักษณะของถุงมือยางที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ถุงมือยางที่นำมาใช้นี้ได้รับการให้ความร้อนจนสุกตัวในระหว่างกระบวนการการขึ้นรูประดับหนึ่งแล้ว
2. ถุงมือยางที่ใช้นี้เป็นถุงมือที่ผ่านกระบวนการดับเบ็ดคลอรีนชัน (DC glove) คือ มีการเคลือบคลอรีนที่ผิวของถุงมืออย่างทั้งด้านนอกและด้านในจึงทำให้มีสีเหลืองอ่อนและจะมีสีเหลืองเข้มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของถุงมืออย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้สมบัติของถุงมือลดลงตามเวลาไปบ้างเล็กน้อย
3. ถุงมือมีความเหนียวทนทานต่อการฉีกขาด แรงดึงและมีความยืดหยุ่นสูง
4. ถุงมือมีความทนทานต่อสารเคมีและแรงเสียดทานทำให้ง่ายต่อการยึดจับ
5. ถุงมือที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นถุงมือชนิดปราศจากฝุ่น (powder – free examination glove)

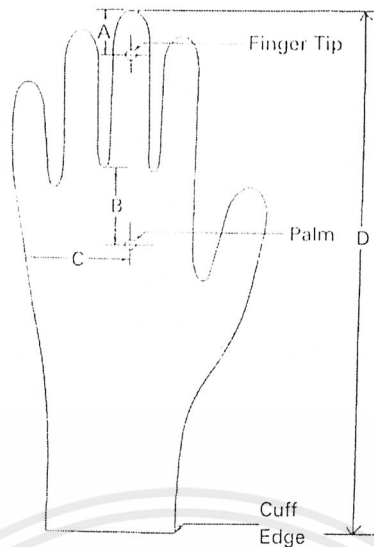
ถุงมือยางที่นำมาใช้ทำพอลิเมอร์ผสมนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบแล้วไม่ผ่านมาตรฐานการนำไปใช้งานจำเป็นต้องกำจัดทิ้งซึ่งเป็นการสูญเสียทรัพยากรเป็นอย่างมาก สมบัติที่ต้องทดสอบก่อนนำไปจำหน่ายเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 3578 – 00 ดังนี้ [29]

1. ทดสอบความปลอดภัยของถุงมือ (sterility test)
2. ทดสอบหารูในถุงมือ (freedom from hole)
3. ทดสอบขนาดผลิตภัณฑ์
4. ทดสอบหาปริมาณโปรตีน (protein content)
5. ทดสอบความแข็งแรงและการยืดออก ณ จุดขาด (tensile strength and elongation at break)
6. ทดสอบหาปริมาณสารปนเปื้อน
7. ทดสอบหาปริมาณยางที่ใช้ต่อพื้นที่

ถุงมือยางที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดโดยประมาณดังนี้ (รูปที่ 2.4)

ความหนา	0.08	มิลลิเมตร
ระยะความยาวช่วงปลายนิ้ว (A)	13	มิลลิเมตร
ระยะความยาวช่วงโคนนิ้วมือถึงอุ้งมือ (B)	33	มิลลิเมตร
ระยะความยาวช่วงข้อมถึงอุ้งมือ (C)	48	มิลลิเมตร
ระยะความยาวช่วงตั้งแต่ปลายนิ้วจนถึงปลายข้อมือ (D)	220	มิลลิเมตร

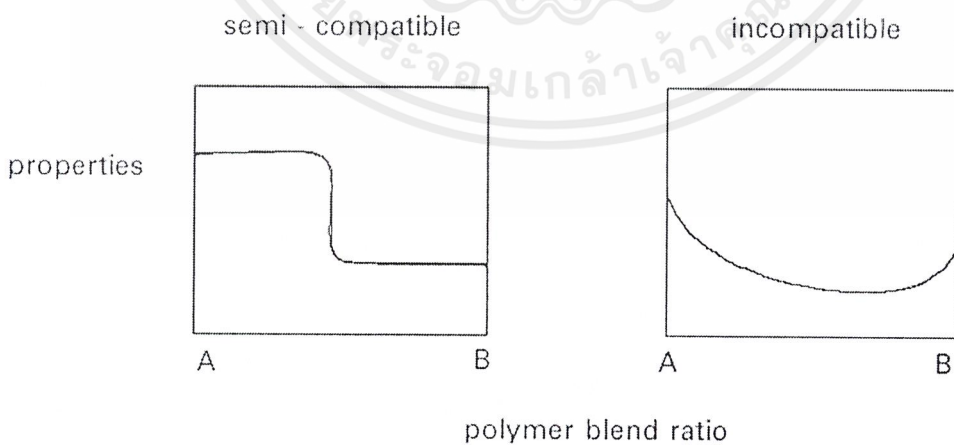
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะของถุงมือยางที่นำมาใช้ในงานวิจัย [29]

## 2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

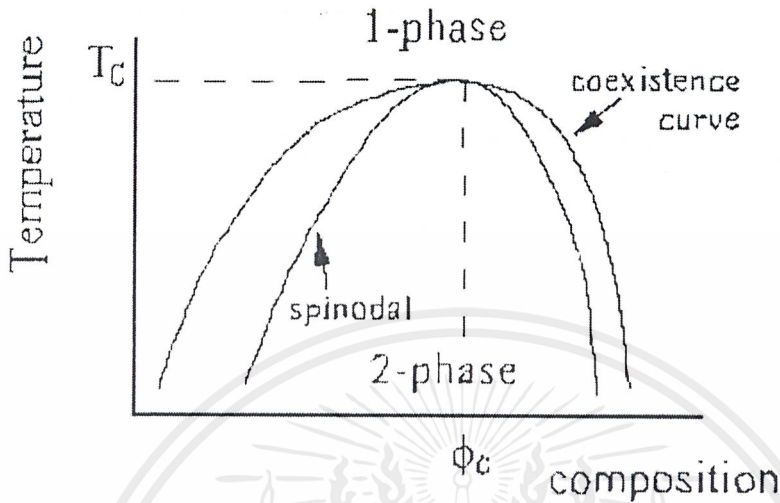
พอลิเมอร์ผสม [30] หมายถึง พอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วมที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดมาผสมกันทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆกัน ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วมที่ผสมกันแล้วสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (miscible) ซึ่งทำให้สมบัติดีขึ้นหรือไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible) ซึ่งสมบัติที่ได้มีค่าลดลงแต่สามารถปรับปรุงความเข้ากันได้โดยการเติมสารช่วยผสม (compatibilizer) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์กับสมบัติพอลิเมอร์ผสมที่ได้ [31]

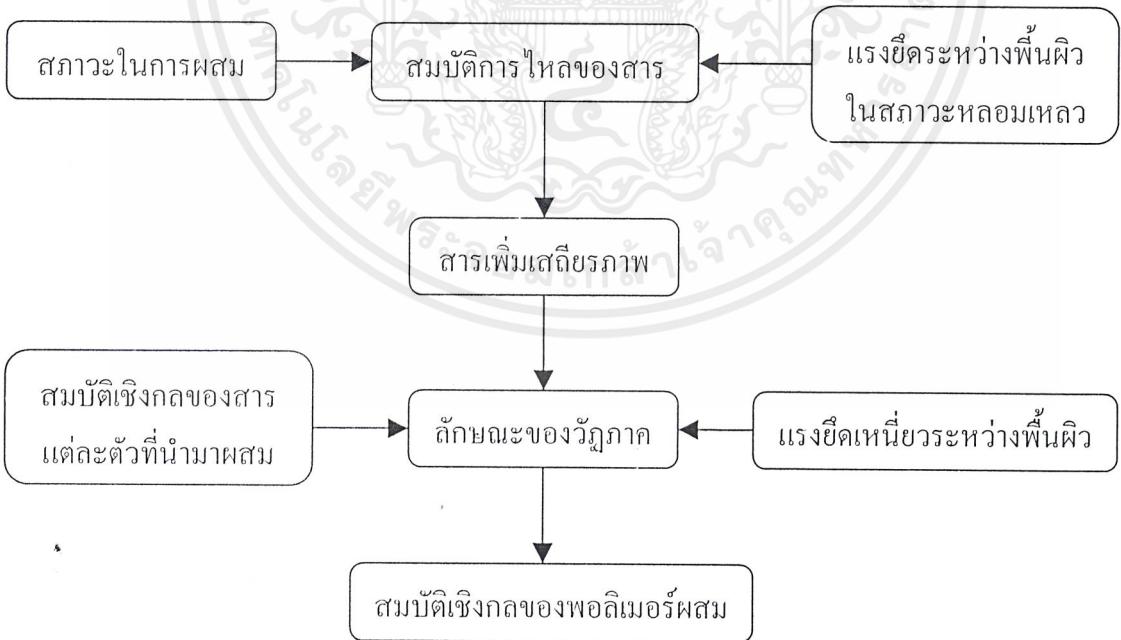
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ผสมที่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพอลิเมอร์อัลลอยด์ (polymer alloy) พอลิเมอร์ผสมบางชนิดไม่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้ซึ่งปรากฏเป็นพอลิเมอร์ที่มีหลายวัฏภาคให้เห็น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม [32]

พอลิเมอร์ผสมและพอลิอัลลอยด์เกิดจากการนำพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ร่วมมาผสมกันโดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้สรุปเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 วัตถุประสงค์ของการผสมพอลิเมอร์ [33]

1. เพื่อพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ให้มีสมบัติตรงตามความต้องการ โดยไม่ต้องคิดค้นวิธีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่
2. เพื่อเพิ่มราคาของวัสดุที่มีราคาถูกให้มีราคาแพงขึ้น
3. เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบให้ตรงความต้องการของลูกค้า
4. เพื่อนำเศษพลาสติกหรือพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

### 2.5.2 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม [34]

#### 2.5.2.1 พอลิเมอร์ผสมแบ่งตามฐานวิทยาศาสตร์ได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (miscible blend)

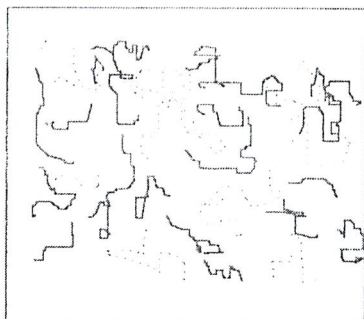
พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีโมเลกุลของพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B อยู่รวมกันมองเห็นเป็นวัฏภาคเดียว โดยที่โมเลกุลของพอลิเมอร์ A มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ B ทำให้เกิดแรงดึงดูดกัน สมบัติของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีลักษณะคล้ายกับพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มซึ่งพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีน้อย เช่น ยางธรรมชาติกับพอลิวิทาไดอิน (รูปที่ 2.8 a)

2. พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมกันเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible blend)

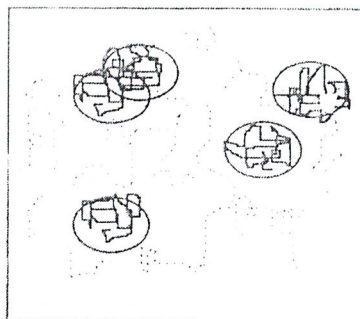
พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้จะแยกออกจากกันเป็น 2 วัฏภาคอย่างเห็นได้ชัด โดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยเป็นวัฏภาคกระจาย พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ เช่น พอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน (รูปที่ 2.8 b)

3. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้บางส่วน (partially miscible)

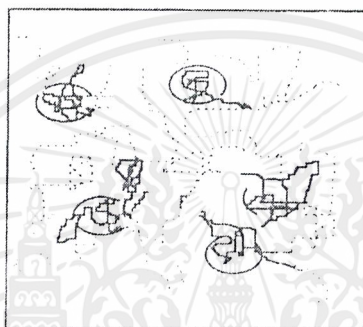
พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้อาจรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งน้อยกว่า ถ้าอัตราส่วนเท่ากันจะแยกออกเป็น 2 วัฏภาค โดยพอลิเมอร์ A อาจเข้าไปแทรกอยู่ในระหว่างผิวหน้าของพอลิเมอร์ B ซึ่งช่วยให้วัฏภาคมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมประเภทนี้มีสมบัติที่ดี เช่น พอลิเอทิลีนกับพอลิไอโซบิวทิลีน (รูปที่ 2.8 c)



(a) miscible



(b) immiscible



(c) partially miscible

รูปที่ 2.8 ลักษณะวิทยาของพอลิเมอร์ผสม [34]

2.5.2.2 พอลิเมอร์ผสมแบ่งตามลักษณะของวิภาคที่นำมาผสมกันสามารถแบ่งได้ตามตารางที่ 2.4 [35]

ตารางที่ 2.4 ชนิดพอลิเมอร์ผสมแบ่งตามลักษณะของวิภาคที่นำมาผสมและสมบัติที่ได้รับการปรับปรุง [35]

วิภาคต่อเนื้อ	วิภาคการกระจาย	ใช้ในการปรับปรุง
แข็ง	อ่อน	เพิ่มความเหนียว
แข็ง	แข็ง	เพิ่มการไหล
อ่อน	อ่อน	เพิ่มระยะเวลาในการใช้งาน
อ่อน	แข็ง	เพิ่มค่ามอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสม

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ [36 , 37]

1. การผสมแบบเชิงกล (mechanical blends) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก พอลิเมอร์ที่ผสมอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดอาจเติมสารช่วยผสมเพื่อป้องกันการแยกของวัฏภาคทำให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีขึ้น นำมาหลอมรวมกันโดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของพอลิเมอร์หรือสถานะและสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว ( $T_m$ ) ของพอลิเมอร์ที่ผลิต ข้อดีของวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายถูกเพราะไม่ต้องใช้ตัวทำละลาย ไม่เสียเวลาในการกำจัดสารละลายและไม่เกิดการปนเปื้อน ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้อุณหภูมิสูงถ้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวังอาจทำให้พอลิเมอร์เสียดสภาพ เปลี่ยนสีและสมบัติเชิงกลลดลง

2. การผสมแบบเชิงเคมีกล (mechanochemical blends) พอลิเมอร์ถูกผสมด้วยแรงเฉือนที่มากพอทำให้พอลิเมอร์เสียดสภาพทำให้เกิดอนุภาคลิขระแล้วจึงผสมรวมกันได้เป็นสารประกอบแบบบล็อกและต่อกิ่ง

3. การผสมแบบสารละลาย (solution blends) พอลิเมอร์ถูกละลายในตัวทำละลายโดยใช้ อุณหภูมิและแรงเฉือนต่ำจากนั้นทำการกำจัดตัวทำละลายออก วิธีนี้ช่วยลดการเสียดสภาพของ พอลิเมอร์เนื่องจากความร้อนและแรงเชิงกลแต่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลายที่ใช้ในการ ตกตะกอนซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

4. การผสมแบบลาเท็กซ์ (latex blends) วิธีนี้อนุภาคเล็กๆของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันเกิดการ แพร่กระจายในน้ำและเกิดการผสมกันจากนั้นจึงจับกันเป็นกลุ่มก้อน

5. การผสมแบบเคมี (chemical blends) แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

- Interpenetrating polymer networks (IPN) พอลิเมอร์ที่มีพันธะเชื่อม โยงเกิดการรวมกับ มอนอเมอร์ต่างชนิดกัน โดยที่มอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อม โยงแบบ สอดประสานกับพอลิเมอร์เชื่อม โยงที่มีอยู่เดิม
- Simultaneous interpenetrating polymer networks (SIN) มอนอเมอร์ต่างชนิดเกิดการผสมกัน จากนั้นเกิด โยพอลิเมอร์โซ่และเกิดการเชื่อม โยงแต่ไม่เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ ต่างชนิดกัน
- Semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPN) มอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันถูกผสม กับเทอร์โมพลาสติกจากนั้นมอนอเมอร์เกิดการพอลิเมอร์โซ่ได้เป็นพอลิเมอร์เชื่อม โยง
- Interpenetrating elastomeric networks (IEN) คือพอลิลาเท็กซ์ที่เกิดการเชื่อม โยงหลังจากเกิด การจับเป็นกลุ่มก้อน

## 2.6 ความสามารถในการผสมเข้ากันได้ (compatibility)

ความสามารถในการผสมเข้ากันได้ หมายถึง ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยสมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่มาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวมกัน ในปัจจุบันได้มีความสนใจที่จะพัฒนาพอลิเมอร์ผสมกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความยุ่งยากในการผลิตพอลิเมอร์ชนิดใหม่ตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานเฉพาะทาง ดังนั้นจึงมีการนำพอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดมาผสมกันและจากการศึกษาสมบัติต่างๆพบว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่มีการเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคที่ไม่ดีเพราะพอลิเมอร์ผสมเหล่านั้นไม่สามารถผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวได้ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ [38]

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

เมื่อ  $\Delta G$  = พลังงานอิสระในการผสมของกิบส์

$\Delta H$  = เอนทาลปี

$\Delta S$  = เอนโทรปี

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์

โมเลกุลของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็น โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่มากและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงทำให้มีค่าเอนโทรปีต่ำ ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทาลปีเพียงอย่างเดียวโดยปกติค่าเอนทาลปีมักมีค่าเป็นบวกจึงทำให้ค่าพลังงานอิสระในการผสมของกิบส์ของพอลิเมอร์มีค่ามากกว่าศูนย์เป็นผลให้พอลิเมอร์ไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์หลัก (continuous phase) ที่มีพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ภายใน (disperse phase) โดยแยกกันอยู่อย่างชัดเจน ขนาดของวัฏภาคที่กระจายตัว รูปร่างและปริมาณการกระจายตัวขึ้นอยู่กับสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลักและพอลิเมอร์กระจายตัวโดยถ้าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมีความหนืดใกล้เคียงกันมีผลทำให้วัฏภาคกระจายเกิดการกระจายตัวที่ดีและมีขนาดเล็ก

เมื่อมีปัญหาความบกพร่องของการยึดติดระหว่างวัฏภาคจึงได้มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม โดยวิธีปรับปรุงให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีสมบัติตามความต้องการซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ [39 , 40]

1. เติมสารช่วยผสม (compatibiliser) ลงในพอลิเมอร์ผสมเพื่อทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างวัฏภาคทำให้มีการเกี่ยวพันหรือเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัฏภาคทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

อีกทั้งช่วยในการควบคุมขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ที่กระจายตัว (dispersed phase) ทำให้มีพื้นฐานวิทยาศาสตร์ที่เสถียรขณะทำการขึ้นรูป สารช่วยผสมแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- ก. สารช่วยผสมที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม ส่วนใหญ่เป็นสารเคมี เช่น เปอร์ออกไซด์ มาลิกแอนไฮไดรด์ กรดฟูมาริกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี
- ข. สารช่วยผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม มักเป็นพอลิเมอร์ร่วมของพอลิเมอร์หลักและพอลิเมอร์กระจายตัวโดยมีการจัดตัวในลักษณะต่างๆ เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก แบบส้อมหรือแบบคอกิ่งซึ่งจะไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำหน้าที่คล้ายเป็นสะพานเชื่อมระหว่างวัฏภาคเพิ่มแรงยึดติดของทั้งสองวัฏภาคเข้าด้วยกัน เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบโพลีบล็อก ไตรบล็อก จากการศึกษพบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบโพลีบล็อกให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า
- ค. สารช่วยผสมที่มีทั้งส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยาและไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ผสม เช่น พอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิดีนกับเอทีดีนที่เติมลงไปช่วยผสมในพอลิโอดีฟิน

2. ปรับเปลี่ยนกระบวนการและสภาวะในการผสม โดยหากระบวนการผสมที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดซึ่งอาจเป็นการผสมโดยใช้การบดผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งหรือเครื่องอัครัด สภาวะที่เหมาะสมโดยอาจปรับเปลี่ยนเวลา ลำดับในการผสมและอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ผสม เป็นต้น

สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงหลังจากนำพอลิเมอร์มาผสมกัน ได้แก่

### 1. เพื่อเพิ่มสมบัติด้านการไหลเมื่อหลอมตัว

การผสมพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงการไหลเมื่อพอลิเมอร์หลอมตัวโดยเพิ่มช่วงการหลอมตัวและความยืดหยุ่น สำหรับพอลิเมอร์ที่ต้องขึ้นรูปด้วยการเป่า (blow molding) และขึ้นรูปด้วยความร้อน (thermoforming) เช่น การเติมอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีนลงในยางพอลิยูรีเทนเพื่อลดความยืดหยุ่นและทำให้การไหลของพอลิเมอร์สม่ำเสมอ

### 2. เพื่อเพิ่มค่ามอดูลัส

การเติมพลาสติกบางชนิดลงในอีลาสโตเมอร์ทำให้ยางมีความเหนียวมากขึ้น เช่น การเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงไปยางอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เพื่อลดค่ามอดูลัส

ทำได้ด้วยการเติมอิลาสโตเมอร์ลงในพลาสติกโดยที่อิลาสโตเมอร์ทำหน้าที่คล้ายสารช่วยปรับสภาพพลาสติก (plasticizers) แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าและมีความคงทนถาวรมากกว่า เช่น การเติมคลอรีนเตตพอลิเอทิลีนลงในพอลิไวนิลคลอไรด์

### 4. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

การเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงในยางไนไตรล์ได้เป็นพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่มีความแข็งแรง การเติมพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน-บิวทาไดอีนหรือเรซินฟีนอลิกลงในยางในระหว่างการผสมช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียวซึ่งเป็นการเสริมแรงให้กับยาง ถ้าเติมอะคริลิกแบบโครงร่างแหชนิดสอดประสาน (interpenetrating of acrylic) ลงในพอลิเอสเทอร์และพอลิยูรีเทนช่วยเพิ่มความแข็งแรง

### 5. เพื่อช่วยในการหล่อขึ้น

โดยสามารถเพิ่มความสามารถในการหล่อขึ้นให้กับพลาสติกประเภทวิศวกรรมเพื่อใช้ทำเกียร์และฝาประกบเพลลาโดยการเติมผงพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีนประมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักลงในอะซิทัลหรือพอลิคาร์บอเนตหรือไนลอน 66

### 6. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ

พอลิพรอพิลีนถูกปรับปรุงให้สามารถทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้โดยใช้ยางบิวทิลหรือเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์โมนอเมอร์

### 7. เพื่อหน่วงการติดไฟ

โดยการเติมพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการติดไฟมากกว่าลงไป เช่น การเติมคลอรีนเตตพอลิเอทิลีนลงในพอลิเอทิลีน

### 8. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก

การเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกสามารถทำได้ด้วยการเติมพอลิเมอร์ออสถุณฐานซึ่งทำหน้าที่รับแรงกระแทก

### 9. เพื่อช่วยเพิ่มความใส

โดยการเติมพอลิเมอร์ประเภทอะคริลิก เช่น พอลิเมทิลเมทาอะคริเลทลงในพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์เพื่อลดความเป็นผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

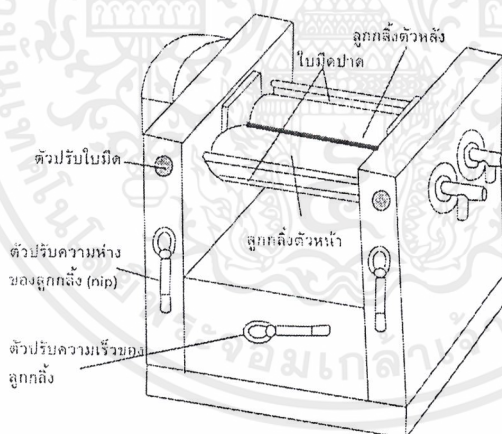
## 2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 2.7.1 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง [41]

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งใช้ได้ทั้งการผสมสารเคมีกับยางและพลาสติกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ทำการบดและผสมของผสมที่แห้งเข้าด้วยกัน
2. เพื่อวิจัยและพัฒนาในห้องทดลองอันจะนำไปสู่การใช้ในปริมาณที่มากขึ้น
3. อุตสาหกรรมขนาดย่อมใช้ในการขึ้นรูปเป็นแผ่นหรือเส้นเพื่อทำเป็นเม็ด

ในกรณีของพลาสติกนิยมใช้ในการเตรียมคอมพาวด์ของพอลิไวนิลคลอไรด์ ลูกกลิ้งของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งทำจากเหล็กกล้าหล่อที่ผ่านการเคลือบผิวหรือชุบโครเมียมให้ความแข็งแรงและลื่น ขนาดของเครื่องผสมชนิดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของลูกกลิ้ง ในกรณีเครื่องที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีความยาวตั้งแต่ 15 เซนติเมตรส่วนเครื่องที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีความยาวมากกว่า 2 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นตามความยาว ลักษณะของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง [41]

ส่วนประกอบหลักของเครื่องประกอบไปด้วยลูกกลิ้งสองตัวที่หมุนสวนทางกัน โดยลูกกลิ้งถูกติดตั้งรวมกับส่วนของมอเตอร์และเกียร์และสามารถปรับความเร็วของการหมุน โดยทั่วไปความเร็วของลูกกลิ้งที่มีขนาดเล็กหมุนด้วยอัตราเร็วที่เร็วกว่าลูกกลิ้งที่มีขนาดใหญ่เสมอ โดยลูกกลิ้งตัวหลังเป็นตัวบังคับการขับเคลื่อนจึงมีความเร็วสูงกว่าลูกกลิ้งตัวหน้าแต่ความเร็วดังกล่าวต้องมีไม่มากเกินไปกว่า 1.4 เท่าของความเร็วของลูกกลิ้งตัวหน้า การที่ลูกกลิ้งหมุนเข้าหากันช่วยบังคับให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์เข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้สะดวกขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะเกิดแรงเสียดทานและเกิดการผสมเข้ากัน โดยมีแกนกลางของลูกกลิ้งเป็นตัวรับความร้อนซึ่งความร้อนได้มาจากชุดให้ความร้อนซึ่งอาจเป็นตัวให้ความร้อนไฟฟ้าหรือให้ความร้อนโดยการไหลหมุนเวียนของน้ำหรือน้ำมันร้อนผ่านภายในลูกกลิ้งและมีสารหล่อเย็นเป็นน้ำ ไอน้ำหรือน้ำมัน โดยอาจมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ใบมีดปาด เป็นต้น

ขณะทำการผสมพอลิเมอร์ซึ่งอยู่ในรูปเม็ดหรือผงจะถูกป้อนเข้าสู่บริเวณเหนือช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งโดยมีการปรับช่องว่างให้แคบเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดแรงเสียดทานและผสมกัน ได้ดีในระยะแรกจนถึงอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มหลอมจึงปรับช่องว่างให้มีความกว้างเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอลิเมอร์สามารถผ่านลงไปตามลูกกลิ้งได้มากขึ้นจากนั้นผู้ทำการผสมต้องใช้เกรียงตัดหรือกรีดของผสมให้กระจายตัวเข้ากัน ได้ดีขึ้น

