



การศึกษาผลกระทบของพอลิไวนิลคลอไรด์รีไซเคิลที่มีต่อสมบัติเชิงกล
ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ

A STUDY ON THE EFFECT OF POLYVINYL CHLORIDE RECYCLES ON
PROPERTIES OF POLYVINYL CHLORIDE/NATURAL RUBBER BLEND

นางสาวจันจิรา แก้วปັນ รหัส 52364896
นางสาวเบญจวรรณ องค์กรอาจ รหัส 52365046

ห้องสมุด คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... - 5 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16823935
เลขเรียกหนังสือ..... นส.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2555

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาผลกระทบของพอลิไวนิลคลอไรด์รีไซเคิลที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวจันจิรา	แก้วปัน	รหัส 52364896
	นางสาวเบญจวรรณ	องค์อาจ	รหัส 52365046
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์อภาภรณ์ จันทรปรีรักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาปริมาณขยะภายในโรงพยาบาลของรัฐ เอกชนและอื่นๆ ซึ่งแบ่งประเภทออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะติดเชื้อ ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากร ซึ่งวิธีการที่ง่ายและสะดวกสำหรับขยะพลาสติกที่แตกต่างชนิดพลาสติกก็คือการนำมาหลอมและทำการขึ้นรูปใหม่ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสมบัติด้อยลงจากเดิม ทางคณะผู้ทำโครงการจึงมีแนวคิดที่นำขยะพลาสติกประเภทเดียวกันเพื่อทดแทนเม็ดพลาสติกใหม่

การเลือกพลาสติกรีไซเคิลจากปัญหาปริมาณขยะภายในโรงพยาบาลของรัฐ เอกชนและอื่นๆ ปริมาณจำนวนมากที่สุดในโรงพยาบาลและสามารถแยกขยะได้ง่าย เพื่อทดแทนเม็ดพลาสติกใหม่ จึงเลือกใช้น้ำเกลือ Normal Saline Solution (N-S-S) 1000 cc. ซึ่งผลิตมาจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PolyVinyl Chloride; PVC) ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาการนำเม็ด PVC รีไซเคิล (PolyVinyl Chloride Recycle; PVCR) มาใช้ทดแทนเม็ด PVC ใหม่บางส่วนในการผสม TPE ระหว่าง PVC กับยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) เพื่อใช้ประโยชน์ของ PVC ให้ที่คุ้มค่าซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลความเข้ากันได้และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

การศึกษาความเข้ากันได้ของการผสม (TPE) โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) พบว่าปริมาณยางที่นำมาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์จะทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นทดลองผสม TPE โดยการปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส พบว่าช่วงอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี (Compatibility) เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า ขวดพีวีซีที่ใช้แล้วมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ใกล้เคียงกับพีวีซีบริสุทธิ์เกรดขวดจึงสามารถนำมาผสมเข้ากันได้ การทดสอบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม จากสมบัติการสมบัติด้านทานแรงดึง ในกลุ่มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/R-PVC/NR/ENR พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณพีวีซี

ที่ใช้แล้วในพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาดซึ่งในการทดลองนี้ V-PVC จะมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด อยู่ที่ 6.18 เมกกะปาสคาล ส่วน RPVC มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด 2.53 เมกกะ-ปาสคาล ในการทดสอบพอลิเมอร์ผสมพบว่า TPEr80 (PVC/RPVC/ENR/NR:10/80/10/10) จะมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด สูงสุดมีค่าเท่ากับ 20.63 ส่วนค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) พบว่าเมื่อเติมยางธรรมชาติลงใน PVC ทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นน้อย ซึ่งถ้ามีค่ายัง โมดูลัสสูงสภาพการยืดหยุ่นก็จะสูง มีการยืดตัวได้ดี



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ อาจารย์อากาศภรณ์ จันทร์ปรีกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดียิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

อาจารย์นพวรรณ ไม้ทอง อาจารย์ภมรรัตน์ จันธรรม และอาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ ที่กรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ครูช่างประเทือง โมรราราย ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวจันจิรา แก้วปิ่น

นางสาวเบญจวรรณ องค์กราจ

มีนาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 เทอร์โมพลาสติกโอสโตเมอร์.....	4
2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR)	4
2.3 พลาสติกรีไซเคิล.....	6
2.4 พอลิไวนิลคลอไรด์ PVC.....	7
2.5 ถุงน้ำเกลือ.....	8
2.6 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidised/Epoxidized Natural Rubber; ENR.....	9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	11
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	18
4.1 การศึกษาความเข้ากันได้และเลือกสภาวะการผสม/การขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์.....	18
4.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	20
4.3 การศึกษาสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์.....	21
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	26
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	26
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	27
เอกสารอ้างอิง.....	29
ภาคผนวก ก.....	29
ภาคผนวก ข.....	31
ภาคผนวก ค.....	36