ข้อดีของเครื่องผสมชนิดนี้ คือ

1. สามารถมองเห็นลักษณะและระดับการผสมเข้ากันของสารเคมีกับพลาสติกได้
2. มีความสะดวกในการทำความสะดวกเครื่องผสม
3. สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้กล่าวคือผสม ได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ได้
4. การผสมแบบนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปต่อโดยเทคนิคบางเทคนิค เช่น การอัดร้อนขึ้นรูป (compression molding)

ข้อเสียของการผสมโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง คือ

1. ผู้ผสมต้องมีทักษะในการใช้เครื่องและมีความรู้เรื่องการคอมปาวด์สูง
2. ในกรณีที่ต้องการผสมให้มีปริมาณเท่ากันทำได้ยากมากเนื่องจากอาจมีการสูญเสียสารเคมีบางส่วนในขณะที่ทำการผสม
3. การผสม โดยใช้เครื่องผสมชนิดนี้เป็นแบบเปิดดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนชนิดต่างๆเข้ามาปะปนกับคอมปาวด์และมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอมปาวด์ได้ง่าย
4. การผสมโดยการ ใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งเป็นการผสมที่ทำให้ช้ากว่ากรณีการใช้เครื่องผสมแบบปิด

#### 2.7.2 เครื่องไดนามิกส์เมคานิคอลเทอร์มอลออลนาไลเซอ์ [42]

ไดนามิกส์เมคานิคอลเทอร์มอลออลนาไลซิส (dynamic mechanical thermal analysis, DMTA)

เป็นเทคนิคในการหาค่ามอดูลัสสะสม (storage modulus,  $E'$ ) และมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E”) ที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิเมอร์โดยให้แรงสั่นที่มีความถี่คงที่และให้อุณหภูมิเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับเวลาแล้วดูการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์จากสถานะของแข็ง (glass state) ซึ่งสายโซ่ไม่มีการเคลื่อนที่จึงมีค่ามอดุลัสสะสมสูงและมีค่ามอดุลัสสูญเสียต่ำและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงช่วง viscous state สายโซ่จะเริ่มเคลื่อนที่ได้ทำให้ค่ามอดุลัสสะสมลดลงและค่ามอดุลัสสูญเสียเพิ่มขึ้น ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMTA สามารถนำค่ามอดุลัสสูญเสียมาหารด้วยค่ามอดุลัสสะสมได้เป็นค่า  $\tan \delta$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการกระจายพลังงานของวัสดุและยังนำค่า  $\tan \delta$  มาใช้หาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ได้

### 2.7.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [42]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (scanning electron microscopy, SEM) ใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์โดยเป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam) ในการตรวจวัดโครงสร้างขนาดเล็กของวัสดุทางวิศวกรรมโดยการยิงอิเล็กตรอนเข้าชนพื้นผิวที่มีการนำไฟฟ้าทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอน (back scattering electron หรือ secondary electron) เนื่องจากการชนกับนิวเคลียสหรือเกิดเอ็กซ์เรย์โปรตอนจากการที่อิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่สูงกว่าคายพลังงานเข้าแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดออก ลำแสงอิเล็กตรอนที่ยิงเข้าไปมีพลังงานสูงจึงอาจทำให้สัณฐานวิทยาของพื้นผิวเสียไปบ้าง เช่น เสียมวลบางส่วนหรือเกิดฟองแตกหัก เป็นต้น

การใช้เทคนิคนี้กับพอลิเมอร์ที่ไม่นำไฟฟ้าต้องเคลือบผิวด้วยวัสดุที่นำไฟฟ้า เช่น ทอง โดยใช้เทคนิคการเคลือบผิวแบบสปัตเตอร์ (sputter coating) ความไม่ชัดเจนของผลการทดลองเมื่อสารมีหลายวัฏภาคอาจปรับปรุงโดยการกัดเซาะ (etching) หรือการสกัดเพื่อละลายวัฏภาคหนึ่งออก การแยกวัฏภาคซึ่งจะต้องให้วัฏภาคหนึ่งละลายในตัวทำละลายส่วนอีกวัฏภาคหนึ่งไม่เกิดการละลายทำให้ได้ผิวที่เรียบภาพที่ได้มีความคมชัด

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดบรรจุภัณฑ์พอลิโอสไตรีน (บริษัท ยาคูลย์ ประเทศไทย จำกัด)
2. โฟมพอลิโอสไตรีนกันการกระแทกที่ใช้แล้ว (ไม่ทราบบริษัท)
3. ถูมือยางที่ไม่ได้มาตรฐานจากกระบวนการผลิต (บริษัท แอนเซดล์ ประเทศไทย จำกัด)
4. โอสไตรีนบิวทาไดอิน (ไม่ทราบบริษัท)
5. โอสไตรีนบิวทาไดอินโอสไตรีน (บริษัท เมนส์เมย์เยอร์ ประเทศไทย จำกัด)
6. โอสไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอินโอสไตรีน (บริษัท เมนส์เมย์เยอร์ ประเทศไทย จำกัด)

#### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง (บริษัท AND จำกัด รุ่น HR 200)
2. เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (บริษัท แลบทศเอนจิเนียริง จำกัด รุ่น LRM 200)
3. เครื่องอัดแบบขึ้นรูป (บริษัท แลบทศเอนจิเนียริง จำกัด รุ่น LP 20)
4. เครื่องบดเม็ดพลาสติก (บริษัท บอสโก้เอ็นจิเนียริง จำกัด รุ่น FC 209)
5. เครื่องทดสอบแรงดึง (บริษัท LLOYD จำกัด รุ่น LR 30K)
6. เครื่องวัดความแข็งกด (บริษัท ATS Faar จำกัด รุ่น DIN 53505)
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (บริษัท YASUDA SEIKI SEISAKUSHO รุ่น 258)
8. เครื่องไดนามิกสแตมคานิคคอลเทอร์มอลออลนาไลเซอร์ (บริษัท ยูเนียน แอนด์ เคมีคด จำกัด รุ่น V)
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM บริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM - 5410)

#### 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

##### 3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

3.3.1.1 การศึกษาชนิด อัตราส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการนำพอลิเมอร์กลับมา  
ใช้ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.1.1 ศึกษาหาชนิดของพอลิสไตรีนที่เหมาะสมนำมาใช้ในงานประเภททนต่อแรง กระแทก

1. นำโฟมพอลิสไตรีนกันกระแทกที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสบดผสมจนหลอมเข้ากัน
2. นำถุงมือยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปบดผสมกับโฟมพอลิสไตรีนกันกระแทกบดผสมจนส่วนผสมทั้งสองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกลิ้งปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนชนิดของพอลิสไตรีนที่ใช้ในการผสมเป็นพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนชนิดของพอลิสไตรีนไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.3.1.1.2 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิสไตรีนกับยาง

1. นำพอลิสไตรีนที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสบดผสมจนหลอมเข้ากัน
2. นำยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปบดผสมกับพอลิสไตรีนบดผสมจนส่วนผสมทั้งสองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกลิ้งปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนเป็น 200 กรัมผสมกับยาง 100 กรัม (อัตราส่วน 2 : 1) และพอลิสไตรีน 100 กรัมผสมกับยาง 200 กรัม (อัตราส่วน 1 : 2) ตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.3.1.1.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพอลิสไตรีนกับยาง

1. นำพอลิสไตรีนที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสบดผสมจนเข้ากันได้ดี
2. นำยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปบดผสมกับพอลิสไตรีนที่หลอมบดผสมจนส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมทั้งสองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกิ้ง  
ปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาด  
เล็กลง

3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา  
4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมส่วนผสมทั้งสองให้เข้ากัน โดยเปลี่ยนอุณหภูมิลูกกิ้ง  
หน้าเป็น 160 องศาเซลเซียส ลูกกิ้งหลัง 150 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลูกกิ้งหน้า 170  
องศาเซลเซียส ลูกกิ้งหลัง 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการผสมไปทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 3.3.1.1.4 ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการผสมพอลิสไตรีนกับยาง

1. นำพอลิสไตรีนที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูก  
กิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสผสมจนเข้ากัน  
ได้ดี
2. นำยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปบดผสมกับพอลิสไตรีนที่หลอมบดผสมจนส่วนผสมทั้ง  
สองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกิ้งแล้วปล่อยให้  
เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา  
4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการผสมส่วนผสมทั้งสองให้เข้ากันเป็น 8 และ 10 นาทีตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนเวลาในการผสมทั้งหมดไปทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 3.3.1.2 การศึกษาผลของเวลาในการผสมพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกิ้ง

1. นำพอลิสไตรีนที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูก  
กิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสผสมจนเข้ากัน  
ได้ดี
2. นำยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปบดผสมกับพอลิสไตรีนที่หลอมบดผสมจนส่วนผสมทั้ง  
สองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกิ้งแล้วปล่อยให้  
เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา  
4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ผสมส่วนผสมทั้งสองให้เข้ากันเป็น 12 14 16 18 และ 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ

5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนเวลาในการผสมทั้งหมดไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.3.1.3 การศึกษาความแตกต่างของการใช้พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานกับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ

1. นำพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบที่บดแล้ว 150 กรัมบดผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าไว้ที่ 150 องศาเซลเซียสและลูกกลิ้งหลังที่ 140 องศาเซลเซียสผสมจนเข้ากันได้ดี
2. นำยางที่บดแล้ว 150 กรัมใส่ลงไปในผสมกับพอลิสไตรีนที่หลอมบดผสมจนส่วนผสมทั้งสองเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกลิ้งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนชนิดของพอลิสไตรีนที่ใช้เป็นพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งาน
5. นำชิ้นงานพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.3.1.4 การศึกษาผลของการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสม

1. ใช้ชนิดของพอลิสไตรีน อัตราส่วนผสมและอุณหภูมิในการผสมที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.1
2. เมื่อผสมพอลิสไตรีนกับยางแล้วจากนั้นเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอิน 30 กรัมลงในพอลิเมอร์ผสมบดผสมจนส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันตามเวลาที่ได้จากการทดสอบตอนที่ 3.3.1.1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกลิ้งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนชนิดของสารช่วยผสมที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็นสไตรีนบิวทาไดอินสไตรีนและสไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอินสไตรีนตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนชนิดของสารช่วยผสมทั้งหมดไปทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.5 การศึกษาหาปริมาณการเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เหมาะสมลงในพอลิเมอร์

ผสม

1. ใช้ชนิดของพอลิสไตรีน อัตราส่วนผสมและอุณหภูมิในการผสมที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.1
2. เมื่อผสมพอลิสไตรีนกับยางแล้วจากนั้นเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีน 15 กรัมลงในพอลิเมอร์ผสมบดผสมจนส่วนผสมทั้งหมดรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันตามเวลาที่ได้จากการทดสอบตอนที่ 3.3.1.1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจากลูกกลิ้งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง
3. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนปริมาณของสารช่วยผสมที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเป็น 30 45 60 75 และ 90 กรัมตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนปริมาณสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนทั้งหมดไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.3.1.6 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

1. ใช้ชนิดของพอลิสไตรีน อัตราส่วนผสมและสภาวะในการผสมที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.1 ผสมพอลิเมอร์ผสมโดยเติมสารช่วยผสมปริมาณที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีตามการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.5
2. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผสมเข้ากันแล้วออกจากลูกกลิ้ง ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก
3. นำส่วนผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ในการอัดแบบขึ้นรูปเป็น 150 160 170 180 และ 190 องศาเซลเซียสตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดแบบขึ้นรูปไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.3.1.7 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

1. ใช้ชนิดของพอลิสไตรีน อัตราส่วนผสมและสภาวะในการผสมที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.1 ผสมพอลิเมอร์ผสมโดยเติมสารช่วยผสมปริมาณที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีตามการศึกษาในหัวข้อ 3.3.1.5

2. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผสมเข้ากันแล้วออกจากลูกกลิ้ง ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก
3. นำส่วนผสมที่ผ่านการบดไปอัดแบบขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที
4. ปรับเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการอัดแบบขึ้นรูปเป็น 3 4 5 และ 6 นาทีตามลำดับ
5. นำชิ้นงานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนเวลาในการอัดแบบขึ้นรูปไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.3.2 การทดสอบชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ได้จากตอนที่ 3.3.1.1-3.3.1.7 จะนำมาทดสอบสมบัติต่างๆตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานต่างๆที่ใช้ทดสอบพอลิเมอร์ผสม [43 - 46]

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง (tensile strength)	ASTM D-638	MPa
มอดุลัส (modulus)	ASTM D-638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% elongation at break)	ASTM D-638	%
ความแข็งกด (hardness)	ASTM D-2240	Shore D
ความแข็งแรงกระแทก (impact strength)	ASTM D-256	kJ/m <sup>2</sup>
ความหนาแน่น (density)	ASTM D-1500-85	kg/m <sup>3</sup>

#### 3.3.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลทำโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (tensile tester) ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้ [43]

จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	5	ชิ้นงาน
แรงดึง	5	กิโลนิวตัน (kN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการดึง	25	มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)
อุณหภูมิทดสอบ	25	องศาเซลเซียส

ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดหาได้จากสมการที่ 3.1 – 3.3

1. ค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) หาได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง} = F/A \quad (3.1)$$

2. ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% elongation at break) หาได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด} = (L-L_0) \times 100/L_0 \quad (3.2)$$

3. ค่าความยืดหยุ่นของมอดูลัส (modulus of elasticity) หาได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{ค่าความยืดหยุ่นของมอดูลัส} = \text{ความเค้น/ความเครียด} \quad (3.3)$$

เมื่อ

F = แรงกระทำสูงสุดที่วัดได้ (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ( $\text{mm}^2$ )

L = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (mm)

$L_0$  = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

การทดสอบความแข็งแรงกดทำโดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงกดแบบน้ำหนักกดที่ชนิด shore D ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D 2240 ค่าความแข็งแรงกดอ่านได้โดยตรงจากเครื่อง [44]

จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	5	ชิ้นงาน
กดเป็นเวลา	15	วินาที
อุณหภูมิทดสอบ	25	องศาเซลเซียส

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทกทำได้โดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบมีรอยบากรูปตัววี (V - notch) โดยใช้สภาวะในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256 [45]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	5	ชิ้นงาน
อุณหภูมิทดสอบ	25	องศาเซลเซียส

โดยค่าความทนต่อแรงกระแทกหาได้จากสมการที่ 3.4

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A \quad (3.4)$$

เมื่อ

IS = ค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m<sup>2</sup>)

W = ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m<sup>2</sup>)

ความหนาแน่น (density) สามารถทดสอบโดยใช้วิธี Gradient column density ตามมาตรฐาน ASTM D 1500 – 85 โดยใช้สารละลายที่มีความหนาแน่นต่างกัน นำมาเทลงในคอลัมน์โดยที่สารละลายที่มีความหนาแน่นมากอยู่ด้านล่าง สารละลายที่มีความหนาแน่นน้อยอยู่ด้านบน ในการหาความหนาแน่นนี้ใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่มีความหนาแน่น 1.59 g/cm<sup>3</sup> และไซลีนความหนาแน่น 0.88 g/cm<sup>3</sup> นำมาผสมในอัตราส่วนต่างๆกันดังตารางที่ 3.2 [46]

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของของผสมระหว่างคาร์บอนเตตระคลอไรด์กับไซลีน [46]

สารละลายที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (ml)	25	22	20	17	14	11	8	5	3	-
ไซลีน (ml)	-	3	5	8	11	14	17	20	22	25

เติมส่วนผสมดังตารางลงในคอลัมน์โดยส่วนผสมชั้นล่างสุดเป็นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ซึ่งมีความหนาแน่นมากและชั้นบนสุดคือ ไซลีนที่มีความหนาแน่นน้อยจากนั้นนำเม็ดพลาสติกมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นที่แน่นอนหย่อนลงในคอลัมน์ บันทึกความสูงของพลาสติกแต่ละชิ้นจากนั้นนำความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกและความสูงที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน นำชิ้นงานมาทดสอบ โดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆนำไปหย่อนในคอลัมน์ นำความสูงที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานทำให้ทราบความหนาแน่นของชิ้นงาน

### 3.3.2.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคไดนามิกส์เมคานิคอลเทอร์มอลออสซิลเลชัน

ไดนามิก (DMTA)

การเตรียมชิ้นงานทำได้โดยนำตัวอย่างมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วนำไปเข้าเครื่อง DMTA โดยใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

ขนาดของชิ้นงาน โดยประมาณ	6 x 25 x 2	มิลลิเมตร
รูปแบบในการทดสอบ	Single cantilever bending geometry	
ความถี่	1	เฮิรตซ์ (Hz)
อุณหภูมิ	-100 – 150	องศาเซลเซียส
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate)	3	องศาเซลเซียส / นาที

โดยค่ามอดุลัสสะสม ค่ามอดุลัสสูญเสียและค่า  $\tan \delta$  สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5 - 3.7

$$E' = E^* \cos \delta \quad (3.5)$$

$$E'' = E^* \sin \delta \quad (3.6)$$

$$\tan \delta = E'' / E' \quad (3.7)$$

เมื่อ

$$E' = \text{มอดุลัสสะสม}$$

$$E'' = \text{มอดุลัสสูญเสีย}$$

$$E^* = \text{คอมเพล็กซ์มอดุลัส}$$

$$\tan \delta = \text{ความสามารถในการกระจายพลังงาน}$$

### 3.3.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อดูลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์จากภาพตัดขวางเตรียมตัวอย่างได้โดยนำตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลวจากนั้นหักชิ้นงานทันที นำชิ้นงานมาสกัดส่วนที่เป็นสไตรีนออกโดยใช้ตัวทำละลายเทระไฮโดรฟูแรนที่ 65 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการสกัด 1 นาทีนำตัวอย่างที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเคลือบผิวด้วยทองคำแล้วนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปศึกษาด้วยเครื่อง SEM

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันมาผสมรวมกัน โดยไม่เกิดพันธะเคมีต่อกัน โดยความสามารถในการเข้ากันได้นั้นสามารถพิจารณาได้จากความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ (solubility parameter) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของพอลิเมอร์แต่ละชนิดและอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมคือสภาวะที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ โดยส่วนใหญ่พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ลดลงกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมแต่ละชนิดมีขีดความสามารถในการผสมที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการหาสภาวะในการผสมหรือเติมสารช่วยผสมชนิดต่างๆ เพื่อช่วยปรับสมบัติให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆที่ต้องการ

#### 4.1 การศึกษาชนิด อัตราส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ในงานประเภททนต่อแรงกระแทก

การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของลูกกลิ้งและเวลาในกระบวนการผสมต้องสัมพันธ์กัน ซึ่งถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้เกิดการเสื่อมคุณภาพ ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิในกระบวนการผสมต่ำเกินไปพอลิเมอร์ผสมจะเข้ากันไม่ได้ซึ่งมีผลทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลงเช่นกัน ส่วนเวลาในการผสมจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับอุณหภูมิที่ทำการผสมด้วย ถ้าอุณหภูมิในการผสมสูงและใช้เวลาในการผสมนานทำให้พอลิเมอร์เกิดเสื่อมสภาพและหากใช้อุณหภูมิในการผสมต่ำและใช้เวลาผสมน้อยจะทำให้พอลิเมอร์เข้ากันไม่ได้ดีส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าต่ำลง

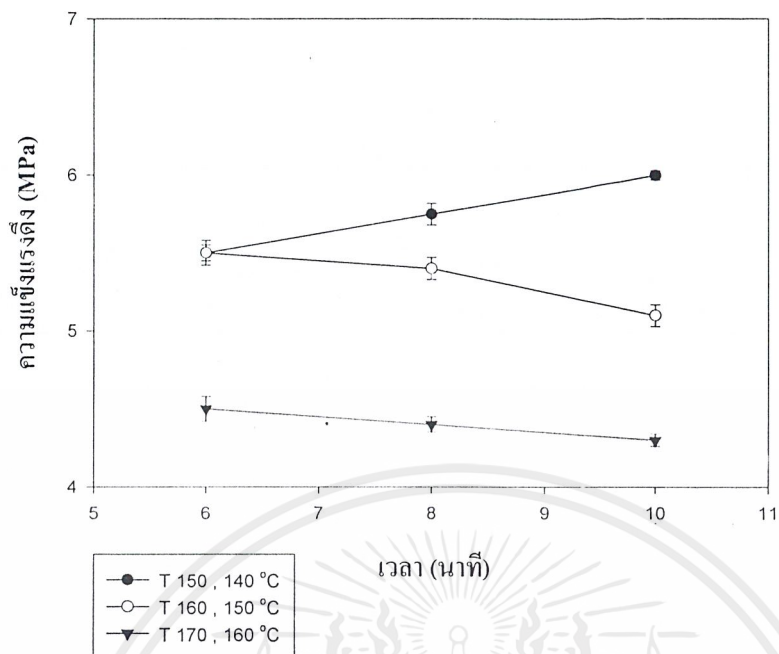
จากตารางที่ 4.1 พบว่าพอลิโอสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีความแข็งแรงสูงแต่เปราะและไม่ยืดหยุ่น ส่วนถุงมือยางที่นำมาผสมเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงเปราะของพอลิโอสไตรีนนั้นมีความแข็งแรงต่ำแต่มีความยืดหยุ่น รับและกระจายแรงกระแทกได้ดี งานวิจัยนี้จึงนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้มาผสมกันเป็นพอลิเมอร์ผสมเพื่อนำไปใช้ในงานรองรับแรงกระแทก โดยผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนชนิดของส่วนผสมและอัตราส่วนผสมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.30

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก และถุงมือยาง

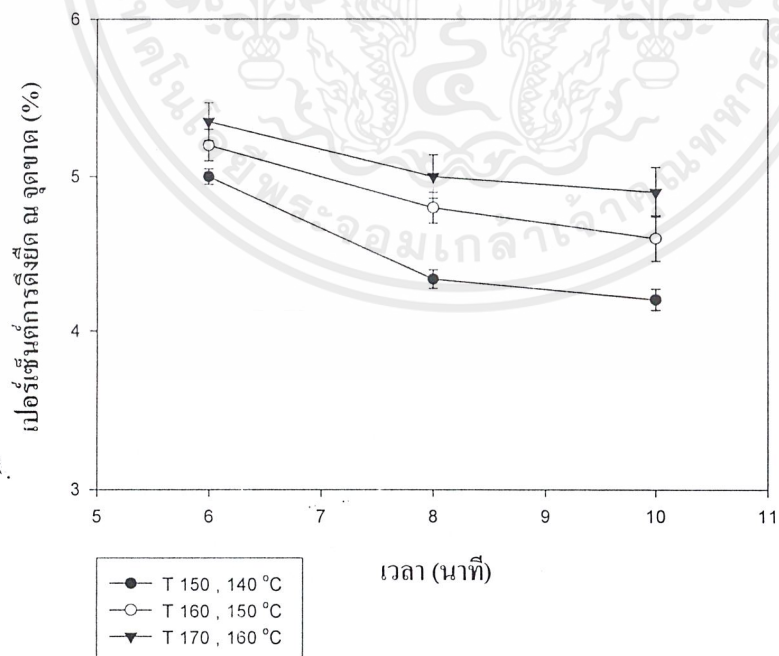
ชนิดของพอลิเมอร์	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m <sup>2</sup> )	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์	28.6	9.3	4.6	80.0	2.7	994.0
พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก	22.2	53.0	3.8	75.0	6.9	1003.0
ถุงมือยาง	1.5	765.0	$2 \times 10^{-3}$	8.3	-	-

จากรูปที่ 4.1 – 4.5 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมโพลีพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วนพบว่าอุณหภูมิผสมที่ควรใช้ที่อัตราส่วนนี้คือที่อุณหภูมิอุณหภูมิลดลงเหลือ 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอุณหภูมิลดลงเหลือ 140 องศาเซลเซียสเพราะได้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งกด และค่าความแข็งแรงกระแทกสูงมากที่สุดแต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลลดลงอาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ (รูปที่ 4.1 4.3 4.4 และ 4.5) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการผสมทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงเกิดการเกี่ยวพันกันได้ดีทำให้ระยะการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้น (รูปที่ 4.2)

เมื่อศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมพบว่าที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิลดลงเหลือ 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอุณหภูมิลดลงเหลือ 140 องศาเซลเซียสเมื่อใช้เวลาในการผสมนานขึ้นค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวได้ดีเมื่อผสมเป็นเวลานานจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดี ความแข็งแรงจึงสูง (รูปที่ 4.1) ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งกดพบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้เวลาผสมมากขึ้นเนื่องจากการผสมเป็นเวลานานทำให้พอลิเมอร์เสื่อมสภาพสมบัติจึงลดลง (รูปที่ 4.2 และ 4.4) ส่วนค่ามอดุลัสและค่าความแข็งแรงกระแทกไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มเวลาในการผสม (รูปที่ 4.3 และ 4.5) [47]

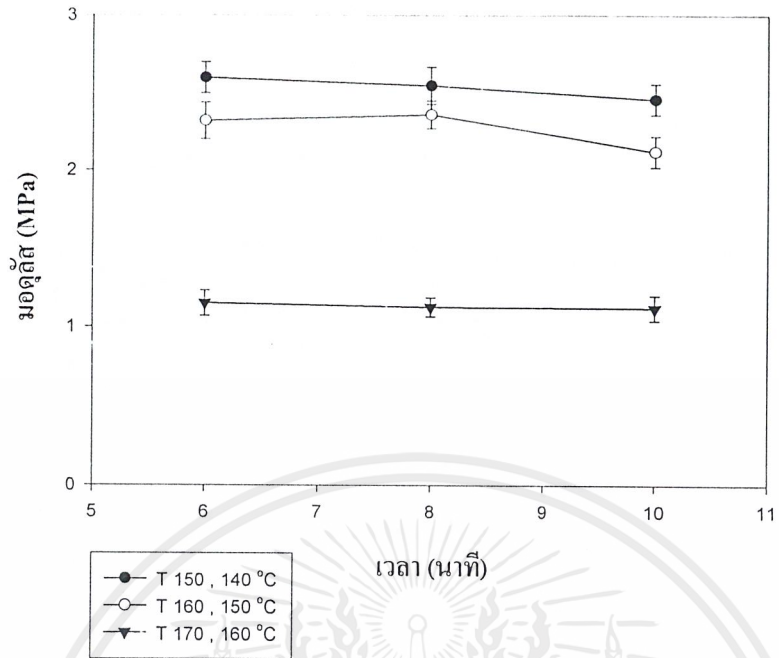


รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกับกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

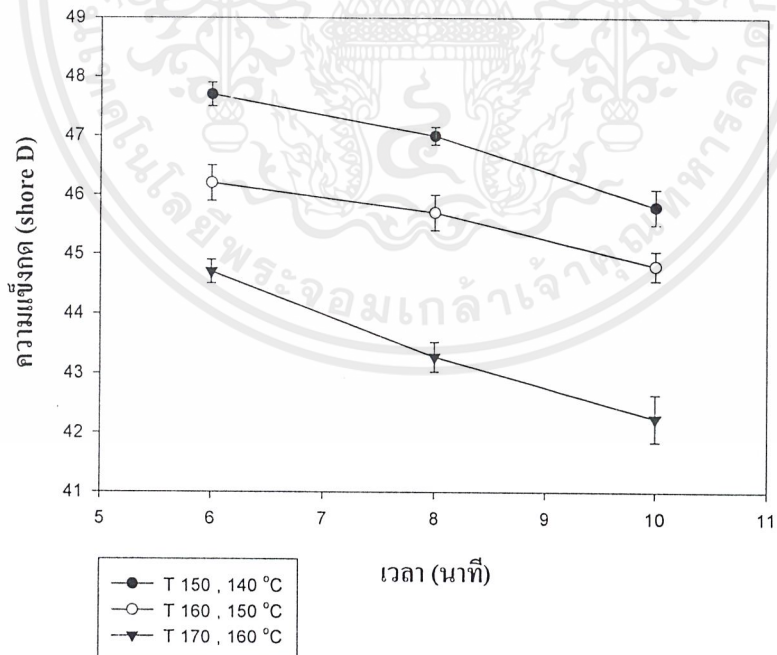


รูปที่ 4.2 เปอร์เซนต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกับกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

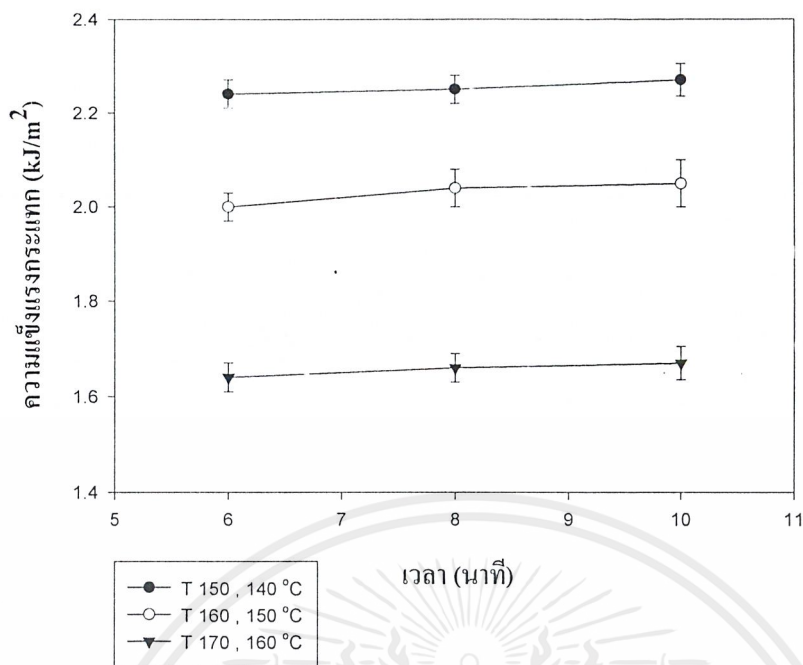


รูปที่ 4.3 โมดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน



รูปที่ 4.4 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน

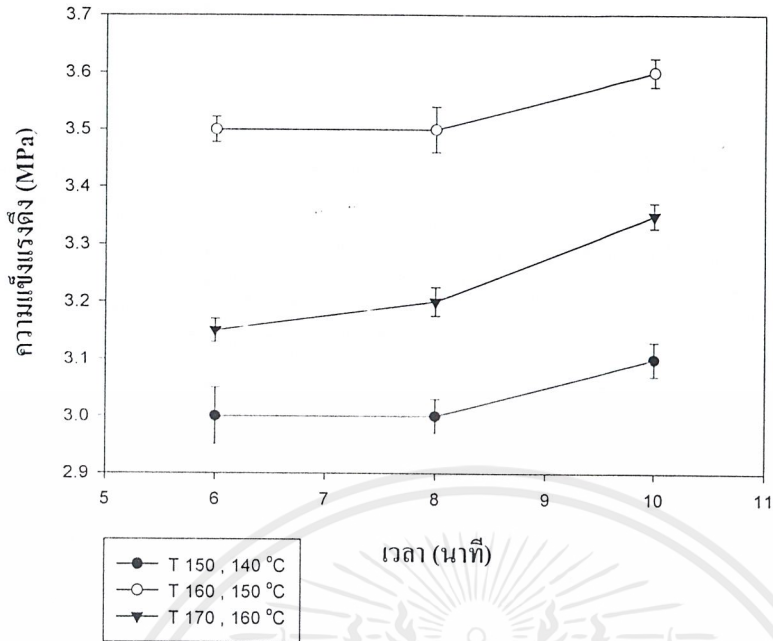
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



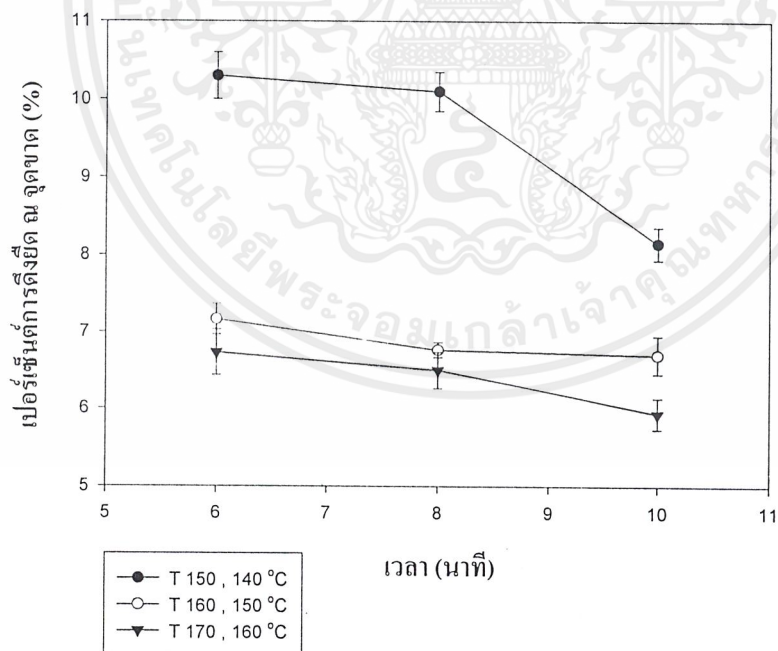
รูปที่ 4.5 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกับกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

จากรูปที่ 4.6 – 4.10 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสม โฟมพอลิสไตรีนกับกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วนพบว่าอุณหภูมิที่ควรใช้คือที่อุณหภูมิผสมลูกกลิ้งหน้า 160 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 150 องศาเซลเซียสเพราะได้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูง (รูปที่ 4.6 และ 4.8) ส่วนค่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกอยู่ในช่วงที่ไม่ต่ำจนเกินไป (รูปที่ 4.7 และ 4.9) โดยอุณหภูมิที่ใช้สูงกว่าที่ใช้ในอัตราส่วนแรกเนื่องจากที่อัตราส่วนผสมนี้มียางอยู่มากกว่าพอลิสไตรีน แต่หากใช้อุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่านี้จะทำให้เกิดการผสมเข้ากันได้ไม่ดีหรือเกิดเสื่อมสภาพด้วยเหตุผลเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในอัตราส่วนแรก ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกพบว่าอุณหภูมิการผสมสูงได้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าที่อุณหภูมิผสมต่ำเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงยางได้รับพลังงานความร้อนมากจึงอาจเกิดการเชื่อมโยงทำให้สามารถรับและกระจายแรงกระแทกได้ดีขึ้น (รูปที่ 4.10)

ผลของเวลาที่มีต่อความแข็งแรงดึง มอดุลัสและความแข็งแรงกระแทกพบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งแรงกมีค่าลดลงเมื่อผสมเป็นเวลานานเนื่องจากการเพิ่มเวลาในการผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมได้รับแรงเฉือนจากการผสมมากจนทำให้สายโซ่ขาดจากกันแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันลดลงจึงทำให้พอลิเมอร์นุ่มและขาดจากกันได้ง่าย [47]

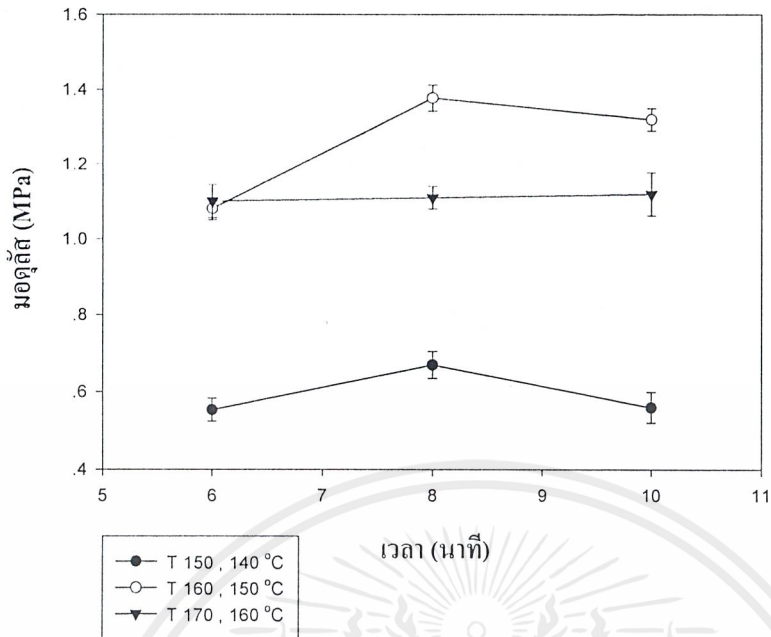


รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับฉนวนมือยาง 2 ส่วน

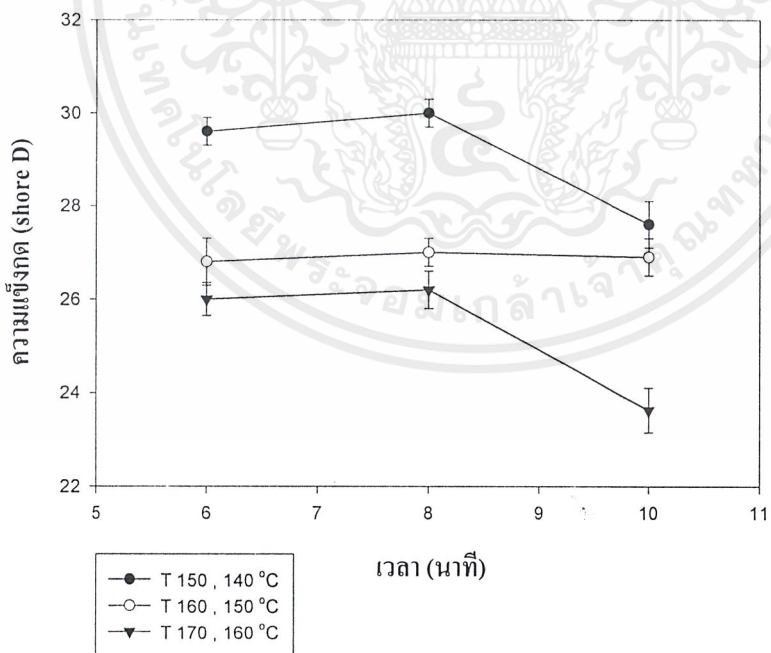


รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับฉนวนมือยาง 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

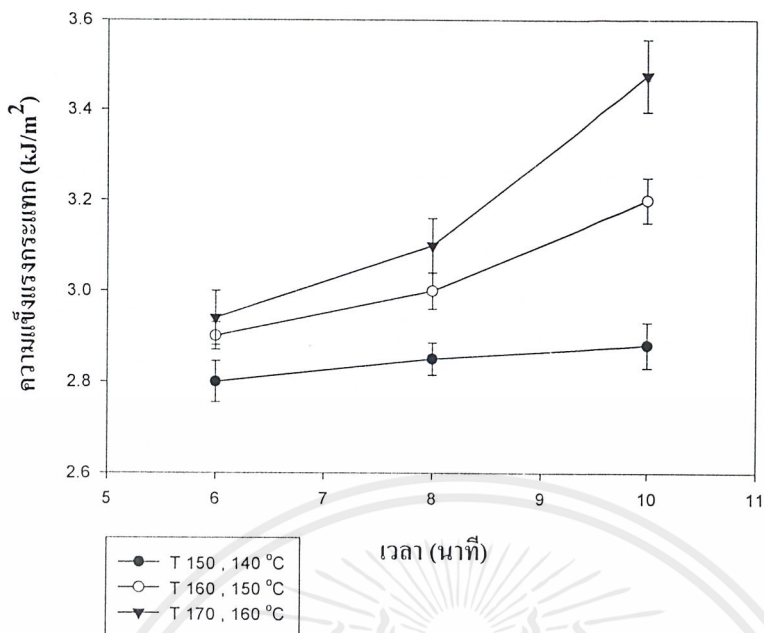


รูปที่ 4.8 โมดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนโพลีพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 2 ส่วน



รูปที่ 4.9 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนโพลีพอลิสไตรีนกันกระแทก 1 ส่วน  
ผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

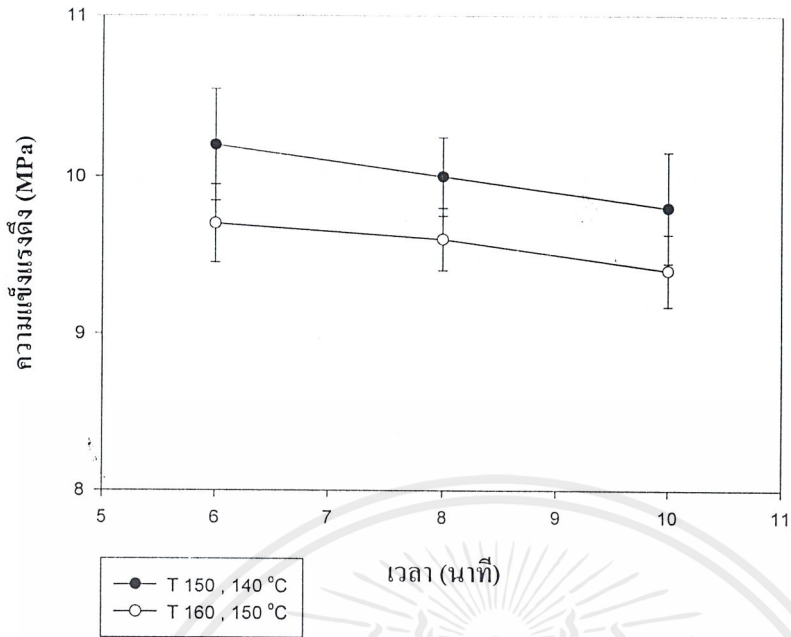


รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ไทรอินกันกระแทก 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

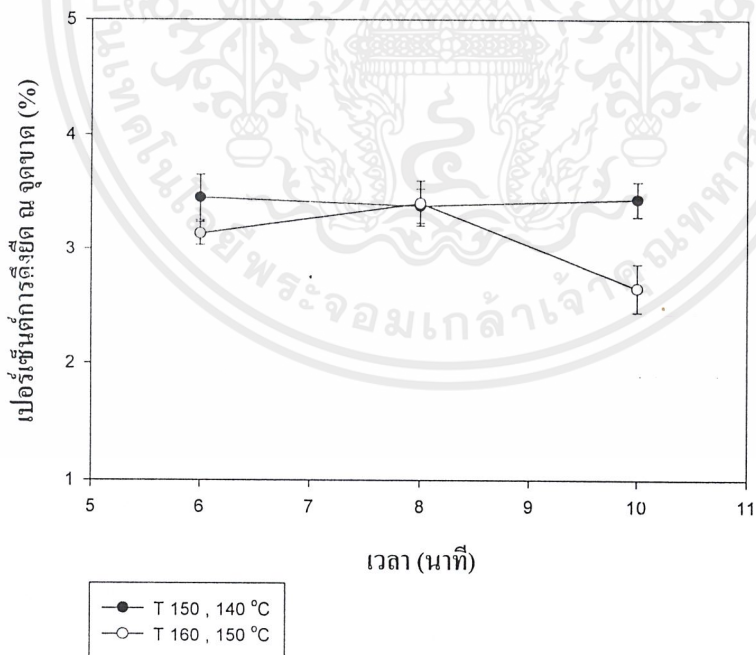
จากรูปที่ 4.11 - 4.15 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมโพลีเอสเตอร์ไทรอินกันกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้ใช้ปริมาณพอลิเอสเตอร์ไทรอินมากกว่าถุงมือยางจึงเกิดทำให้เกิดการหลอมเหลวได้ง่ายดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 170 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 160 องศาเซลเซียสจึงทำให้พอลิเอสเตอร์ไทรอินเกิดการเชื่อมสภาพและหลอมติดลูกกลิ้งระหว่างทำการผสมด้วยเหตุนี้จึงทำการทดลองเพียงสองอุณหภูมิ คือ ที่อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 150 องศาเซลเซียสเท่านั้น จากผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมพบว่าควรใช้อุณหภูมิในการผสมที่อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียส เพราะได้ค่าความแข็งแรงดึง เบรคเซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด มอดูลัสและความแข็งกดที่สูง (รูปที่ 4.11 4.12 4.13 และ 4.14) เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติเชิงกลลดลงเนื่องจากเกิดการเชื่อมสภาพตามเหตุผลเดียวกับที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จากค่าความแข็งแรงกระแทกพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการผสมสูงขึ้นพอลิเมอร์ได้รับความร้อนสูงจึงเกิดการผสมเข้ากันได้ดีจึงสามารถรับและกระจายแรงได้ดีขึ้น (รูปที่ 4.15)

ผลของเวลาต่อสมบัติเชิงกลพบว่าเวลาในการผสมทำให้สมบัติเชิงกลทุกชนิดมีค่าลดลงเนื่องจากที่อัตราส่วนนี้มีพอลิเอสเตอร์ไทรอินอยู่ในปริมาณที่มากจึงทำให้การผสมใช้เวลานานจนเกินไปจึงทำให้พอลิเอสเตอร์ไทรอินเกิดการเชื่อมสภาพ [47]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

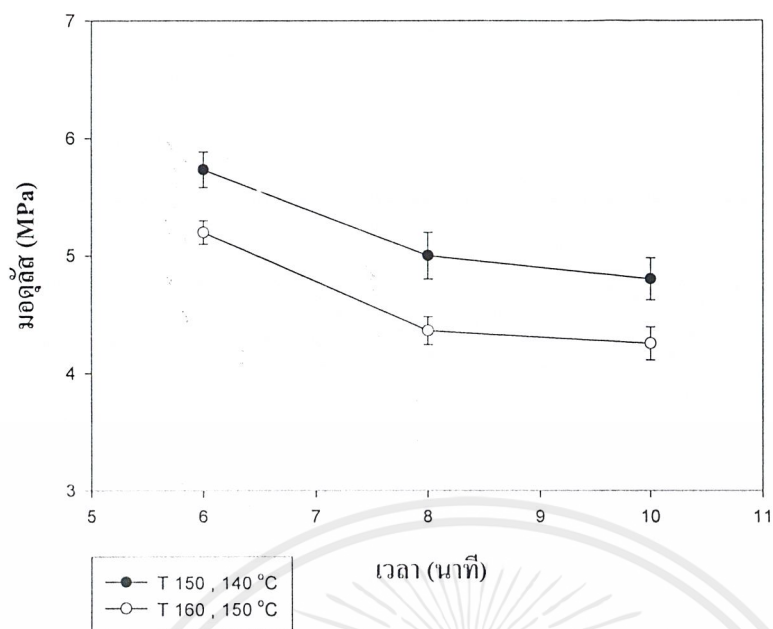


รูปที่ 4.11 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนโพลีเอทิลีนไดอ็อกไซด์ 2 ส่วน ผสมกับดุงมีอย่าง 1 ส่วน

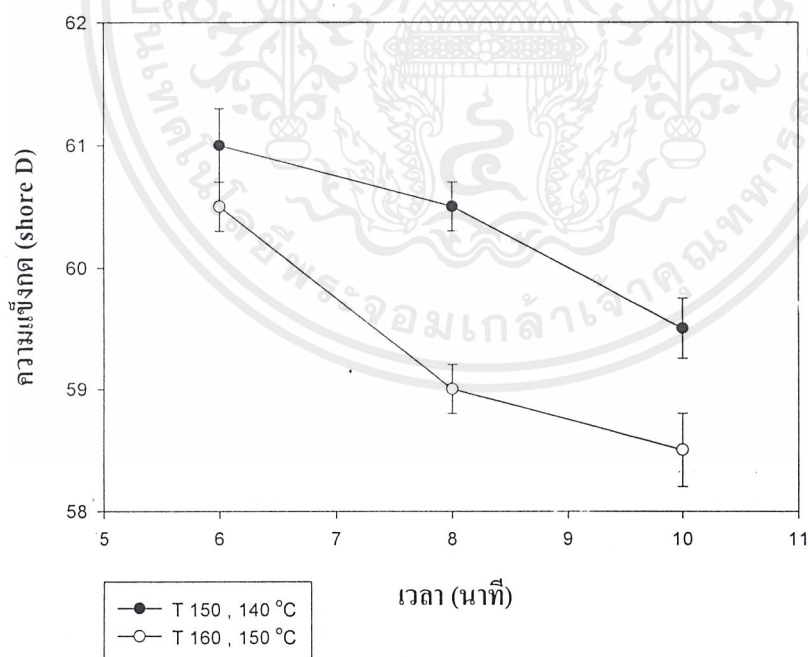


รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนโพลีเอทิลีนไดอ็อกไซด์ 2 ส่วน ผสมกับดุงมีอย่าง 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

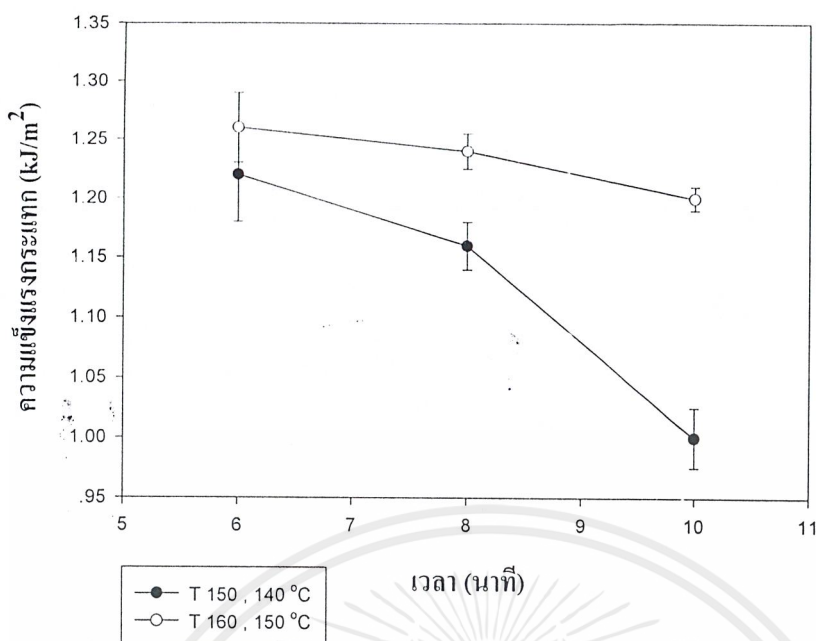


รูปที่ 4.13 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 2 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน



รูปที่ 4.14 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีนกันกระแทก 2 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน

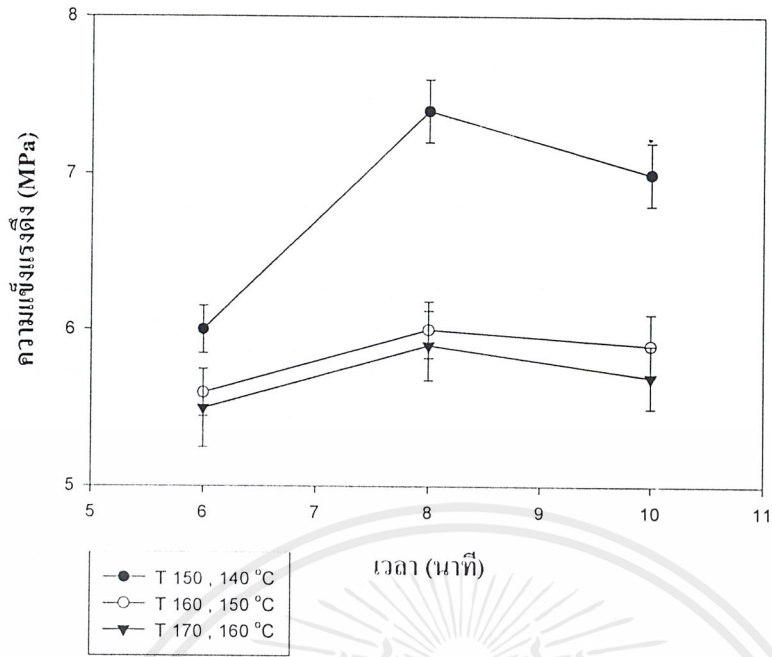
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



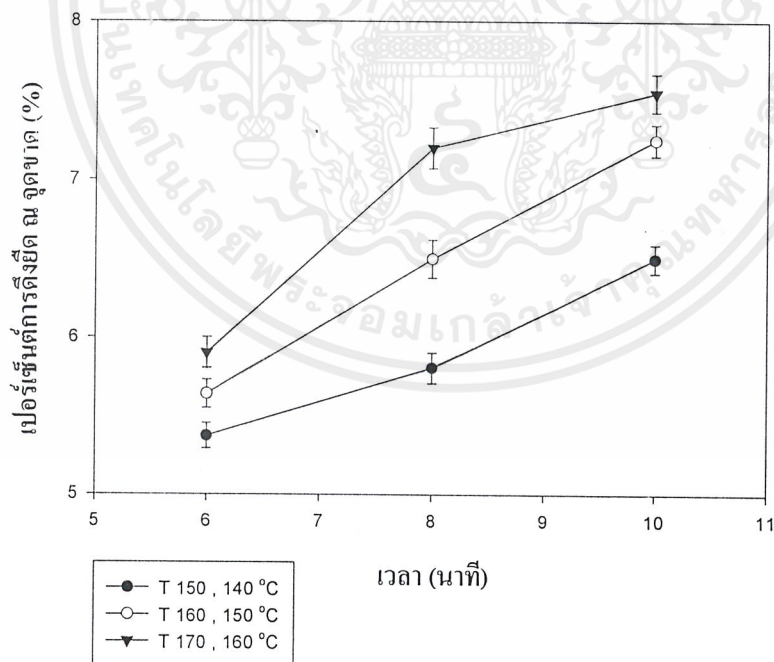
รูปที่ 4.15 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน โฟมพอลิสไตรีน  
กั้นกระแทก 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

จากรูปที่ 4.16 – 4.20 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วนพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมคือที่อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียสเพราะได้ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส ความแข็งกดและความแข็งแรงกระแทกที่สูง (รูปที่ 4.16 4.18 4.19 และ 4.20) อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สมบัติเหล่านี้มีค่าลดลงเนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิในการผสมที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการเสื่อมสภาพตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสม (รูปที่ 4.17) เนื่องจากการให้ความร้อนที่สูงทำให้เกิดการผสมเข้ากันได้ดี ความยืดหยุ่นจึงเพิ่มขึ้น

ผลของการเพิ่มเวลาในการผสมพบว่าค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มอดูลัสและความแข็งแรงกระแทกมีค่ามากขึ้นเนื่องจากเวลาในการผสมที่นานจะทำให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายผสมเข้ากันได้อย่างทั่วถึงจึงมีความแข็งแรงและรับแรงได้ดี ส่วนค่าความแข็งกดมีค่าลดลงเนื่องจากการผสมที่นานจะทำให้พอลิเมอร์ผสมรวมเข้ากันได้จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น [47]

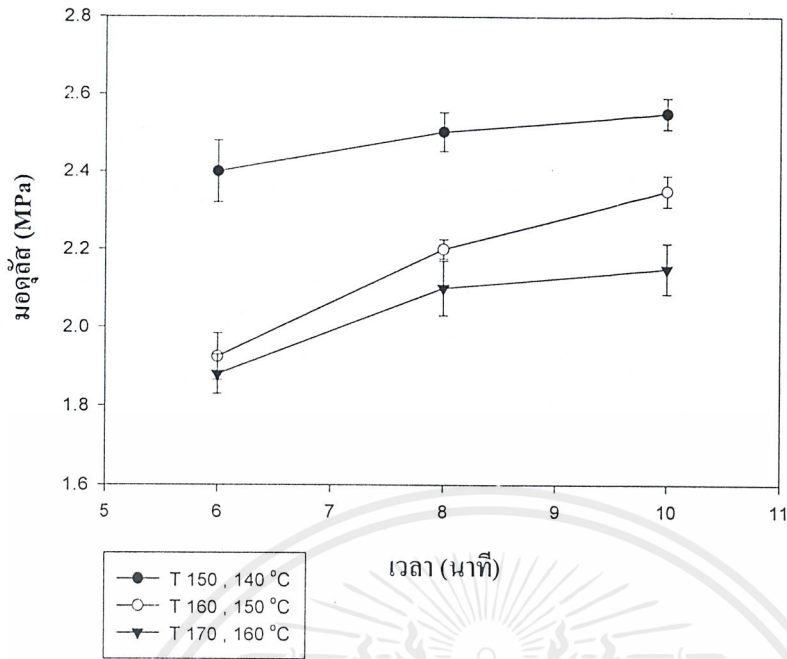


รูปที่ 4.16 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน ผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

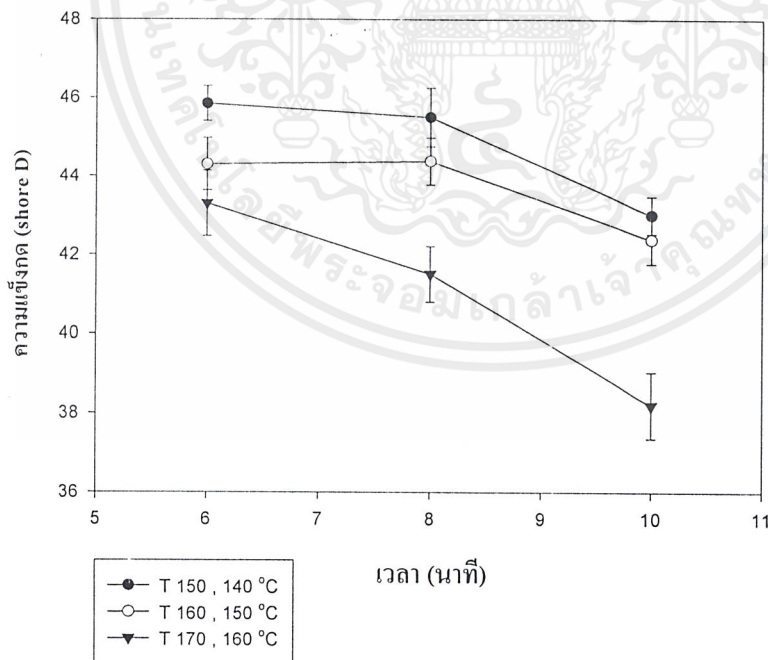


รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

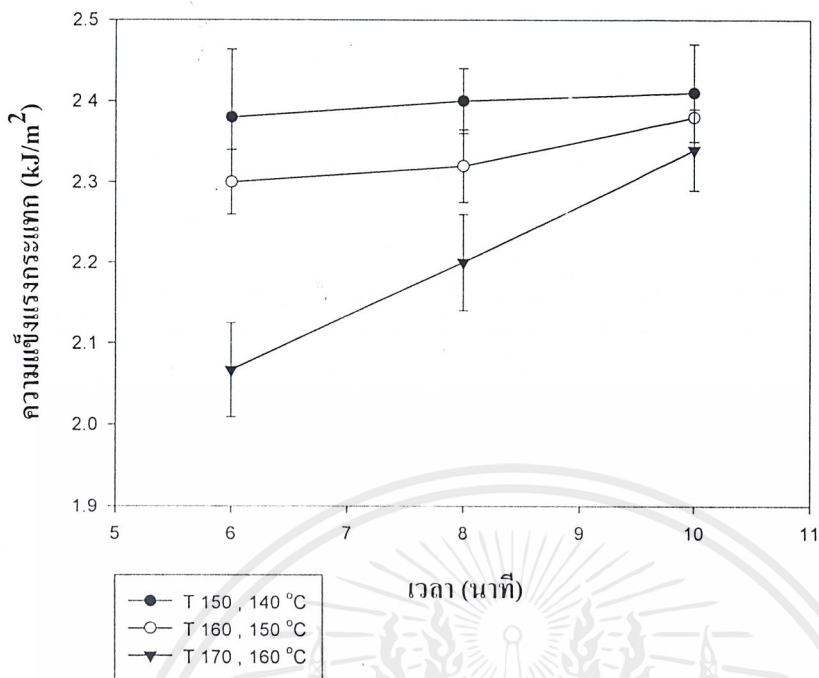


รูปที่ 4.18 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิस्टาไร์นจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน



รูปที่ 4.19 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิस्टาไร์นจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน  
ผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

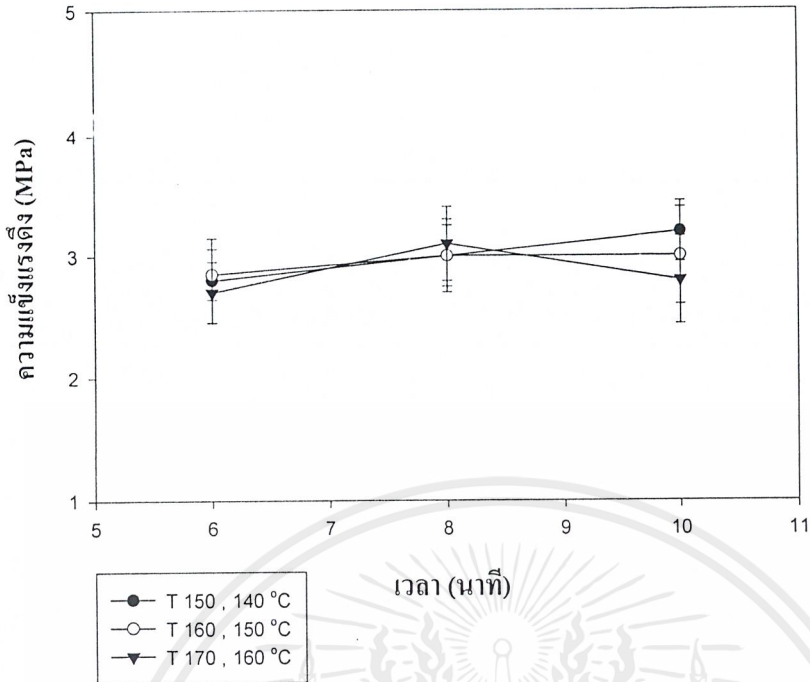
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



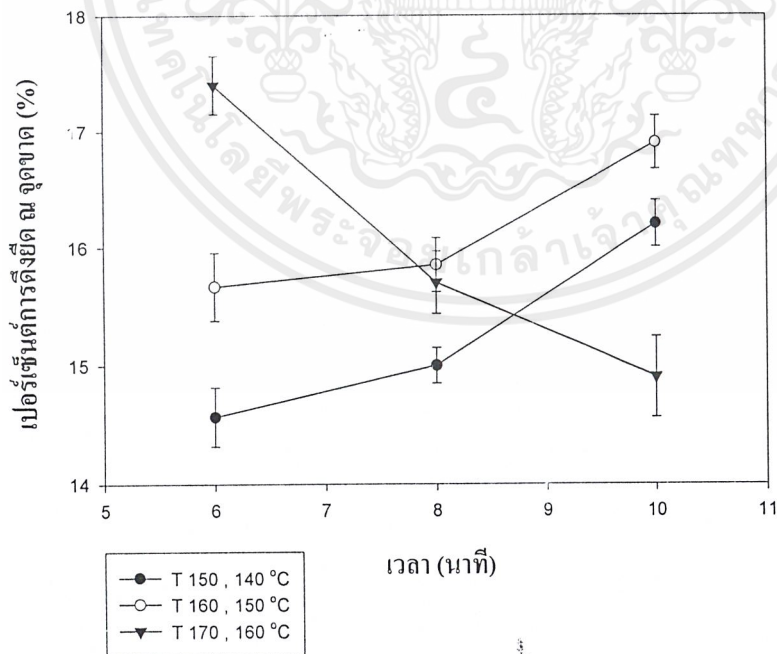
รูปที่ 4.20 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน ผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

จากรูปที่ 4.21 – 4.25 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมคือที่อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ ลูกกลิ้งหลัง 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้มียางเป็นส่วนผสมปริมาณมากจึงต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยที่อุณหภูมิผสมนี้ได้ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์ การดึงยืด ณ จุดขาด มอดุลัส และความแข็งแรงกด (รูปที่ 4.21 4.22 4.23 และ 4.24) สูง ส่วนค่าความ แข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงอาจทำให้เกิด การเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ (รูปที่ 4.25)

การเพิ่มเวลาในการผสมพบว่าที่อุณหภูมิสูงการผสมเป็นเวลานานๆจะทำให้สายโซ่ขาดจากกัน ความแข็งแรงจะลดลง แต่ที่อุณหภูมิต่ำๆเมื่อผสมเป็นเวลานานแรงเฉือนจะทำให้พอลิเมอร์กระจาย ตัวได้ดีขึ้นความแข็งแรงจึงสูงขึ้น [47]

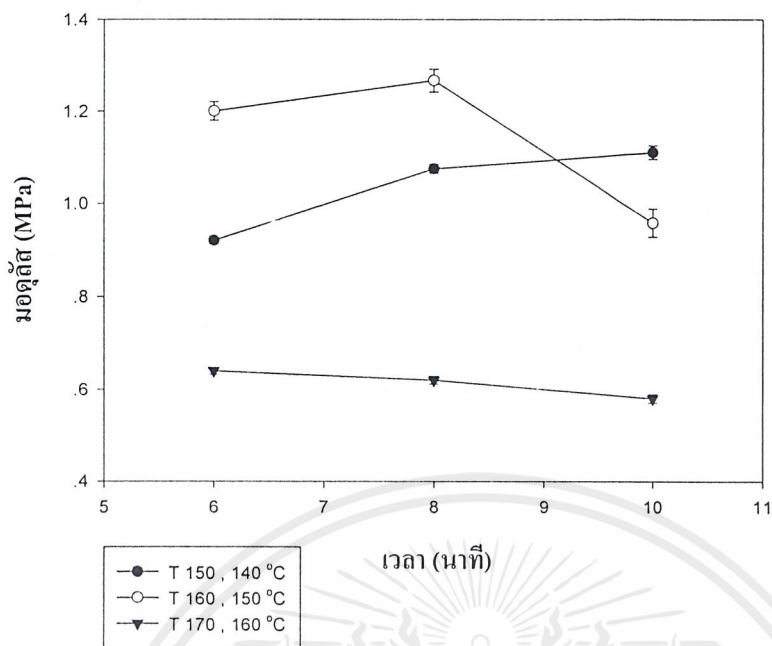


รูปที่ 4.21 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

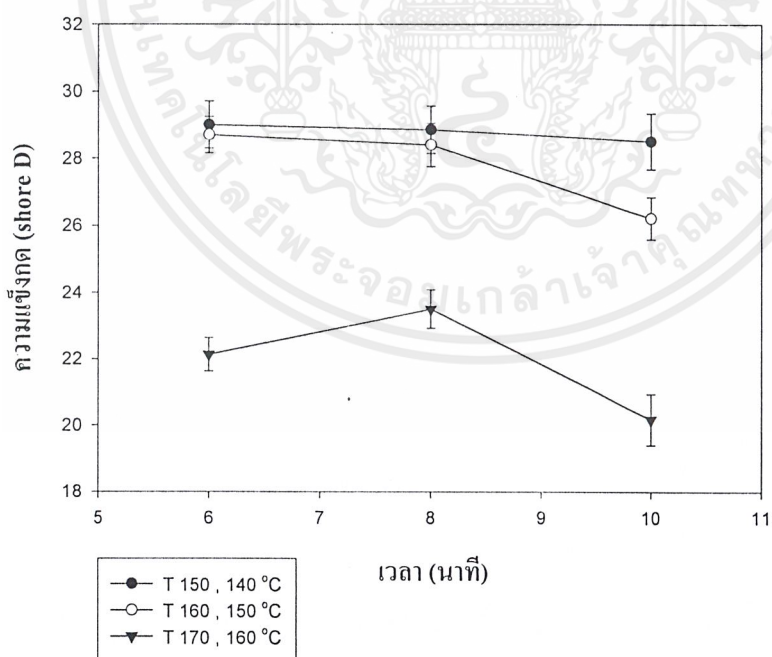


รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

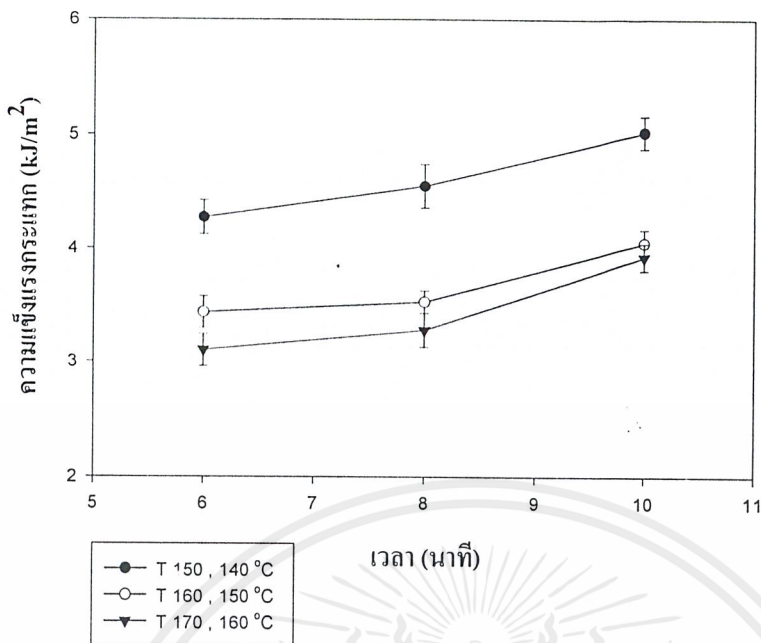


รูปที่ 4.23 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 2 ส่วน



รูปที่ 4.24 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน  
ผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

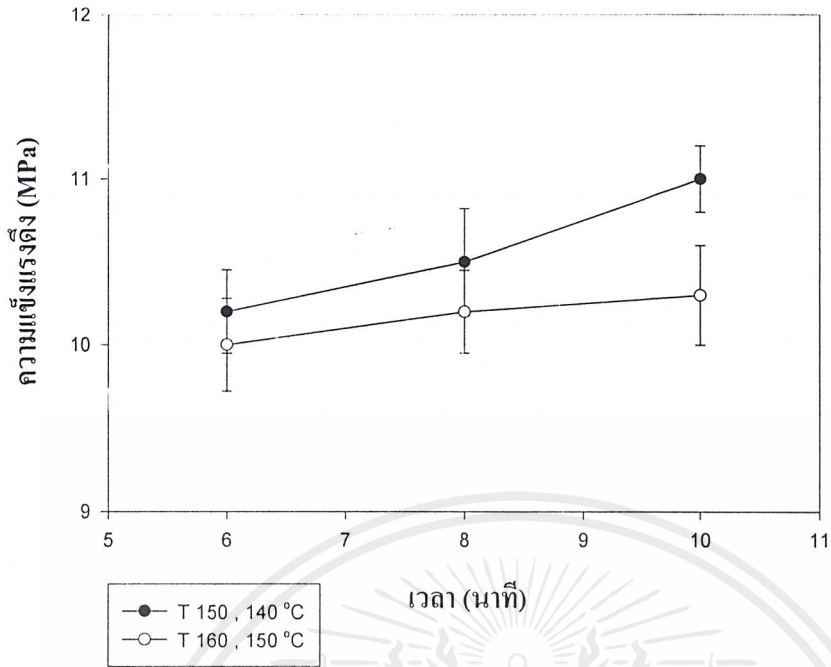
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



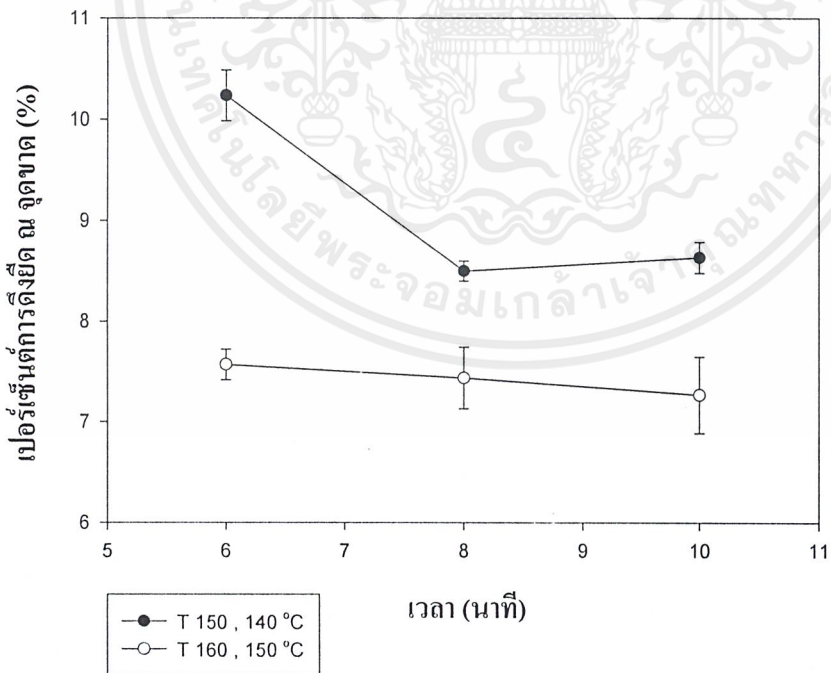
รูปที่ 4.25 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิไตรอินจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน ผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน

จากรูปที่ 4.26 – 4.30 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมพอลิไตรอินจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้มีปริมาณพอลิไตรอินมากกว่าถุงมือยางทำให้เกิดการหลอมเหลว ติดลูกกิ้งและสลายตัวได้ง่ายดังที่ได้กล่าวมาแล้วในอัตราส่วนเดียวกันก่อนหน้านี้จึงไม่ทำการผสม ที่อุณหภูมิลูกกิ้งหน้า 170 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกิ้งหลัง 160 องศาเซลเซียส จากผลของ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิลูกกิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลูกกิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียส โดยถ้าให้ความร้อนมากขึ้นสมบัติเชิงกลมีค่าลดลงเนื่องจากพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ

จากผลของการเพิ่มเวลาในการผสมพบว่าทำให้ค่าความแข็งแรงคิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมที่นานทำให้พอลิเมอร์มีการกระจายตัวที่ดีขึ้นความแข็งแรงจึงมากขึ้น (รูปที่ 4.26) ค่าเปอร์เซ็นต์การคิ่งยึด ณ จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการผสมเพราะแรงเฉือนจากการผสมทำให้สายโซ่ขาดออกจากกัน (รูปที่ 4.27) ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น (รูปที่ 4.30) ส่วนค่ามอดุลัส และความแข็งคมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเพิ่มเวลาในการผสม (รูปที่ 4.28 และ 4.29) [47]

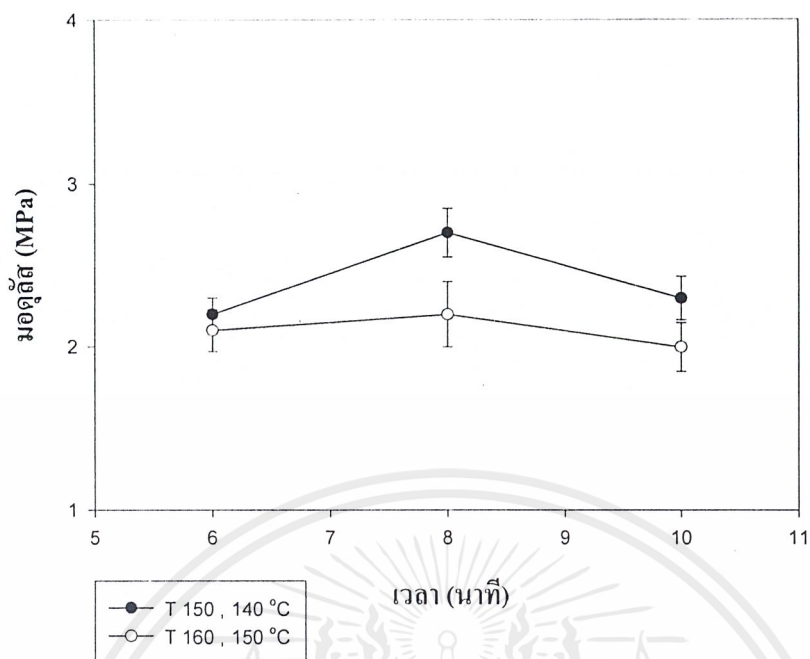


รูปที่ 4.26 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

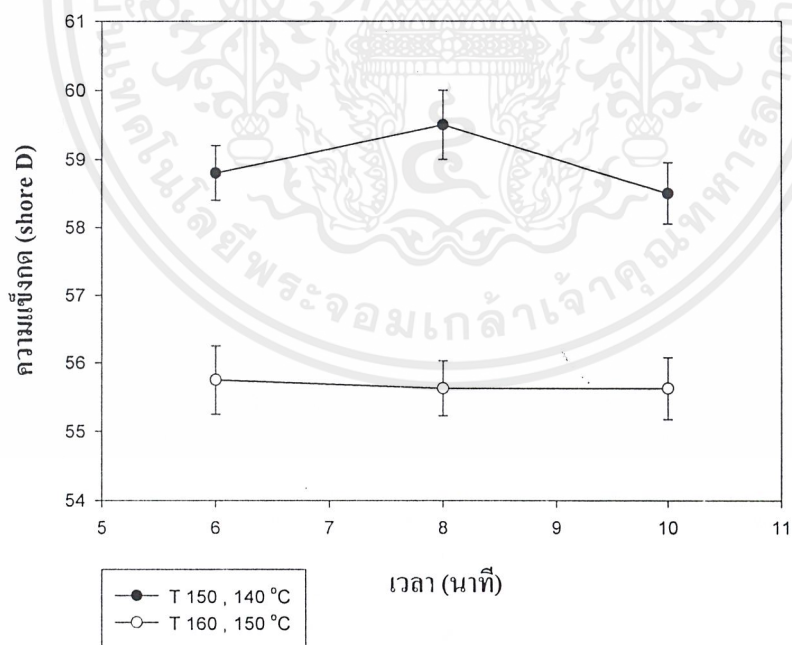


รูปที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

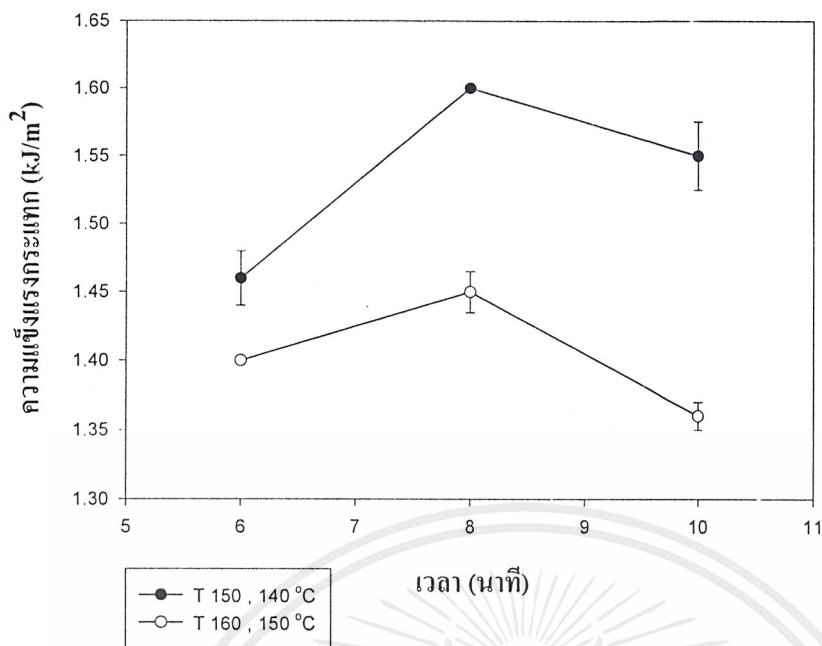


รูปที่ 4.28 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิस्टาไทรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน



รูปที่ 4.29 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิस्टาไทรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วนผสมกับ  
ถุงมือยาง 1 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วน ผสมกับฉนวนมืออย่าง 1 ส่วน

จากการวิจัยสมบัติเชิงกลโดยรวมของชนิดและอัตราส่วนผสมต่างๆสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาชนิดของพอลิस्टาไทรินที่นำมาใช้ทำพอลิเมอร์ผสมพบว่าเมื่อใช้พอลิस्टาไทรินจาก โฟมกันกระแทกมาทำเป็นพอลิเมอร์ผสมให้ค่ามอดุลัสสูงกว่าการใช้พอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์แต่ เปรียบเช่นเดียวกับการดัด ยึด จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่าพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากโฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกมีลักษณะเป็นรูพรุนในการผสมจึงได้รับความร้อน อย่างทั่วถึงและรวดเร็วดังนั้นในเวลาผสมที่เท่ากัน โฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกจึงอาจเกิดการ เสื่อมสภาพได้เร็วกว่าพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ อีกปัจจัยหนึ่งคือสารปรับแต่งที่มีอยู่ใน โฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกเนื่องจากโฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกต้องมีการใส่ สารปรับแต่งหลายชนิดเพื่อให้มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งสารปรับแต่งเหล่านี้อาจมีผลต่อสมบัติของ พอลิเมอร์ผสมที่ได้ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้อาจทำให้โฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกมีความยืดหยุ่นและ ความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่าพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ ในส่วนของค่าความแข็งแรงดึงและ ความแข็งแรงกดพบว่าทั้งโฟมพอลิस्टาไทรินกันการกระแทกและพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์เมื่อนำมาทำเป็น พอลิเมอร์ผสมให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

ส่วนผสม	ความแข็งแรงดึง (MPa)	% การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งกด (shore D)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m <sup>2</sup> )
F1R1	5.5	4.8	2.0	45.0	2.0
F1R2	3.2	8.5	1.1	27.0	3.0
F2R1	8.5	3.3	4.5	59.0	1.1
Y1R1	5.8	6.2	2.1	43.0	2.2
Y1R2	3.0	16.0	1.1	25.5	5.0
Y2R1	9.3	8.0	2.3	57.0	1.5

เมื่อ F1R1 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากโฟมกันกระแทก 1 ส่วน ถุงมือยาง 1 ส่วน  
 F1R2 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากโฟมกันกระแทก 1 ส่วน ถุงมือยาง 2 ส่วน  
 F2R1 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากโฟมกันกระแทก 2 ส่วน ถุงมือยาง 1 ส่วน  
 Y1R1 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน ถุงมือยาง 1 ส่วน  
 Y1R2 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วน ถุงมือยาง 2 ส่วน  
 Y2R1 คือ อัตราส่วนผสมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วน ถุงมือยาง 1 ส่วน

จากผลการศึกษาเรื่องอัตราส่วนพบว่าเมื่อมีปริมาณพอลิสไตรีนผสมเป็นเมทริกซ์ ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสและความแข็งกดมีค่าสูงเนื่องจากมีพลาสติกซึ่งเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงมากจึงทำให้มีความแข็งแรง ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ถุงมือยางเป็นเมทริกซ์ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งแรงกระแทกจะมีค่าสูงเนื่องจากยางเป็นส่วนที่มีความยืดหยุ่นเมื่อมีอยู่มากจะทำให้พอลิเมอร์ยึดได้มากและรับแรงได้ดี เมื่อใช้การผสมที่อัตราส่วนพอลิสไตรีนกับถุงมือยางอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์พบว่าได้ค่าสมบัติเชิงกลอยู่กึ่งกลางระหว่างที่ใช้ พอลิสไตรีนและยางเป็นเมทริกซ์

ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผสมพบว่าชนิดส่วนผสมและอัตราส่วนผสมส่วนใหญ่ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการผสมที่เพิ่มมากขึ้นเพราะการใช้ อุณหภูมิที่สูงจะทำให้พอลิเมอร์ได้รับพลังงานความร้อนมากเกินไปจนเกิดการเสื่อมคุณภาพ ส่วนการผสมเป็นเวลานานจะทำให้แรงเฉือนจากการผสมไปทำให้สายโซ่ขาดจากกันความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมจึงลดลง

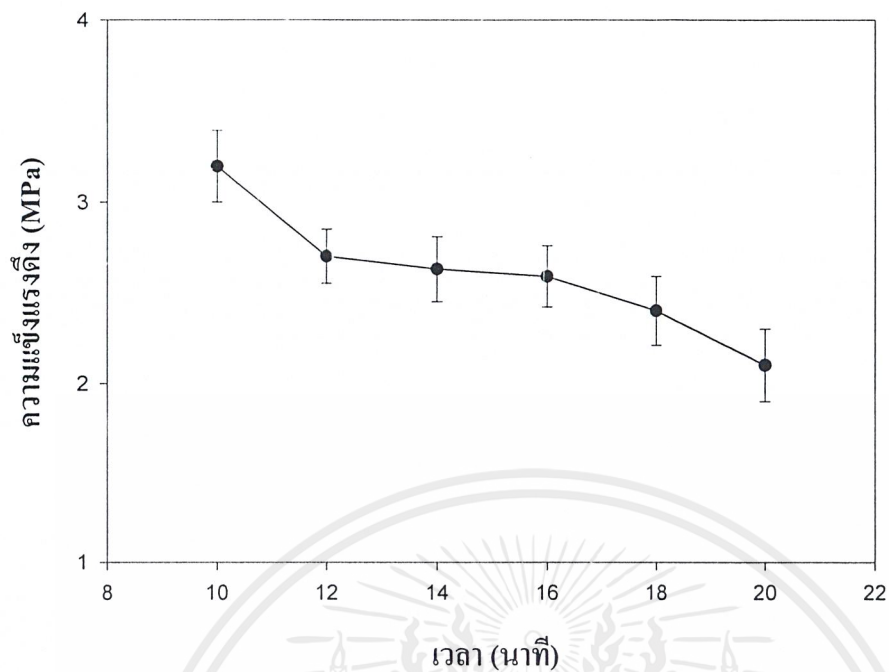
จากผลการศึกษาทั้งหมดและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่ต้องการนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปใช้ใน งานที่ทนต่อแรงกระแทกจึงเลือกพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับถุงมือยาง 2 ส่วน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้อุณหภูมิในการผสมที่อุณหภูมิอุกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอุกกลิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียส เวลาในการผสม 10 นาที เหตุที่เลือกพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่อัตราส่วนและสถานะนี้เนื่องจากพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงกว่าโพลีพอลิสไตรีนกันกระแทกและที่อัตราส่วน อุณหภูมิ และเวลาในการผสมนี้ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกที่สูงแสดงว่ามีความยืดหยุ่น รับและกระจายแรงได้ดีจึงเหมาะที่จะใช้ในงานรับแรงกระแทก [47] (รูปที่ 4.21 – 4.25) แต่ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และความแข็งกมมีค่าต่ำจึงนำไปปรับปรุงโดยปรับเปลี่ยนเวลาในการผสมหรือเติมสารช่วยผสมชนิดต่างๆลงในพอลิเมอร์ผสมซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในลำดับต่อไป

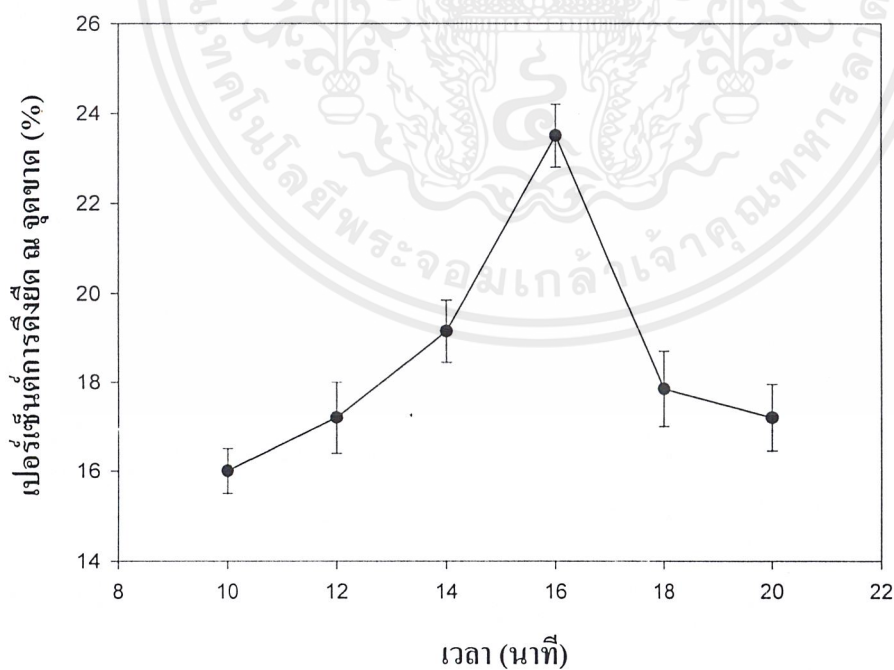
## 4.2 การศึกษาผลของการเพิ่มเวลาในการผสมพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

จากการศึกษาในตอนที 4.1 พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มอดูลัสและความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.21 – 4.25) เมื่อเพิ่มเวลาในการผสม จึงศึกษาการเพิ่มเวลาในการผสมให้นานขึ้นเพื่อดูว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้นกว่าเดิมมากเพียงไร โดยการเพิ่มเวลาผสมขึ้นครั้งละ 2 นาที ดังนี้คือ 12 14 16 18 และ 20 นาที ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.31 – 4.35 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการผสมมากขึ้นค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสและความแข็งกมมีค่าลดลง (รูปที่ 4.31 – 4.33 และ 4.34) เนื่องจากแรงเฉือนจากการผสมเป็นเวลานานๆ ทำให้สายโซ่ขาดออกจากกันทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการยึดเหนี่ยวกันไม่ดีส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.32) ในช่วงแรกเพราะการผสมที่นานขึ้นในช่วงแรกทำให้พอลิเมอร์กระจายเข้ากันได้มากขึ้นจึงยึดติดกันได้ดีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจึงมากขึ้น แต่เมื่อผสมด้วยเวลาที่มากเกินไปผลจากแรงเฉือนในการผสมจะมีผลมากกว่าทำให้สายโซ่ขาดจากกันเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจึงลดลง ความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.35) เมื่อเพิ่มเวลาในการผสมเนื่องจากการผสมเป็นเวลานานทำให้พอลิเมอร์เกิดการผสมและกระจายตัวได้มากขึ้นการรับแรงของพอลิเมอร์จึงดีขึ้น

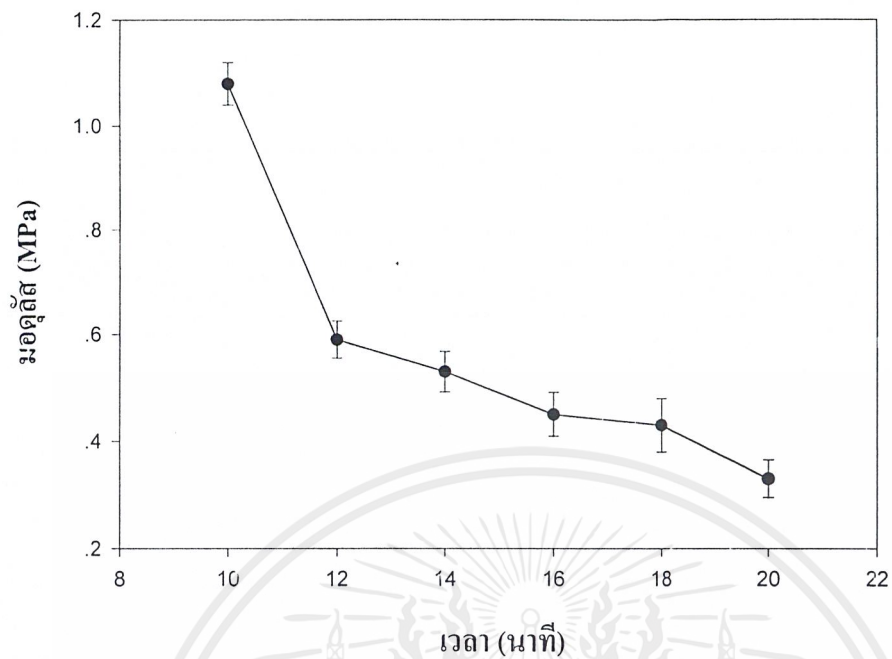


รูปที่ 4.31 ความแข็งแรงดึงเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที

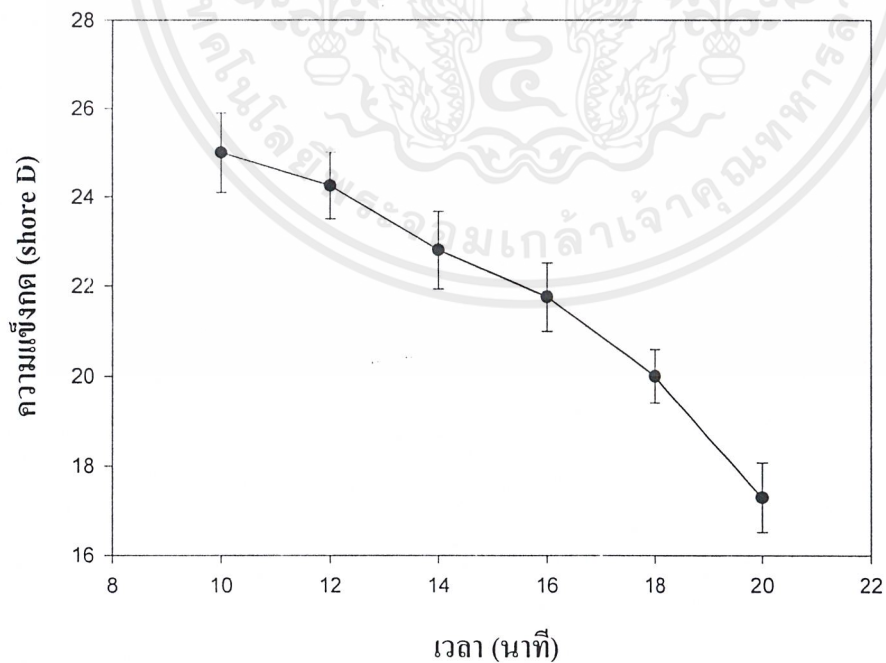


รูปที่ 4.32 เปอร์เซนต์การดึงยึด ณ จุดขาดเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

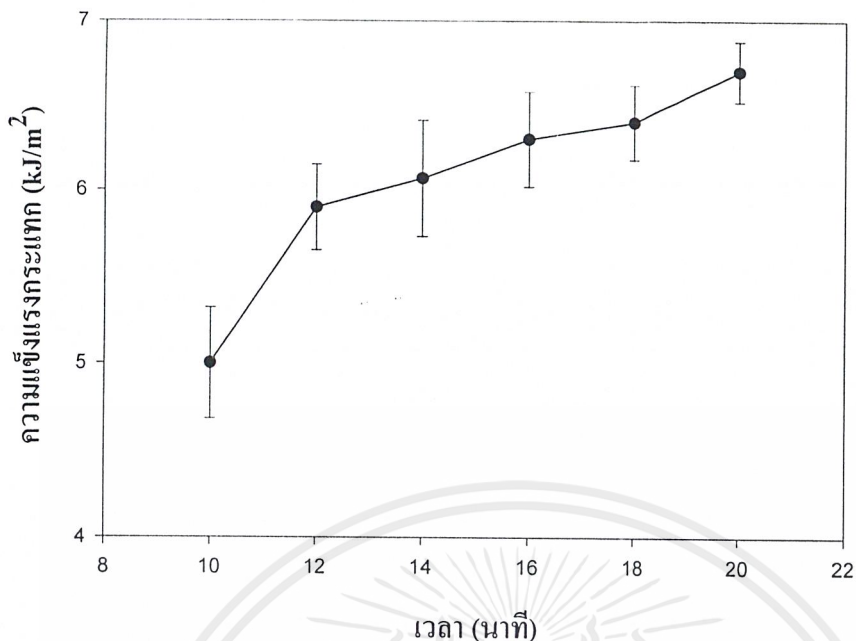


รูปที่ 4.33 มอดุลัสเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที



รูปที่ 4.34 ความแข็งกดเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ความแข็งแรงกระแทกเมื่อใช้เวลาในการผสม 10 – 20 นาที

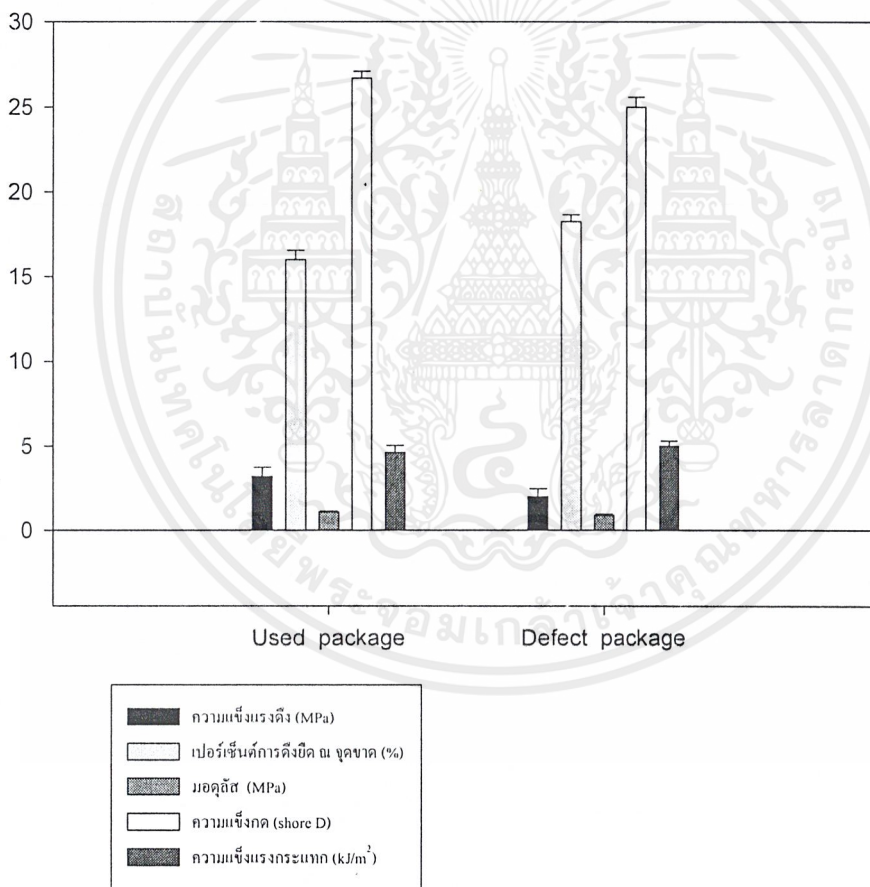
จากผลของการเพิ่มเวลาในการผสมเมื่อพิจารณาทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการผสมแล้วควรใช้เวลาในการผสมเดิมที่ 10 นาทีเพราะที่เวลานี้ให้ค่าความแข็งแรงคั่ง มอดูลัสและความแข็งกคที่สูงมากกว่าที่เวลาอื่นๆ แสดงว่าพอลิเมอร์ผสมยังมีความแข็งแรงของสายโซ่ยึดเหนี่ยวกันได้ดีหากใช้เวลาผสมนานกว่านี้สมบัติเชิงกลจะลดลงเพราะพอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพ การผสมเป็นเวลานานแม้ว่าค่าความแข็งแรงกระแทกและค่าเปอร์เซ็นต์การคั่งยึด ผน จุดขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อคิดเทียบกับเวลาที่ให้เพิ่มขึ้นจึงไม่คุ้มค่าที่จะเพิ่มเวลาในการผสมขึ้นเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงกระแทก ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

#### 4.3 การศึกษาความแตกต่างของการใช้พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งาน กับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ

การนำพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ในการศึกษาจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตและต้องทดสอบสมบัติต่างๆ จึงต้องใช้พอลิสไตรีนจำนวนมากซึ่งหากใช้เวลาในการรวบรวมต้องใช้เวลา งานวิจัยนี้จึงใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานในการทดสอบจากโรงงานที่ทำการผลิต ดังนั้นในการนำไปใช้งานพอลิสไตรีนจากทั้งสองแหล่งอาจมีสมบัติที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบสมบัติของพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากการผ่านการใช้งานจริงๆ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแหล่งที่มาของพอลิस्टาไทริน

จากผลการศึกษาในรูปที่ 4.36 พบว่าสมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยโดยบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมีความแข็งแรงมากกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบเล็กน้อยเนื่องจากเมื่อนำไปใช้งานบรรจุภัณฑ์ต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น สัมผัสแสงและอากาศจึงอาจเกิดการเสื่อมสภาพทำให้มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นลดลงแต่ความแข็งแรงถึง มอดูลัสและความแข็งกมมีค่าสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบเล็กน้อย ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบเล็กน้อย



รูปที่ 4.36 สมบัติเชิงกลของพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานและพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ

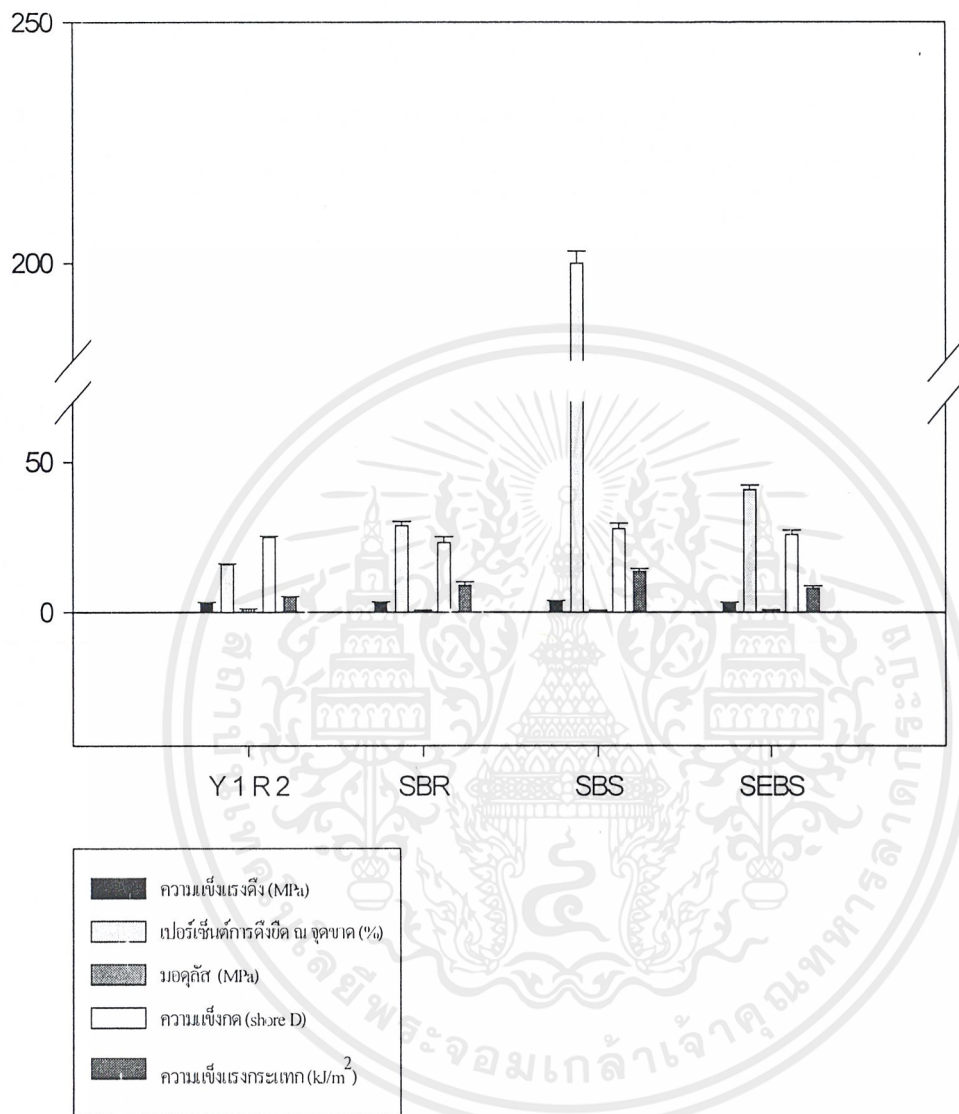
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาถึงความแตกต่างของสมบัติเชิงกลพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานกับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบพบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นผลการศึกษาที่ได้ศึกษามาแล้วและที่จะทำการศึกษาต่อไปจึงมีความใกล้เคียงกับการศึกษาที่ใช้พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานมาก

#### 4.4 การศึกษาผลของการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสม

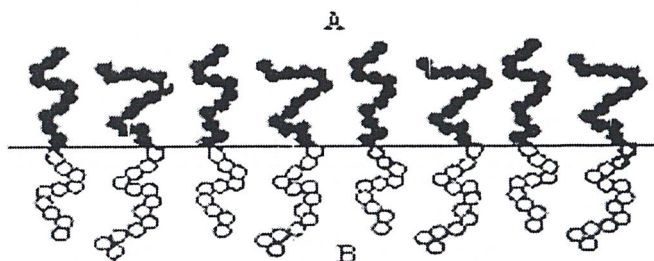
สารช่วยผสมซึ่งนำมาเติมลงในพอลิเมอร์ผสมประกอบไปด้วยสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) สไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอีนสไตรีน (SEBS) และสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน (SBS) ซึ่งสารช่วยผสมนี้มีส่วนประกอบของพอลิสไตรีนและบิวทาไดอีนซึ่งมีส่วนประกอบที่คล้ายกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติเป็นส่วนประกอบจึงมีแนวโน้มทำให้เข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาค (entanglement) ของพอลิเมอร์ผสมได้

จากรูปที่ 4.37 เมื่อเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอีนสไตรีน และสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบโคบล็อกและไตรบล็อกตามลำดับลงในพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากสไตรีนบิวทาไดอีนเป็นโคบล็อกพอลิเมอร์จึงเข้าไปเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคได้ไม่ดีเท่าโคบล็อกพอลิเมอร์เนื่องจากในหนึ่งสายโซ่ของโคบล็อกเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคในลักษณะเป็นวงจึงเกี่ยวพันได้ดีกว่าโคบล็อกซึ่งมีการยึดระหว่างวัฏภาคเป็นเส้นดังรูปที่ 4.38 ส่วนสไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอีนสไตรีนซึ่งเป็นไตรบล็อกพอลิเมอร์แต่มีส่วนที่เป็นเอทิลีนอยู่ด้วยจึงอาจทำให้เกิดการแยกวัฏภาคขึ้นทำให้เกิดการช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคได้ไม่ดี แต่เมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเป็นสารช่วยผสมพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 12 เท่าเมื่อเทียบกับที่ยังไม่เติมสารช่วยผสมและค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับที่ยังไม่เติมสารช่วยผสมเนื่องจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนมียางเป็นส่วนประกอบหลักเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีพอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้ผสมเข้ากับพอลิเมอร์ผสมที่มีอยู่ได้ดีเกิดการแยกวัฏภาคน้อยลงและสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเป็นโคบล็อกพอลิเมอร์จึงเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคของพอลิสไตรีนและยางได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าโคบล็อกพอลิเมอร์ดังรูปที่ 4.38 จึงทำให้ความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มสูงขึ้นมาก [32, 36]

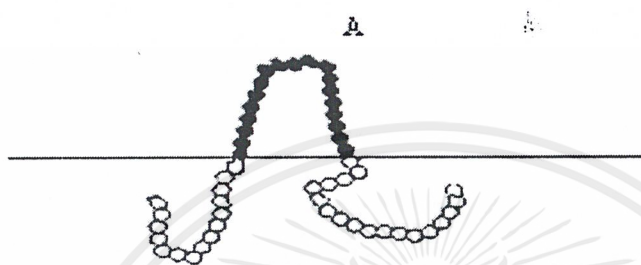


รูปที่ 4.37 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีนเอทิลีน บิวทาไดอีน สไตรีนและสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณ 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A) Diblock copolymer



B) Triblock copolymer

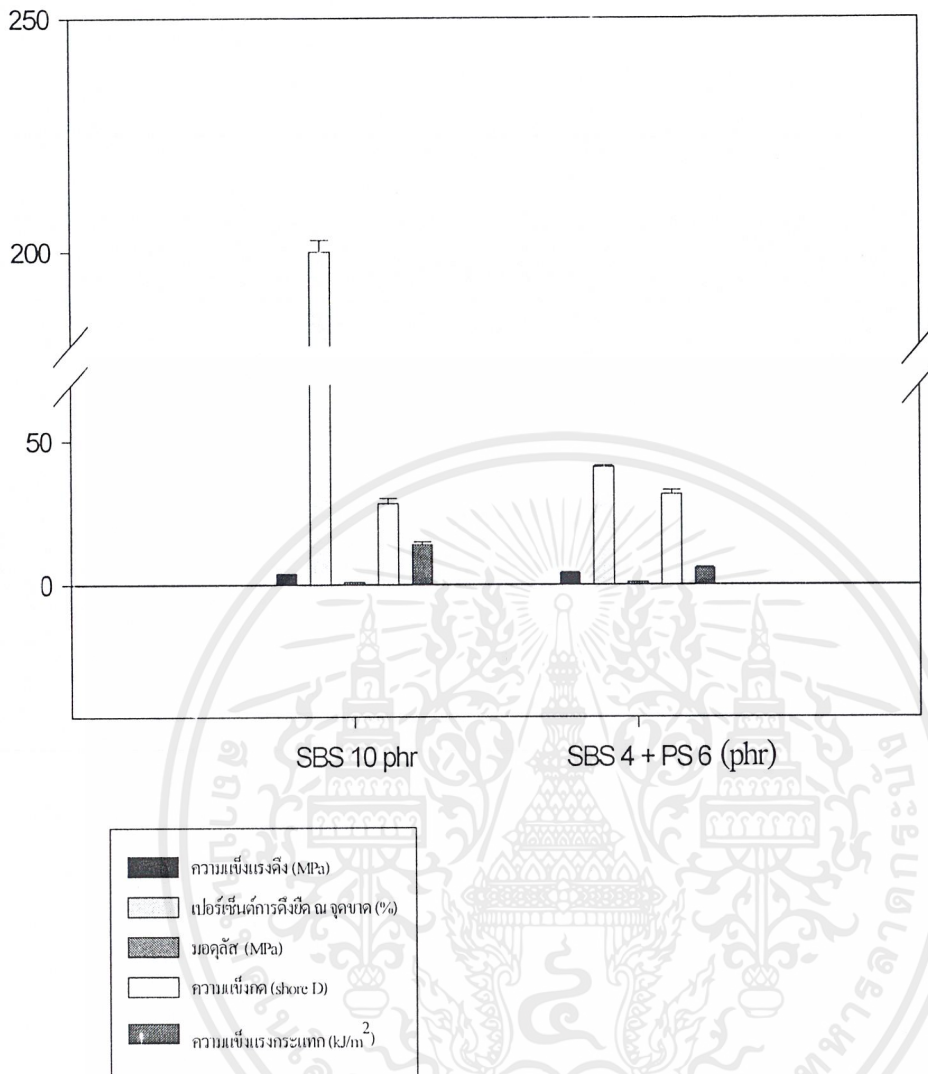
รูปที่ 4.38 ลักษณะการเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคของสารช่วยผสมแบบต่างๆ [48]

A) พอลิเมอร์ร่วมแบบไดบล็อก

B) พอลิเมอร์ร่วมแบบไตรบล็อก

จากการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมพบว่ามีความยืดหยุ่นและรับแรงกระแทกได้ดี แต่ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าต่ำจึงเพิ่มปริมาณพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ขึ้นอีก 6 phr เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่พอลิเมอร์ผสมและลดปริมาณของสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่ใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมเหลือ 4 phr เพื่อลดต้นทุน

จากรูปที่ 4.39 เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่พอลิเมอร์ผสมพบว่าเมื่อเพิ่มพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความยืดหยุ่นลดลง ส่วนการลดปริมาณของสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเพื่อลดต้นทุนทำให้การเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคลดลงเนื่องจากสารช่วยผสมที่เข้าไปเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคมีปริมาณลดลงการยึดเหนี่ยวจึงเกิดได้ไม่ทั่วถึงความยืดหยุ่นจึงลดลง



รูปที่ 4.39 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณ 10 phr เปรียบเทียบกับเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน 4 phr และพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 6 phr

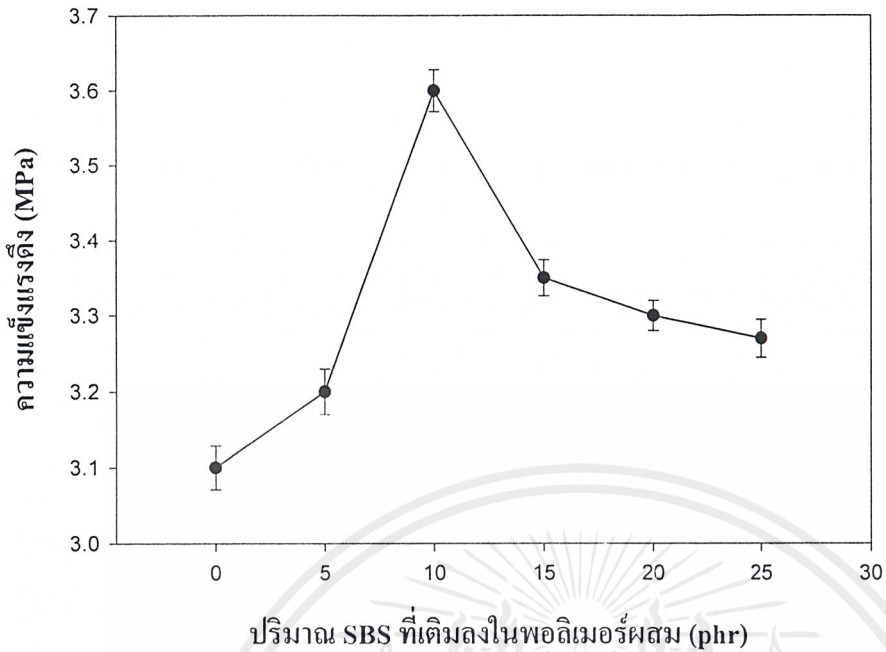
จากรูปที่ 4.37 และ 4.39 พบว่าการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคของพอลิสไตรีนและยางได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงานรองรับแรงกระแทก ส่วนการเพิ่มปริมาณพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดปริมาณสารช่วยผสมเพื่อลดต้นทุนพบว่าทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ความยืดหยุ่นและการเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคลดลงอย่างมากจึงควรใช้อัตราส่วนของพอลิสไตรีนเดิมคือที่พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ 1 ส่วนผสมกับยาง 2 ส่วน ส่วนการหาปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมจะทำการศึกษาในตอนที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

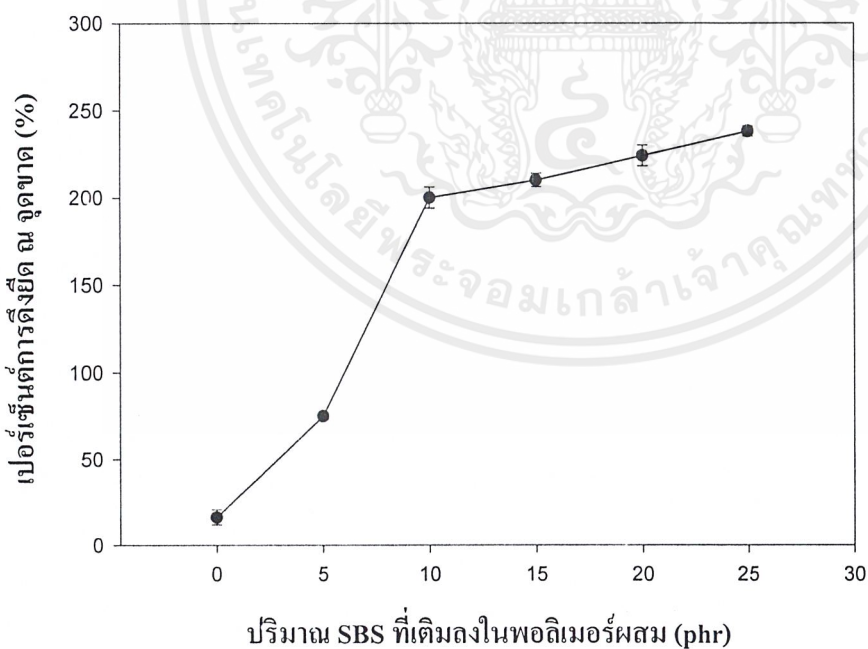
#### 4.5 การศึกษาหาปริมาณการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เหมาะสมลงในพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาในตอนที 4.4 พบว่าสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนสามารถช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคได้ดีโดยปริมาณของสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เติมเข้าไปต้องมีปริมาณที่เหมาะสมเพราะหากมีปริมาณน้อยจนเกินไปจะทำให้การเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคและการกระจายตัวเกิดได้ไม่ทั่วถึงในทางตรงกันข้ามหากมีมากเกินไปอาจทำให้สารช่วยผสมที่เติมเข้าไปเกิดแยกวัฏภาคเป็นอีกวัฏภาคหนึ่งทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมต่ำลงและทำให้ความแข็งแรงลดลงเนื่องจากสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนมียางบิวทาไดอีนเป็นส่วนประกอบหลักเมื่อใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมในปริมาณมากๆจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นสูงแต่ความแข็งแรงลดลง

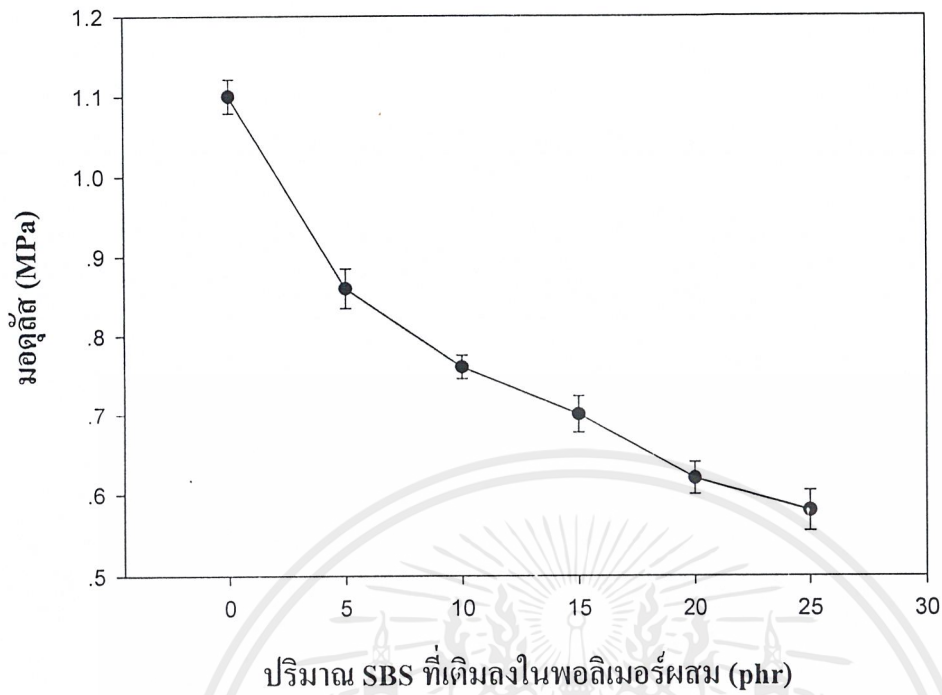
จากการศึกษาผลของการเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกันพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเนื่องจากในช่วงแรกสารช่วยผสมเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคและช่วยในการกระจายตัว ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกจึงเพิ่มสูงขึ้นแต่เมื่อใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมในปริมาณที่มากเกินไปความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเพราะสารช่วยผสมที่มากเกินไปเกิดการแยกวัฏภาคออกมาเป็นอีกหนึ่งวัฏภาคทำให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกลดลง (รูปที่ 4.40 และ 4.44) ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.41) ค่ามอดูลัสและความแข็งกดมีค่าลดลง (รูปที่ 4.42 และ 4.43) เนื่องจากเมื่อใส่สารช่วยผสมปริมาณมากๆทำให้มียางอยู่ในพอลิเมอร์ผสมปริมาณมากจึงทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นแต่ความแข็งแรงลดลง [32, 36]



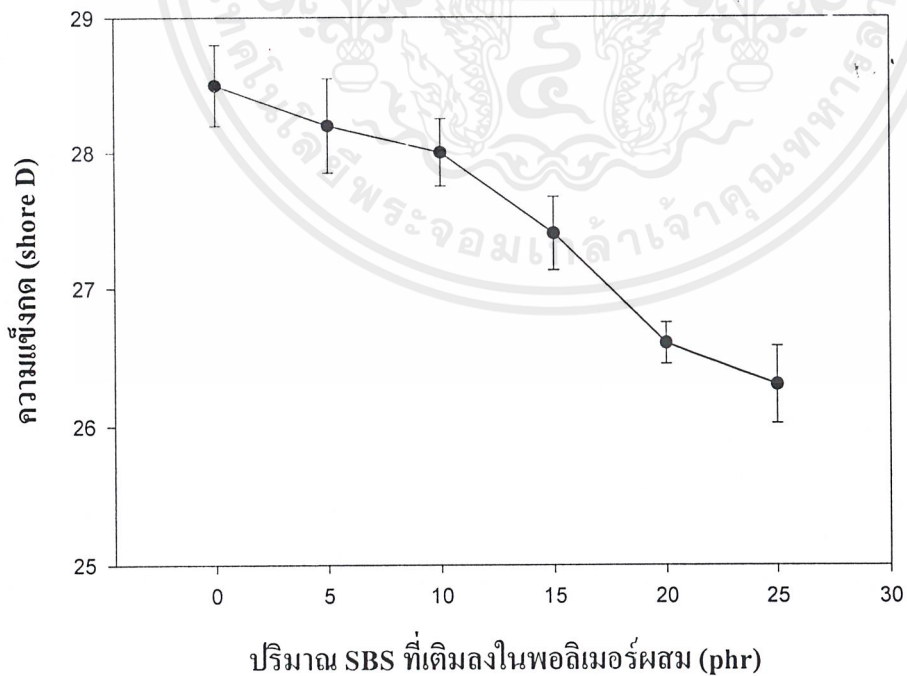
รูปที่ 4.40 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณต่างๆกัน



รูปที่ 4.41 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีนปริมาณต่างๆกัน

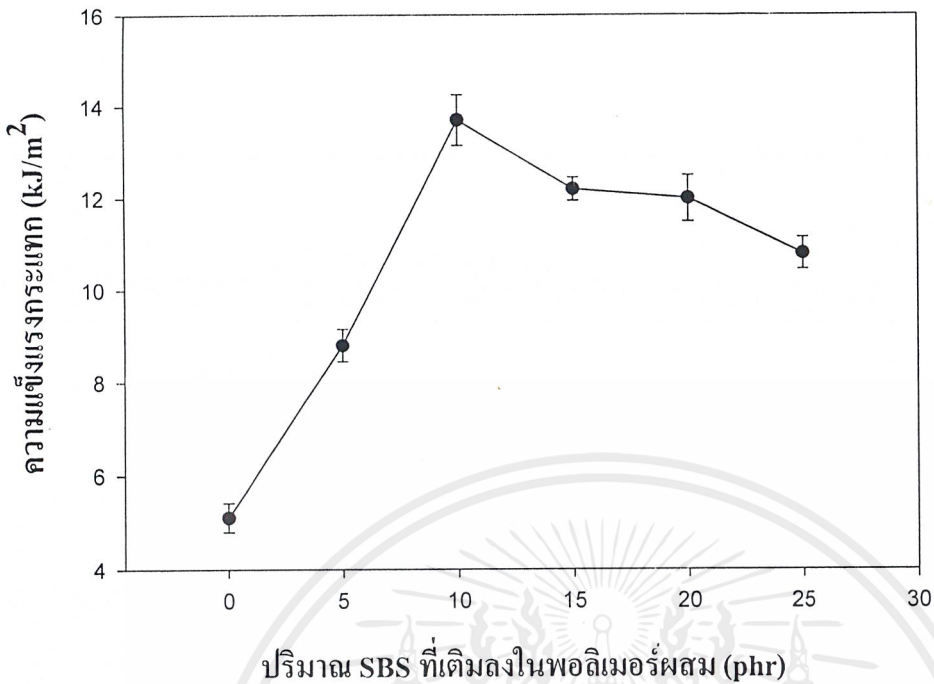


รูปที่ 4.42 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน



รูปที่ 4.43 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน ปริมาณต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.40 – 4.44 และตารางที่ 4.3 ปริมาณของสารช่วยผสมที่ควรนำมาใช้ควรเป็นที่ 10 phr เพราะที่อัตราส่วนนี้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 12 เท่าเมื่อเทียบกับที่ไม่เติมสารช่วยผสมและค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับที่ไม่เติมสารช่วยผสมจึงเหมาะสมนำไปใช้ในงานรองรับแรงกระแทกส่วนสมบัติอื่นๆอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยหากใช้ปริมาณที่น้อยหรือมากกว่านี้ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงอย่างมาก จากค่าความหนาแน่นพบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลงเนื่องจากสารช่วยผสมมีความหนาแน่นน้อยกว่าพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติเมื่อผสมลงในพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสมลดลง

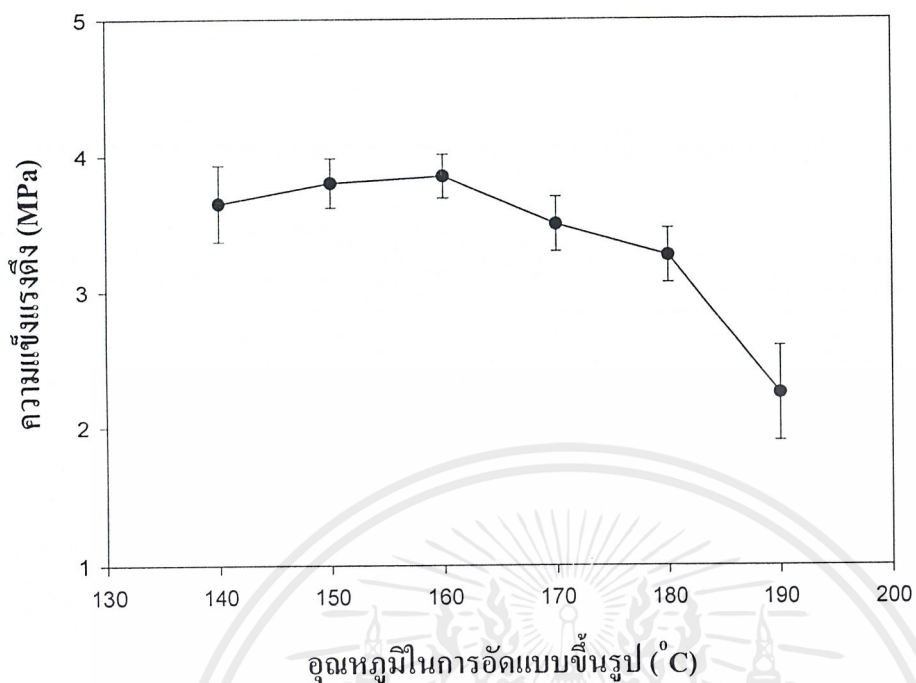
ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมก่อนและหลังเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีน สไตรีน

ชนิดของพอลิเมอร์	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งกด (Shore D)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m <sup>2</sup> )	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
Y1R2	3.0	16.0	1.1	25.5	5.0	942.0
Y1R2 + SBS 10 phr	3.6	200.0	0.7	28.0	13.7	937.0

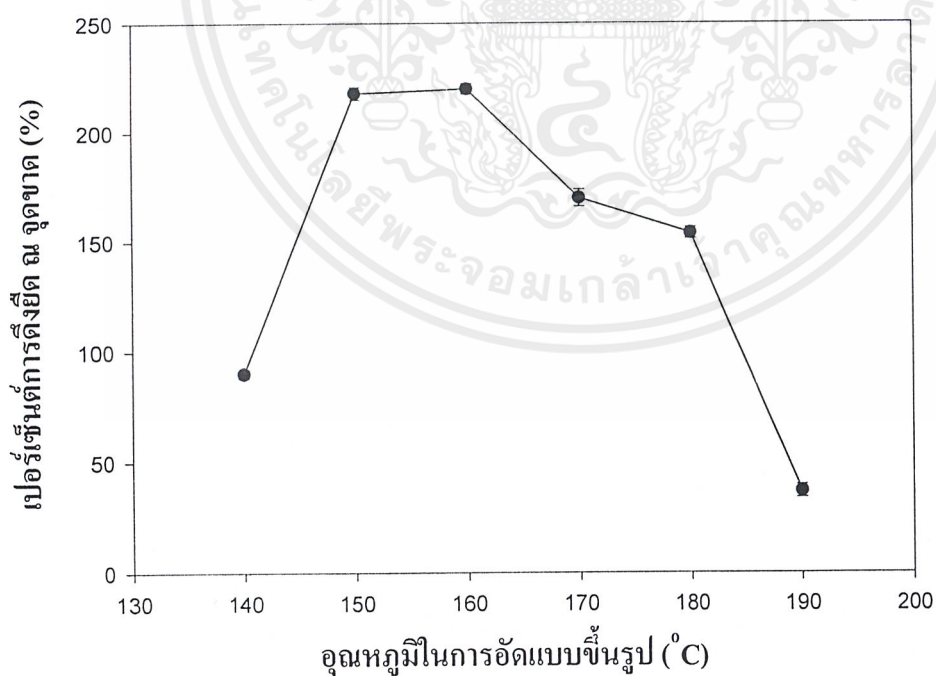
#### 4.6 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปมีความสำคัญต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้อย่างมากเพราะหากใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ต่ำไปจะทำให้พอลิเมอร์หลอมเข้ากันได้ไม่ดี ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปในการขึ้นรูปจะทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ลดลงดังนั้นในการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิในการขึ้นรูปให้เหมาะสมกับพอลิเมอร์ที่ใช้

จากการศึกษาพบว่าสมบัติเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.45 – 4.49) ในช่วงแรกที่เพิ่มอุณหภูมิในการอัดร้อนขึ้นรูปเพราะที่อุณหภูมิแรกที่ทำการศึกษาคือที่ 140 องศาเซลเซียสยังไม่ถึงจุดหลอมตัวของพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมยังไม่หลอมเข้ากันทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าต่ำแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นพอลิเมอร์หลอมรวมเข้ากันได้ดีสมบัติเชิงกลจึงเพิ่มขึ้น [47] โดยสมบัติเชิงกลต่างๆที่ได้มีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดร้อนขึ้นรูปที่ 160 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงกว่านี้สมบัติเชิงกลต่างๆมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิขึ้นรูปที่สูงมากเกินไปทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสียดสภาพทำให้สมบัติเชิงกลลดลงดังนั้นอุณหภูมิในการอัดแบบขึ้นรูปที่เหมาะสมคือที่ 160 องศาเซลเซียสเพราะพอลิเมอร์เกิดการหลอมผสมเข้ากันได้ดีทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าสูงขึ้น

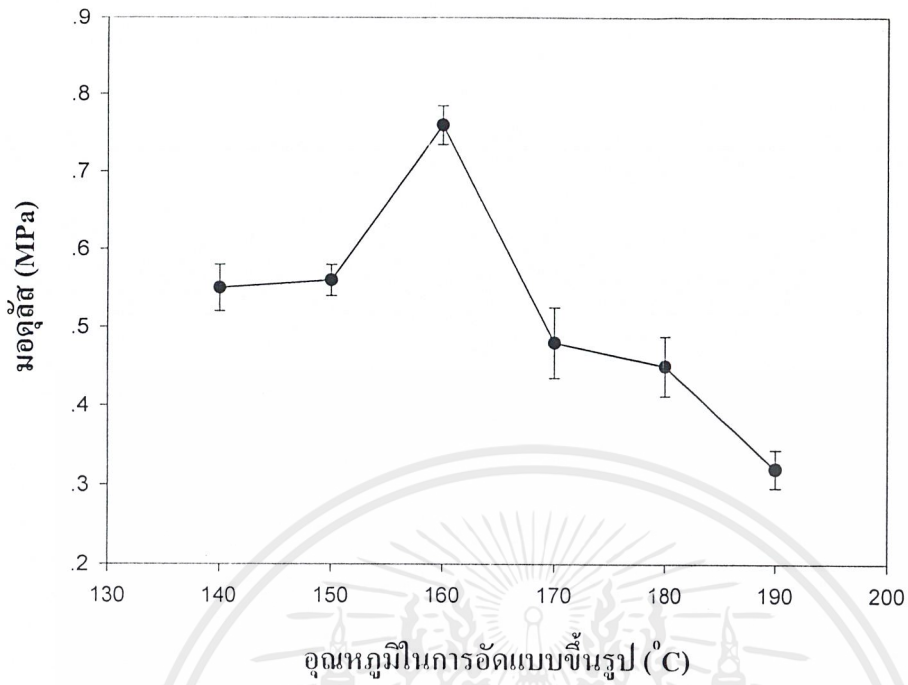


รูปที่ 4.45 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

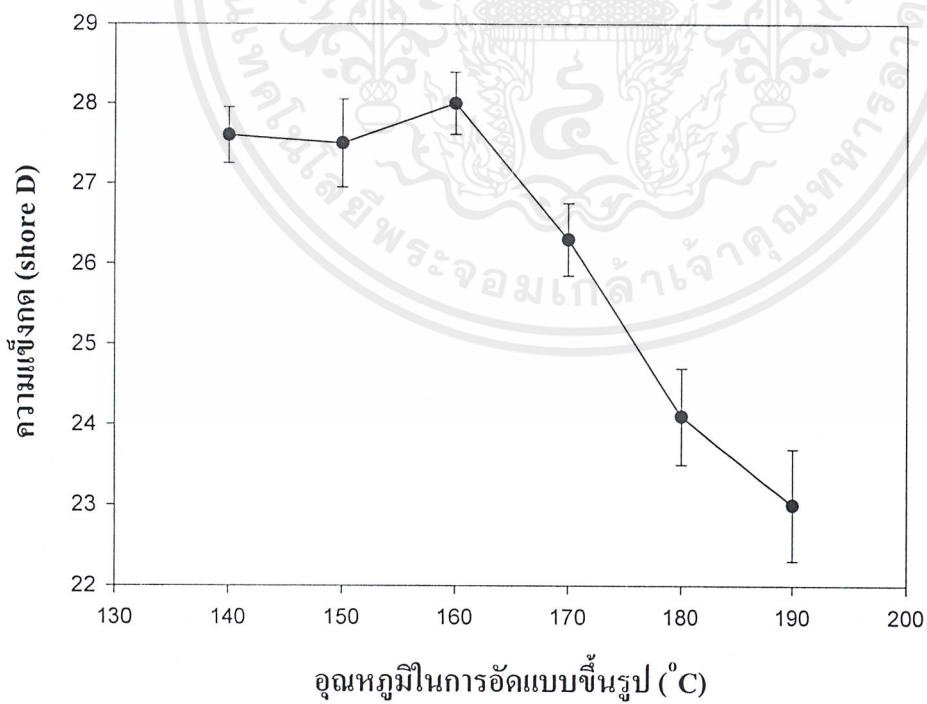


รูปที่ 4.46 เปอร์เซนต์การดิ่งยัด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

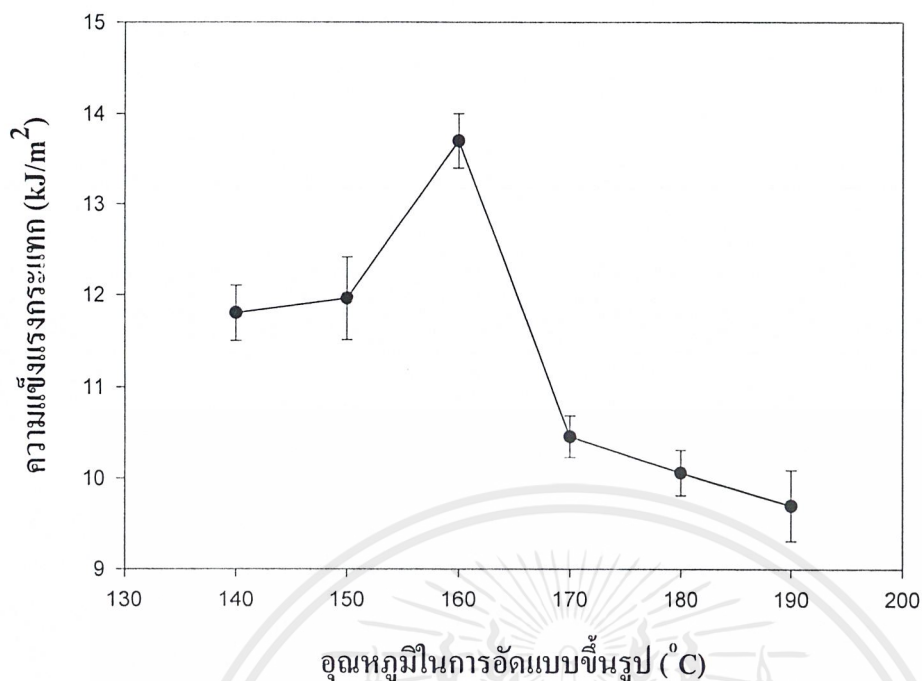


รูปที่ 4.47 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน



รูปที่ 4.48 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



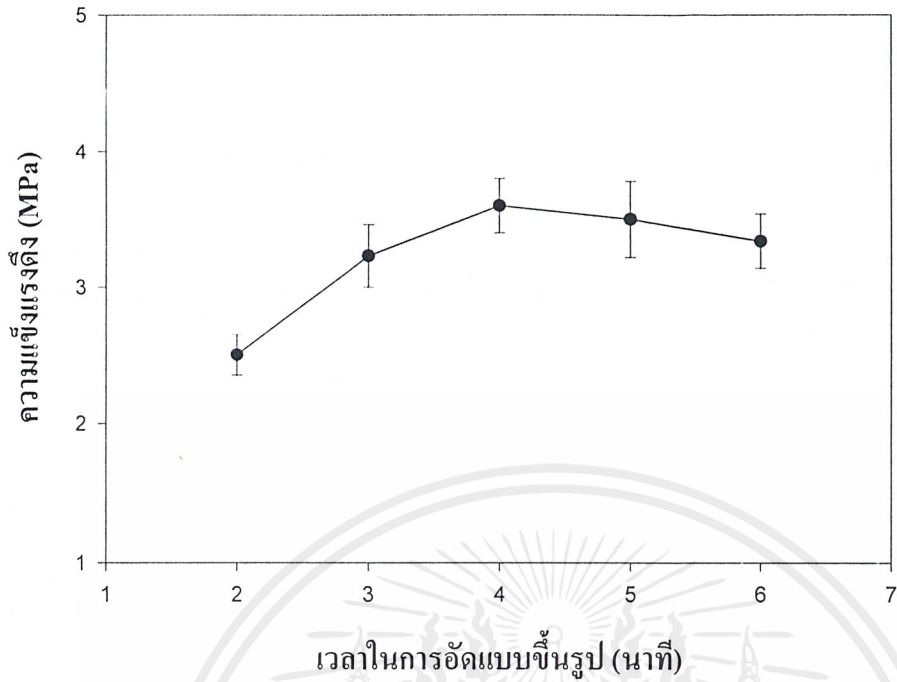
รูปที่ 4.49 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

#### 4.7 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

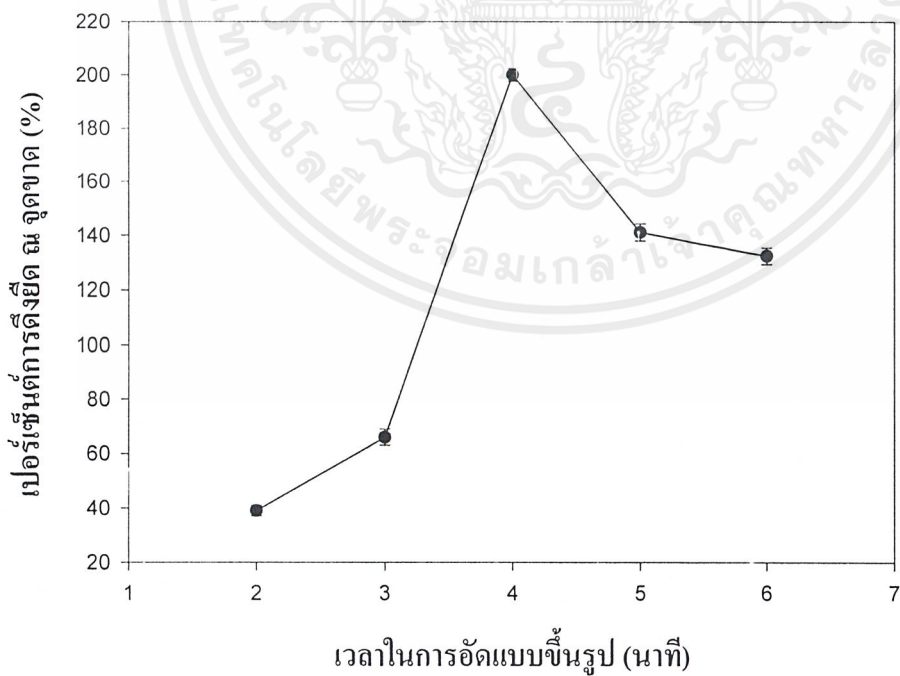
เวลาในการขึ้นรูปขึ้นงานเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องควบคุมให้เหมาะสมกับพอลิเมอร์ที่ใช้ขึ้นรูป เพราะพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปแตกต่างกัน การใช้เวลาไม่เหมาะสมให้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้อุณหภูมิไม่เหมาะสมคือถ้าใช้เวลาขึ้นรูปน้อยไปทำให้พอลิเมอร์ยังไม่หลอมเข้ากันและหากใช้เวลาขึ้นรูปมากจนเกินไปพอลิเมอร์อาจเกิดการเสียคุณภาพได้

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการอัดแบบขึ้นรูป (รูปที่ 4.50 – 4.54) พบว่าได้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาอุณหภูมิในการขึ้นรูปคือในช่วงแรกที่เพิ่มเวลาในการขึ้นรูปพอลิเมอร์เกิดหลอมรวมกันได้ดีขึ้นแต่เมื่อใช้เวลาขึ้นรูปนานมากจนเกินไปทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง [47]

เมื่อพิจารณาจากช่วงเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปทั้งหมดที่ใช้พบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือที่ 4 นาที เนื่องจากในช่วงเวลานี้พอลิเมอร์ผสมเกิดการหลอมรวมเข้ากันได้ดีทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลสูง

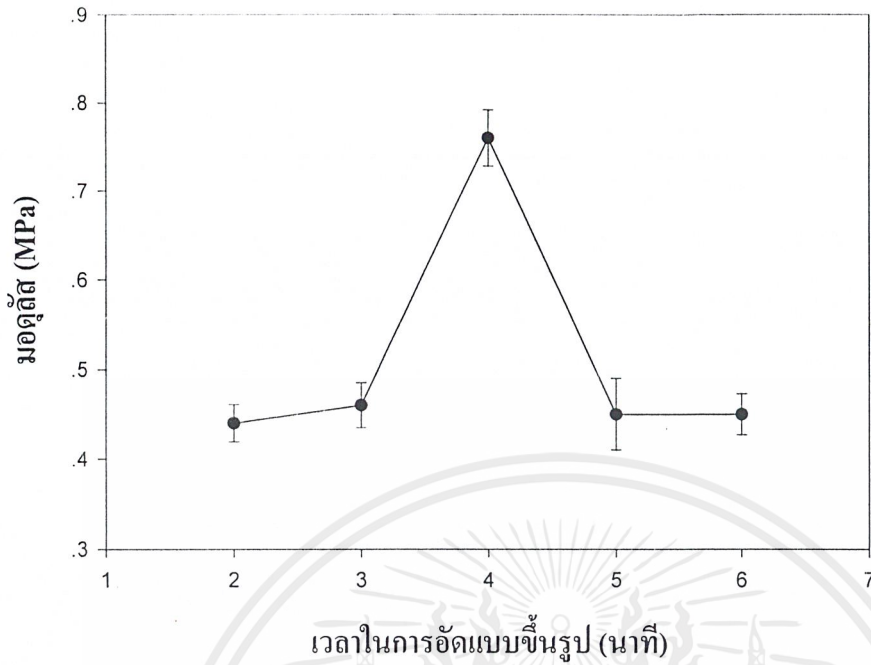


รูปที่ 4.50 ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

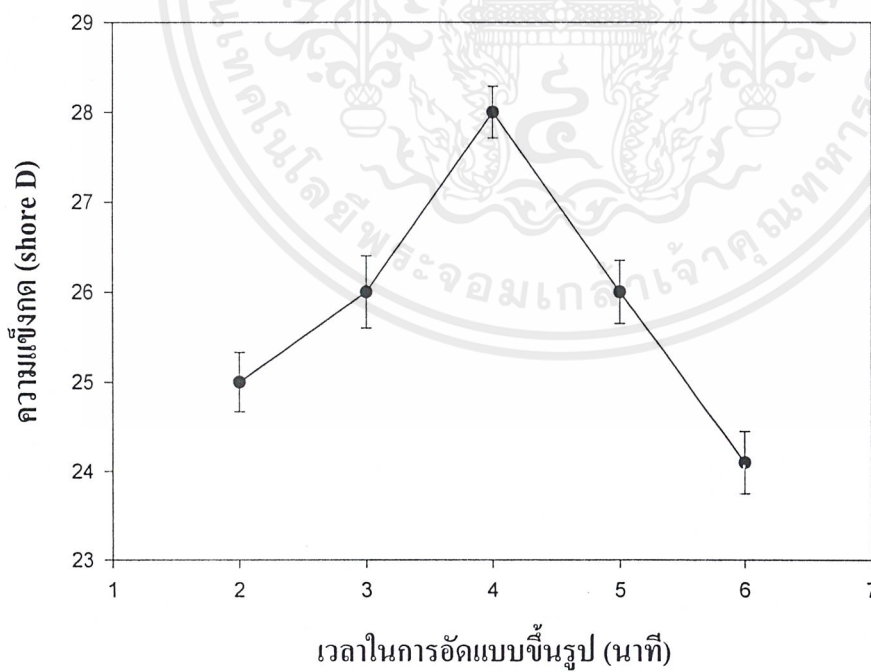


รูปที่ 4.51 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

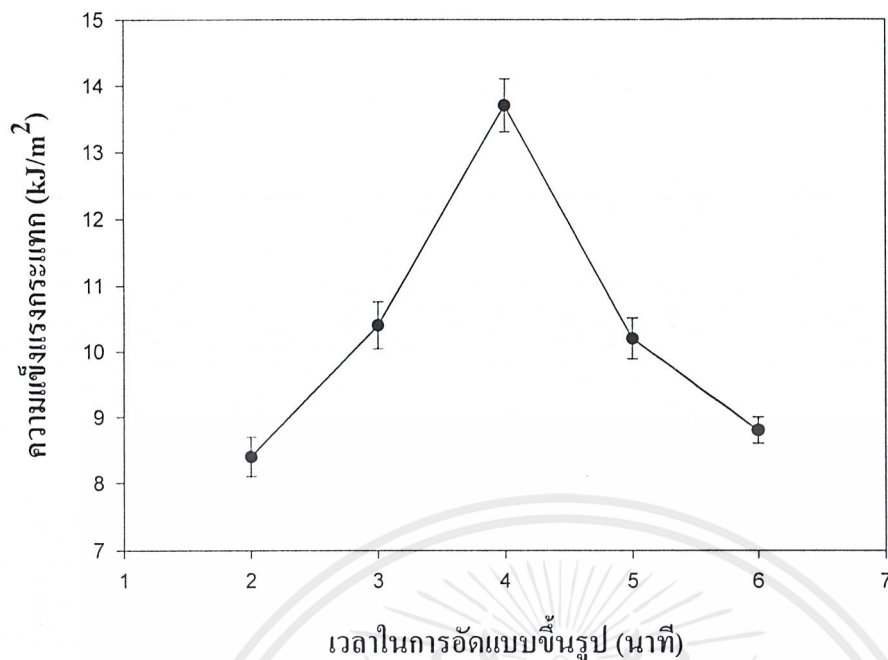


รูปที่ 4.52 มอดุลัสของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน



รูปที่ 4.53 ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่เวลาอัดแบบขึ้นรูปต่าง ๆ กัน

#### 4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคไดนามิกเมคานิคอลเทอร์มอลออลนาไลซิส (DMTA)

การศึกษาด้วยเทคนิคไดนามิกเมคานิคอลเทอร์มอลออลนาไลซิส (DMTA) เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) โดยหาจากจุดสูงสุดของพีก  $\tan \delta$  (Tan  $\delta$ ) โดยค่า  $\tan \delta$  แสดงถึงความสามารถในการกระจายพลังงานของวัสดุ วัสดุที่มีค่า  $\tan \delta$  ต่ำเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานที่ดีมีการกระจายพลังงานที่ได้ออกไปได้น้อย

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

ชนิดของพอลิเมอร์	$T_g$ (°C)	Tan $\delta$
พอลิสไตรีน	104.00	0.64
ยางธรรมชาติ	-54.00	1.20
สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน	-90.00 , 80.00	0.40 , 0.75
พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติ	-55.00 , 110.00	0.40 , 1.40
พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติ เมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน 10 phr	-50.00 , 115.00	0.45 , 2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าพอลิสไตรีนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 104 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกรูปที่ 1) ขงธรรมชาติมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ -54 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกรูปที่ 2) สไตรีนบิวทาไดอีนมีฟีกปรากฏ 2 ฟีกเพราะมีส่วนประกอบ 2 ชนิดคือขงบิวทาไดอีนพบฟีกที่ -90 องศาเซลเซียสส่วนฟีกของพอลิสไตรีนพบที่ 80 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกรูปที่ 3) ในส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเกิดขึ้น 2 จุดคือขงขงธรรมชาติที่ -55 องศาเซลเซียสกับขงพอลิสไตรีนที่ 110 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกรูปที่ 4) และเมื่อใส่สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมมีฟีกปรากฏขึ้น 2 ฟีกโดยค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเมื่อใส่สารช่วยผสมมีค่าสูงขึ้น โดยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วในส่วนของขงมีค่าสูงขึ้นเป็น -50 องศาเซลเซียส ส่วนพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นเป็น 115 องศาเซลเซียส (ภาคผนวกรูปที่ 5) โดยที่เป็นเช่นนี้เกิดขึ้นมาจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคและเข้าไปช่วยกระจายพอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมทำให้สายโซ่ขงพอลิเมอร์ยึดกันแน่นยิ่งขึ้นส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีปริมาตรอิสระลดลง (Free volume) การเปลี่ยนโครงรูป (Conformation) ขงโครงสร้างสายโซ่พอลิเมอร์เกิดได้ยากขึ้นพลังงานที่ใช้ทำให้พอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนสถานะจึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มสูงขึ้น [36, 42]

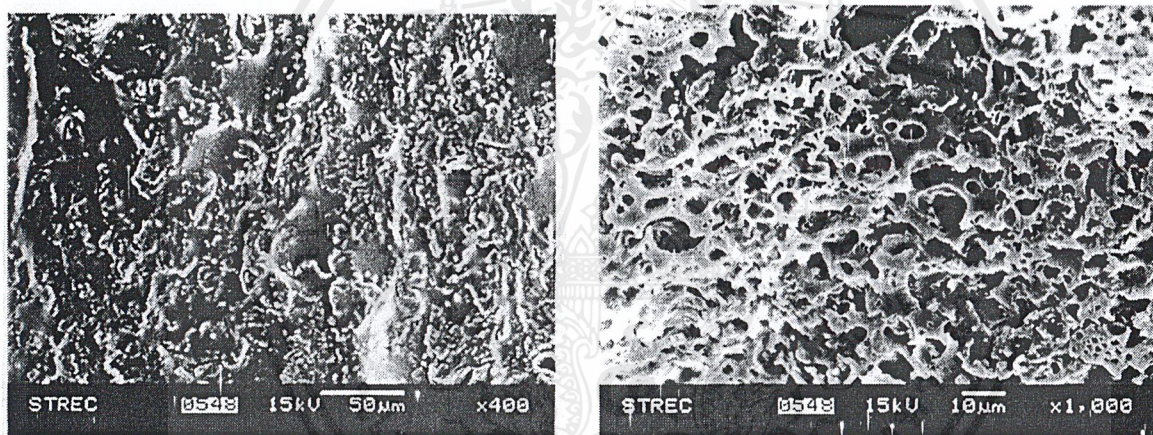
ในส่วนของค่า  $\tan \delta$  พบว่าพอลิสไตรีนเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงเปราะมีการกระจายพลังงานได้ไม่ดีจึงทำให้มีค่า  $\tan \delta$  ต่ำ ในทางตรงข้ามขงและสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถกระจายพลังงานที่ได้รับไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ดีจึงทำให้มีค่า  $\tan \delta$  สูง เมื่อทำเป็นพอลิเมอร์ผสมพบว่าค่า  $\tan \delta$  เกิดขึ้น 2 ตำแหน่งมีค่าเป็น 0.4 และที่ 1.40 และเมื่อใส่สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเข้าไปเป็นสารช่วยผสมทำให้ค่า  $\tan \delta$  เพิ่มขึ้นเป็น 0.45 และ 2.00 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่ใส่ลงในพอลิเมอร์ผสมเข้าไปช่วยในการกระจายตัวของพอลิสไตรีนและเข้าไปเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคทำให้พอลิเมอร์ผสมยืดหยุ่นและกระจายพลังงานที่ได้รับไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ดีขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสอดคล้องกับผลขงสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นจากการศึกษาตอนที่ 4.4 และภาพถ่าย SEM จากการศึกษาค้นคว้าที่ 4.9 ซึ่งพบว่าเมื่อใส่สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้การกระจายตัวของสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมเกิดได้ดีขึ้น

## 4.9 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) เพื่อดูการกระจายตัวของพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติโดยสังเกตการกระจายตัวที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังจากที่เติมสารช่วยผสมชนิดต่างๆเพื่อดูประสิทธิภาพของสารช่วยผสมชนิดต่างๆในการช่วยเพิ่มสมบัติต่างๆให้แก่พอลิเมอร์ผสม

จากรูปที่ 4.55 ภาพ ก เป็นภาพของพอลิเมอร์ผสมก่อนสกัดเอาพอลิสไตรีนซึ่งเป็นส่วนที่กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ที่เป็นยาง จากภาพพบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดอยู่รวมกันจึงเห็นเป็นพื้นผิวขรุขระไม่มีรูพรุน รูปที่ 4.55 ภาพ ข เป็นภาพของพอลิเมอร์ผสมหลังจากสกัดเอาส่วนที่เป็นพอลิสไตรีนออกด้วยตัวทำละลายจะเห็นส่วนที่เป็นรูพรุนเกิดขึ้นซึ่งรูพรุนเหล่านี้คือส่วนของพอลิสไตรีนที่ถูกสกัดออกไป



ภาพ ก

ภาพ ข

รูปที่ 4.55 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

ก) ก่อนสกัดด้วยตัวทำละลายที่กำลังขยาย 400 เท่า

ข) หลังจากทำการสกัดด้วยตัวทำละลายที่กำลังขยาย 1000 เท่า

### 4.9.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสม

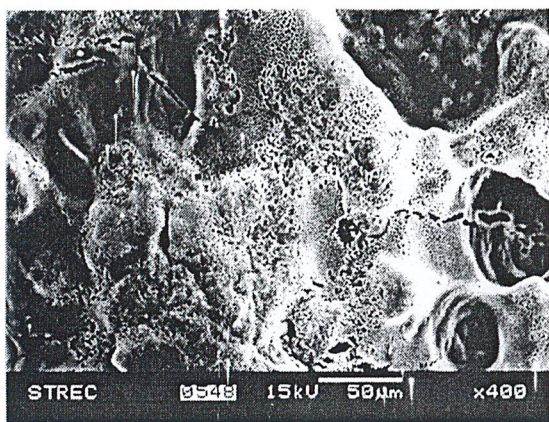
จากรูปที่ 4.56 พบว่าการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมช่วยให้พอลิสไตรีนมีการกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีขึ้นโดยสังเกตได้จากรูพรุนที่เกิดจากการกระจายตัวของพอลิสไตรีนมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.55 ภาพ ข ซึ่งไม่มีการเติมสารช่วยผสม โดยจากภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

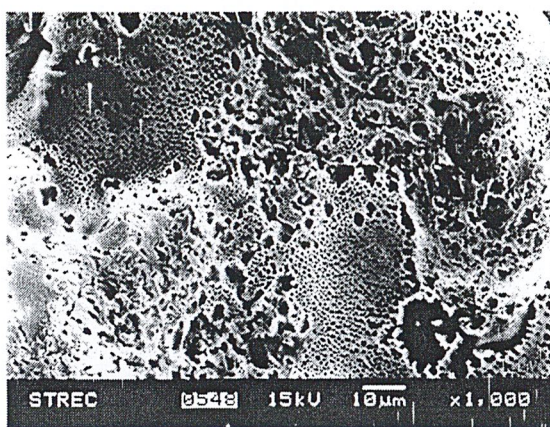
ถ่าย SEM พบว่าสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนสามารถช่วยกระจายพอลิสไตรีนได้ดีที่สุด จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 4.4 [32, 36]

#### 4.9.2 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณ ต่างๆกัน

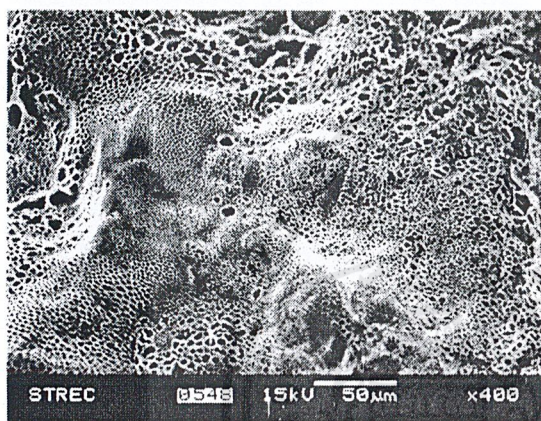
จากรูปที่ 4.57 ผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดมีผลตรงกับผลการทดลองตอนที่ 4.5 คือเมื่อเพิ่มปริมาณสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนในพอลิเมอร์ผสมเป็น 10 phr ดังภาพ ก และ ง และ 15 phr ดังภาพ จ และ ฉ ทำให้พอลิสไตรีนมีการกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีขึ้นตามลำดับ โดยสังเกตได้จากรูพรุนที่เกิดจากการกระจายตัวของพอลิสไตรีน มีขนาดเล็กลงและมีความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณสารช่วยผสม 5 phr ดังภาพ ก และ ข ซึ่งผลจากการกระจายตัวที่ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนทำให้ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่ามอดุลัสและความแข็งกมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมเนื่องจากส่วนประกอบหลักของสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนคือยางซึ่งมีความยืดหยุ่นเมื่อเพิ่มปริมาณจึงทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับผลการทดลองตอนที่ 4.5 พบว่าปริมาณสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เหมาะสมคือที่ปริมาณ 10 phr [32, 36]



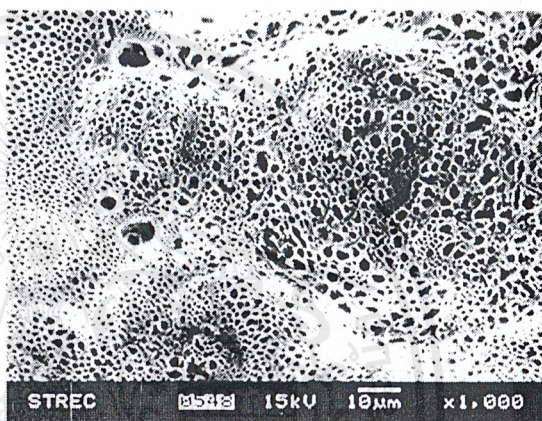
ภาพ ก



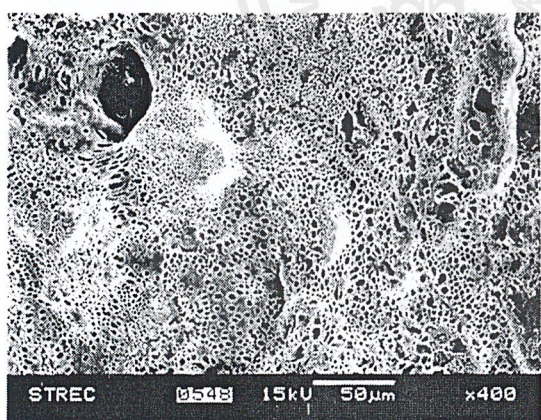
ภาพ ข



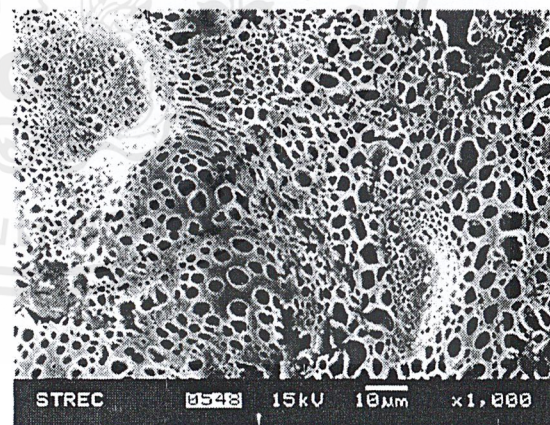
ภาพ ค



ภาพ ง



ภาพ จ



ภาพ ฉ

รูปที่ 4.56 สันฐานวิทยาพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสมชนิดต่างๆปริมาณ 10 phr

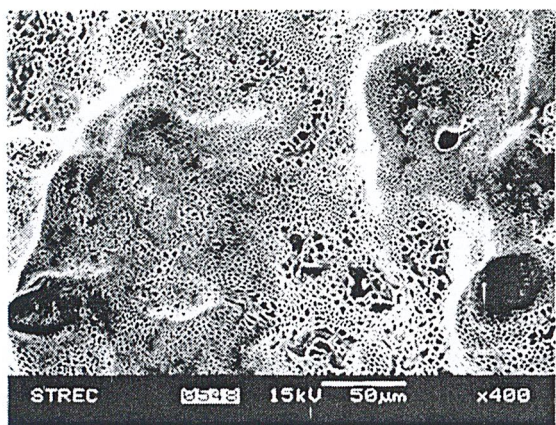
ก) และ ข) สไตรีนบิวทาไดอิน

ค) และ ง) สไตรีนบิวทาไดอินสไตรีน

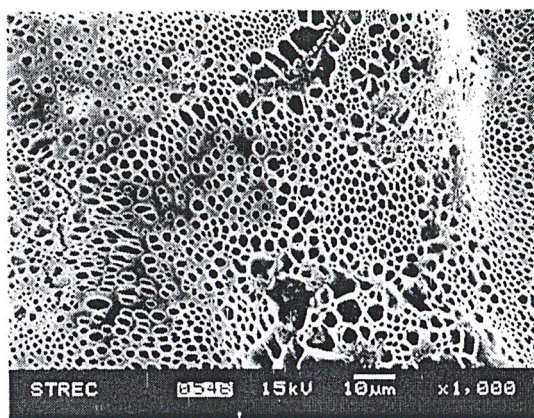
จ) และ ฉ) สไตรีนเอทิลีนบิวทาไดอินสไตรีน

โดยใช้กำลังขยาย 400 และ 1000 เท่าตามลำดับ

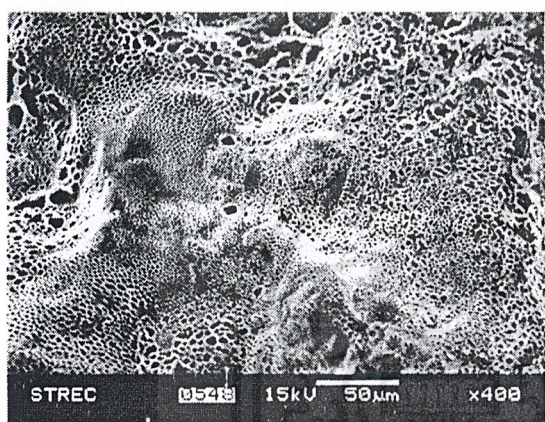
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



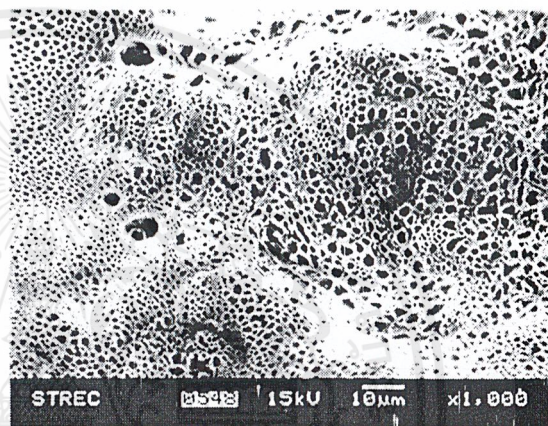
ภาพ ก



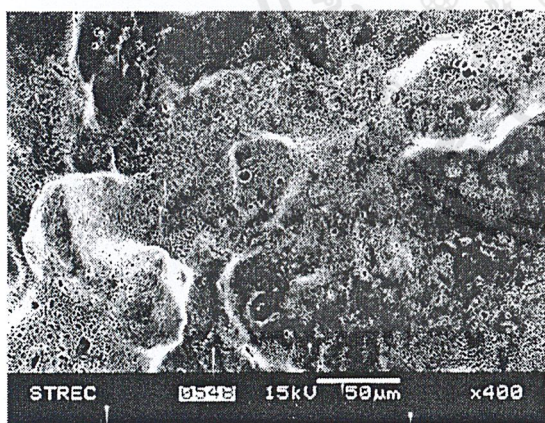
ภาพ ข



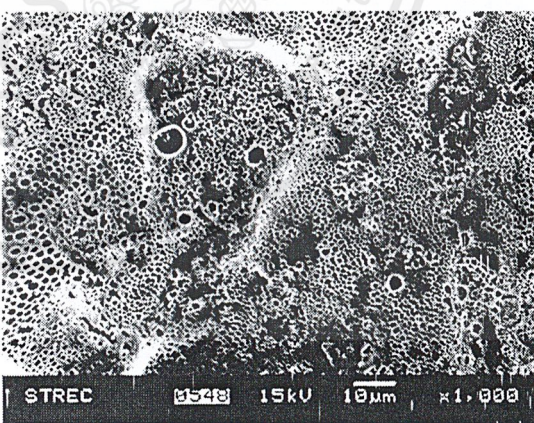
ภาพ ค



ภาพ ง



ภาพ จ



ภาพ ฉ

รูปที่ 4.57 สันฐานวิทยาพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนปริมาณต่างๆกัน

ก) และ ข) 5 phr

ค) และ ง) 10 phr

จ) และ ฉ) 15 phr

โดยใช้กำลังขยาย 400 และ 1000 เท่าตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำพอลิस्टาไทรินและยางธรรมชาติที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยนำถุงมือยางที่ผลิตจากยางธรรมชาติซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบนำมาผสมกับพอลิस्टาไทรินเพื่อปรับปรุงความแข็งแรงโดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งจากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดแล้วนำไปขึ้นรูปด้วยการอัดแบบขึ้นรูปจากนั้นนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสถานะวิทยา จากการศึกษาสมบัติต่างๆและปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

#### 5.1.1 ชนิด อัตราส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ในงาน

##### ประเภททนต่อแรงกระแทก

จากการศึกษาพบว่าชนิดของพอลิस्टาไทรินที่เหมาะสมนำมาใช้ใหม่ในงานรับแรงกระแทกคือพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์เนื่องจากเมื่อผสมเข้ากับถุงมือยางที่ผลิตจากยางธรรมชาติแล้วให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าใช้พอลิस्टาไทรินจากโฟมกันกระแทก

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างถุงมือยางกับพอลิस्टาไทรินจากบรรจุภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในงานกันการกระแทกโดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกลคืออัตราส่วนถุงมือยาง 2 ส่วนต่อพอลิस्टาไทริน 1 ส่วนและพบว่าปริมาณของถุงมือยางต่อพอลิस्टาไทรินที่ต่างกันส่งผลต่อสมบัติเชิงกล โดยในอัตราส่วนที่ปริมาณถุงมือยางเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ความแข็งแรงดึง มอดูลัสและความแข็งกมีแนวโน้มลดลง

สภาวะในการผสมที่ใช้เมื่อพิจารณาจากสมบัติเชิงกลควรใช้สภาวะในการผสมดังนี้

1. อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส ลูกกลิ้งหลัง 140 องศาเซลเซียส
2. เวลาในการผสม 10 นาที

โดยที่อุณหภูมิและเวลาในการผสมน้อยกว่านี้พอลิเมอร์ยังไม่หลอมเหลวและการผสมยังเกิดได้ไม่ทั่วถึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดี ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิและเวลามากเกินไปพอลิเมอร์จะได้รับความร้อนสูงและนานมากไปทำให้เกิดการสลายตัวทำให้สมบัติเชิงกลลดลง

### 5.1.2 การเพิ่มเวลาในการผสมพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

จากการศึกษาผลของการเพิ่มเวลาในการผสมพบว่าการผสมเป็นเวลานานทำให้ได้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงขึ้นอีกเล็กน้อย โดยการผสมเป็นเวลานานๆทำให้พอลิเมอร์เกิดการผสมและกระจายตัวได้ดีขึ้นความสามารถในการรับแรงกระแทกจึงมากขึ้น แต่ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อผสมเป็นเวลานานแรงเฉือนจากการผสมอาจทำให้สายโซ่ที่ยึดระหว่างพอลิเมอร์เกิดขาดออกจากกันทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง เมื่อพิจารณาจากความคุ้มค่าทางพลังงานและเวลาที่ใช้เทียบกับความแข็งแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นพบว่าควรใช้การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมโดยการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าเนื่องจากค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในขณะที่สมบัติเชิงกลอื่นๆมีค่าลดลงจึงควรใช้เวลาในการผสมเดิมคือที่ 10 นาที

### 5.1.3 ความแตกต่างของการใช้พอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานกับพอลิสไตรีน

จากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ

จากการศึกษาสมบัติของพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานกับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบ พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกันมากโดยพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นน้อยกว่าพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบเล็กน้อยเนื่องจากเมื่อผ่านการใช้งานบรรจุภัณฑ์ต้องผ่านสภาพแวดล้อมต่างๆจึงอาจเกิดการเสื่อมสภาพทำให้มีความแข็งแรงกว่าก่อนใช้งาน แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากจึงอาจกล่าวได้ว่าพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้งานกับพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานทดสอบมีสมบัติที่ใกล้เคียงกันมาก

### 5.1.4 การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมเมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลพบว่าการเติม SEBS และ SBR ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักเนื่องจาก SEBS มีส่วนที่เป็นเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยจึงทำให้เข้ากับพอลิเมอร์ผสมที่มีอยู่ได้ไม่ดี ส่วน SBR พบว่าเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์ผสมแล้วสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นไม่มากนักเนื่องจากเป็นโคโพลีเมอร์จึงเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคและช่วยกระจายตัวได้ไม่ดี แต่เมื่อใช้ SBS เป็นสารช่วยผสมพบว่าทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นมากเพราะเป็นสารช่วยผสมแบบไตรโคโพลีเมอร์จึงเข้าไปเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคและช่วยในการกระจายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มปริมาณสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่พอลิเมอร์ผสมพบว่าทำให้เกิดการแยกภูมิภาคเพิ่มขึ้นสมบัติเชิงกลจึงลดลง

5.1.5 ปริมาณการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เหมาะสมลงในพอลิเมอร์ผสม จากการศึกษาปริมาณสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสมเพื่อช่วยเกี่ยวพัน ระหว่างภูมิภาคและกระจายตัว เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ 10 phr เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 12 เท่าเมื่อเทียบกับที่ยังไม่เติม สารช่วยผสมและค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับไม่เติม สารช่วยผสม โดยในช่วงแรกที่เติมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมจะเข้าไปช่วย เกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคของสไตรีนกับยางธรรมชาติและช่วยในการกระจายตัวของพอลิสไตรีนที่มี อยู่ในพอลิเมอร์ผสมทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนดีขึ้นแต่เมื่อเติมในปริมาณมาก ๆ อาจมีสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเหลือจากการเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคจึงเกิดแยกตัวออกมาเป็นอีก ภูมิภาคหนึ่งทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง ส่วนค่าความหนาแน่นพบว่าเมื่อเติม สารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนในปริมาณมากขึ้นค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเนื่องจาก สารช่วยผสมมีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้ความหนา แน่นลดลง

#### 5.1.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

จากการศึกษาอุณหภูมิในการอัดแบบขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน โดยพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติ เชิงกลพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยที่ช่วงอุณหภูมินี้ พอลิเมอร์ผสมเกิดการหลอมรวมกันได้ดี หากใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้พอลิเมอร์จะยังไม่หลอมเข้ากัน และถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้พอลิเมอร์จะเกิดการสลายตัวเนื่องจากได้รับความร้อนที่มากเกินไปทำให้ สมบัติเชิงกลลดลง

#### 5.1.7 เวลาที่เหมาะสมในการอัดแบบขึ้นรูป

จากการศึกษาเวลาในการอัดแบบขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน โดยพิจารณาจากผลการทดสอบสมบัติ เชิงกลพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือที่เวลา 4 นาทีโดยที่ช่วงเวลานี้พอลิเมอร์หลอมรวมกัน ได้ดีหากใช้เวลาน้อยหรือมากเกินไปจะให้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้อุณหภูมิในการอัดแบบขึ้นรูป ที่ไม่เหมาะสม

#### 5.1.8 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องไดนามิกเมคานิคอลเทอร์มอลอานาไลเซอร์พบว่า เมื่อเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้สมบัติทางความร้อนของ พอลิเมอร์ผสมดีขึ้น โดยค่า  $T_g$  ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน เข้าไปเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคของสไตรีนและยางจึงเกิดการยึดติดระหว่างภูมิภาคดีขึ้นทำให้ต้องใช้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนเพิ่มขึ้นในการทำให้สายโซ่เคลื่อนตัว ส่วนค่า  $\tan \delta$  เมื่อเติมสไตรีนบิวทาไดอีนลงในพอลิเมอร์ผสมพบว่ามีค่าสูงขึ้นเนื่องจากสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนเข้าไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างภูมิภาคของยางกับพอลิสไตรีนและช่วยในการกระจายพอลิสไตรีนในยางทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

### 5.1.9 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

จากการศึกษาสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว พบว่าการเติมสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีนลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิสไตรีนเกิดการกระจายตัวในยางได้ดีขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการปรับเปลี่ยนกระบวนการผสมเป็นวิธีการอื่นๆ เช่น ผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่หรือเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่มีส่วนของส่วนผสม (Mixing elements) แล้วนำสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสันฐานวิทยาที่ได้มาเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
2. ทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พื้นยางในสำนักงาน และนำไปทดสอบกับการใช้งานจริง

## เอกสารอ้างอิง

1. Milgrom J. **Incentive for Recycle and Reuse of Plastic**. Cambridge : Arthur D.Little. 1972.
2. Leidner J. **Plastic Waste**. New York : Marcel Dekker. 1981.
3. เจษฎา โมกะกุล. “การศึกษาการเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2526.
4. สุรจิตร์ เฟื่องฟู. “การศึกษาการเตรียมและสมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่เตรียมจากยางธรรมชาติ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2529.
5. กัญญา รุจิรานนทพงศ์. “การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษยางที่เหลือใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับเทอร์โมพลาสติก 7 ชนิด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2537.
6. กฤตย์ แสงทอง. “การศึกษาการผสมแบบเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2538.
7. Horak Z. “Mechanical Properties of Polypropylene and High Impact Polystyrene Blend.” **J.Polymer.**, vol. 37, 1996. pp. 65 - 73.
8. Yukitoshi T., Toshihiro I., and Shiro N. “Physical Properties and Structure of a Poly(styrene-co-butadiene) Rubber/Poly(acrylonitrile-co-butadiene) Rubber Latex Mixture Film.” **J.Appl.Polym.Sci.**, vol. 36, 1998. pp. 2493 – 2501.
9. Cho K., Yang J., and Park C.E. “The Effect of Rubber Particle Size on Toughening Behavior of Rubber-Modified Polymethylmethacrylate with Different Test Methods.” **J.Polymer.**, vol. 39, 1998. pp. 3073 – 3081.
10. Poh B.T. and Kasmuri M.B. “Effect of Stearic Acid Concentration on the Reversion Behavior of Epoxidized Nature Rubber.” **J.Appl.Polym.Sci.**, vol. 73, 1999. pp. 1165 – 1170.
11. Sakurai S., Aida S., and Nomura S. “Mechanical Properties of Polystyrene-Block-Polybutadiene-Block-Styrene Triblock Copolymer Crosslinked in the Disordered State.” **J.Polymer.**, vol. 40, 1999. pp. 2071 – 2076.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
2542.
25. Blackley D.C. **High Polymer Latices Their Science and Technology.** New York : The Garoen City. 1966.
  26. Maurya G.P. **Rubber Technology and Manufacture.** New York : Small Business Publication. 1983.
  27. วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี. 2543. สุราษฎร์ธานี : วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี.
  28. บริษัท แอนเชลล์ ประเทศไทย จำกัด. 2543. กรุงเทพมหานคร : บริษัท แอนเชลล์ ประเทศไทย จำกัด.
  29. ASTM Committee on Standard. **Standard Specification for Rubber Examination Gloves.** Philadaphia : American Society for Testing and Materials. 1993.
  30. Utracki L.A. **Polymer Alloy and Blend.** New York : Hanser. 1989.
  31. ณัฐศิริ ศรีสิทธิพันธกุล และ สุชีวิน สังกะมิตินท์. “การจำแนกลักษณะของการผสมเข้ากันได้ของไนลอน – 6 อะคริไลไนไตรด์ บิวทาไดอีนสไตรีนและพอลิโอฟีนส์ที่ใช้แล้ว” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
  32. Richard A.L. and Randal W.R. **Polymer at Surfaces and Interfaces.** Cambridge : Cambridge University Press. 1999.
  33. Hamid H.S. and Atiqullah, M. “Role of Blending in Polyethylene Recycling.” , **J.M.S.-Rev.Macromol.Chem.Phys.**, vol. 35, 1995. pp. 495-515.
  34. Fox D.W. and Allen R.B. **High Performance and Compositd Encyclopedia.** New York : John Wiley & sons. 1991.
  35. Ulrich H. **Introduction to Industrial Polymer.** 2 nd ed. Germany : Hanser. 1993.
  36. Kiewzle S.Y. **Advance in Polymer Blend and Alloy Technology.** Pennsylvania : Technomic. 1988.
  37. Malcolm P.S. **Polymer Chemistry and Introduction.** Oxford : Oxford University. 1990.
  38. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์** กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
  39. กฤษณา มีสวัสดิ์. “อิทธิพลของสารช่วยผสมและการฉายรังสีที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิโอฟีนผสม” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40. Markham R.L. **Elastomer Technology Handbook**. Boca Raton : CRC Press. 1993.
41. เจริญ นาคะสรรค์. **กระบวนการแปรรูปพลาสติก ปัตตานี : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี**. 2540.
42. Hunt B.J. and James M.I. **Polymer Characterisation**. Glasgow : Blackie Academic and Professional. 1993.
43. ASTM Committee on Standard. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Rubber (Matrix)**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials. 1993.
44. ASTM Committee on Standard. **Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials. 1993.
45. ASTM Committee on Standard. **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic and Electrical Insulating Materials**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials. 1993.
46. ASTM Committee on Standard. **Standard Test Methods for Density of Plastic by the Density Gradient Technique**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials. 1993.
47. Grassie N. and Scott G. **Polymer Degradation and Stabilisation**. Cambridge : Cambridge University Press. 1985.
48. Liane H., Doris P., Kathrin E., Andrea J. and Roland V. "Effect of Multiblock Copolymer in Polymer Blends." **J.Appl.Polym.Sci.**, vol. 66, 1997. pp. 2293 – 2309.
49. Robert C.W. **Handbook of Chemistry and Physics**. Florida : CRC Press. 1990.

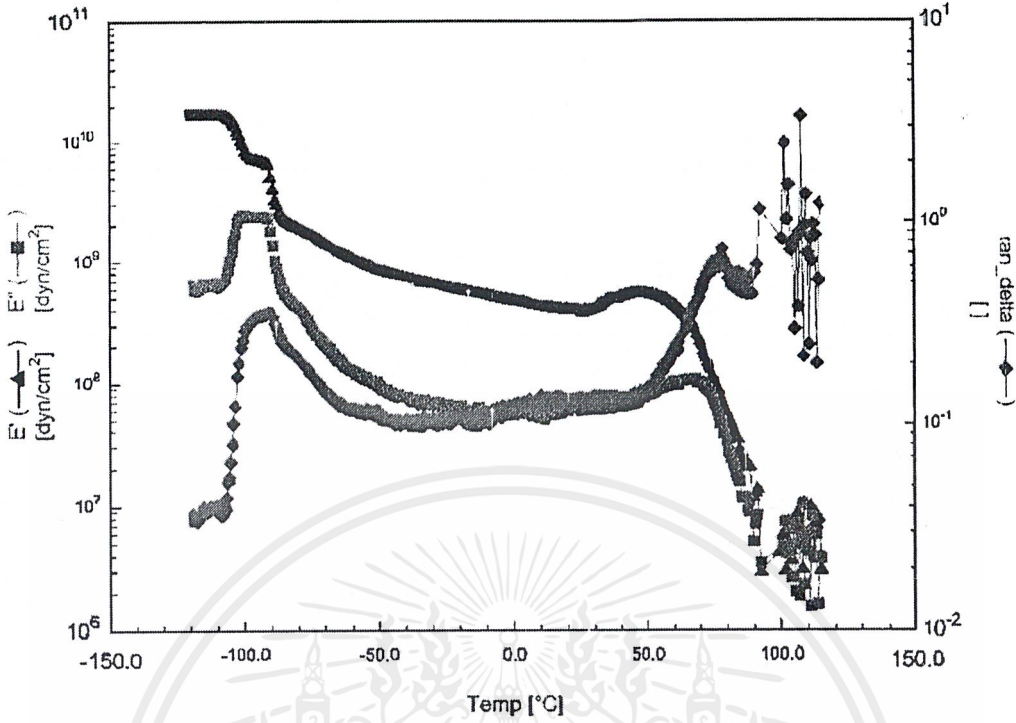


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

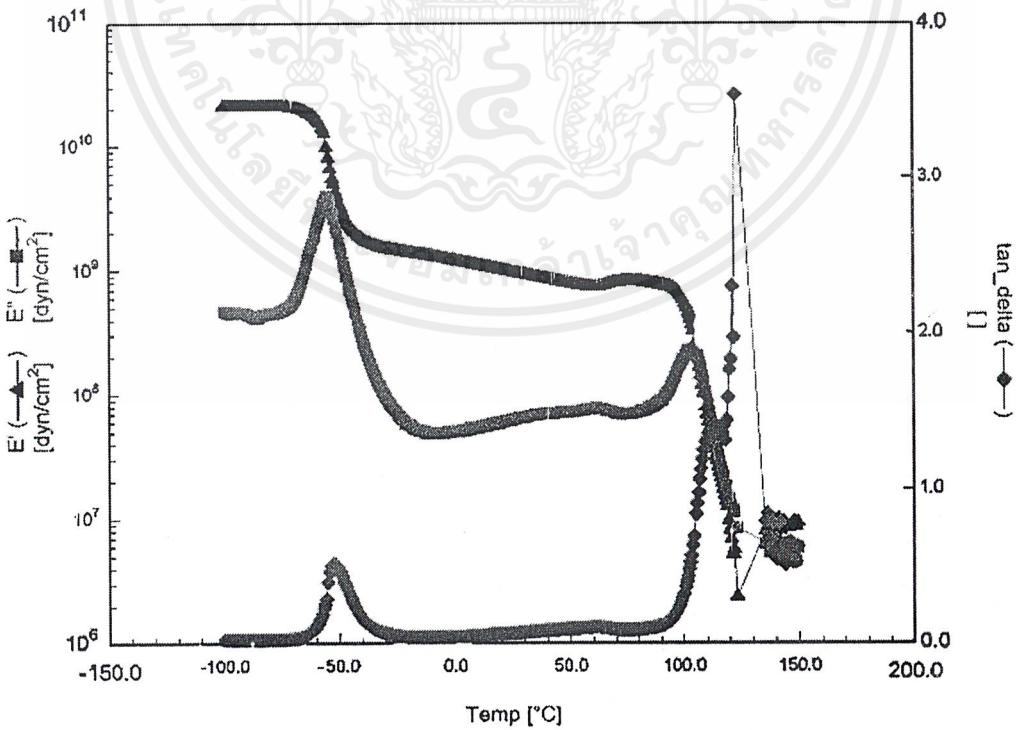


ภาคผนวก ก

กราฟจากเครื่อง DMTA ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

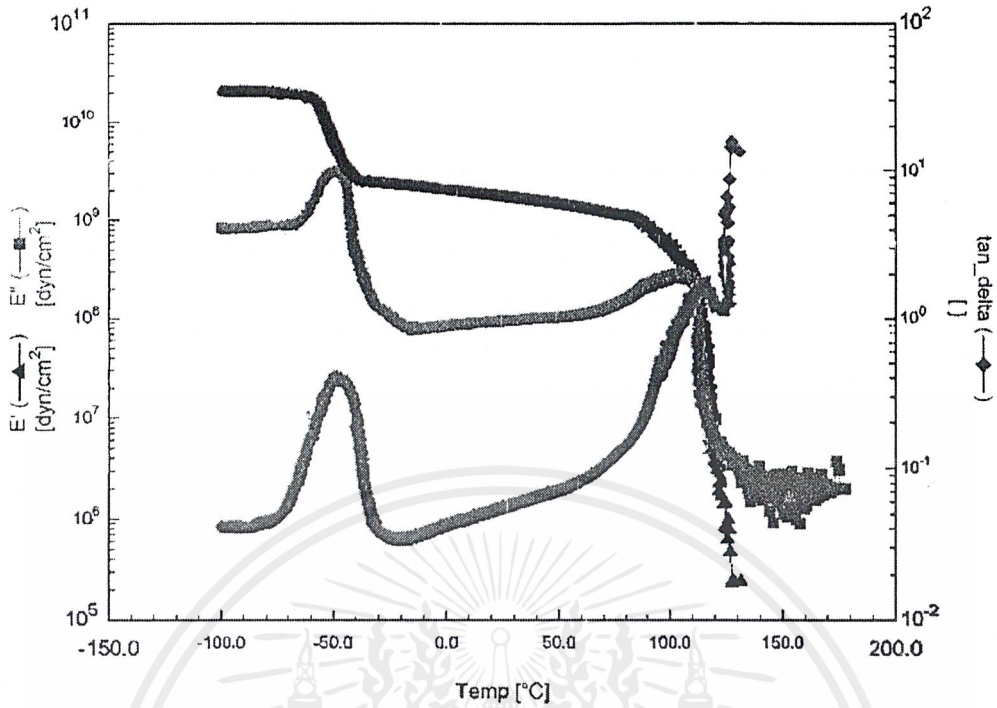


รูปที่ ก.3 กราฟจากเครื่อง DMTA ของสไตรีนบิวทาไดอินสไตรีน




รูปที่ ก.4 กราฟจากเครื่อง DMTA ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 กราฟจากเครื่อง DMTA ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไทรีนกับยางธรรมชาติเมื่อเติม สไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน 10 % โดยน้ำหนัก



ภาคผนวก ข.  
ส่วนประกอบและสมบัติของสารช่วยผสมสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นาย ประพนธ์ เลี้ยวสมบุรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี การศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้