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
3.1 อัตราส่วนของ PVC/RPVC/NR.....	13
4.1 T_g ของ PVC, RPVC, NR, และพอลิเมอร์ผสม.....	21

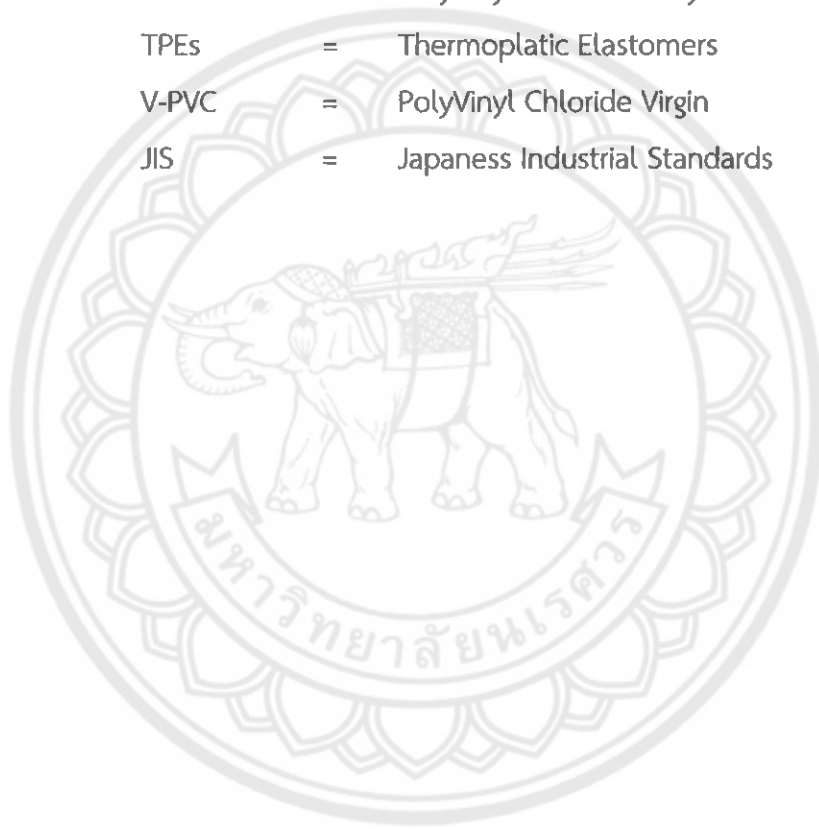


สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ (NR).....	4
2.2 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว.....	7
3.1 แผนผังวิธีการทดลอง.....	14
3.2 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง.....	15
3.3 แสดงภาพมาตรฐาน JIS K 6723.....	16
4.1 Blend Clarity ของพอลิเมอร์ผสม ก) V-PVC ข) PVC/RPVC/NR/ENR ค) R-PVC.....	19
4.2 รูปชิ้นงานหลังจากอัดขึ้นรูป ก) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ข) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ค) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที.....	20
4.3 กราฟจากเทคนิค DSC ของ R-PVC.....	21
4.4 สมบัติต้านทานแรงดึงของ NR/V-PVC/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	22
4.5 สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด ของ NR/V-PVC/R-PVC ที่อัตราส่วนๆ.....	23
4.6 ค่า Young Modulus ของ NR/PVC/RPVC ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	24

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

DSC	=	Differential Scanning Calorimetry
ENR	=	Epoxidized Natural Rubber
NR	=	Natural Rubber
phr	=	Parts per Hundred of Rubber
rpm	=	Revolutions per Minute
R-PVC	=	PolyVinyl Chloride Recycle
TPEs	=	Thermoplastic Elastomers
V-PVC	=	PolyVinyl Chloride Virgin
JIS	=	Japaness Industrial Standards



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากงานวิจัยเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers; TPEs) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ผสมสามารถนำไปใช้ทดแทนพอลิเมอร์อื่น ๆ ที่มีความยืดหยุ่นสูง ไปจนถึงวัสดุที่มีความแข็งแรง ด้วยที่มีคุณสมบัติสมบัติเด่นสามารถใช้แทนวัสดุจำพวกยาง แต่สามารถขึ้นรูปร่างง่ายเหมือนเทอร์โมพลาสติกและสามารถใช้งานแทนยางอย่างวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ความสามารถในการผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกและยางด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติแตกต่างกันไปตามความต้องการ อีกทั้งกระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ไม่ยุ่งยากและมีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่ายางเทอร์โมเซต สามารถใช้กับเครื่องในการผลิตเทอร์โมพลาสติกทั่วๆ ไปได้

ปัจจุบันปัญหาปริมาณขยะภายในโรงพยาบาลของรัฐ เอกชนและอื่นๆ ซึ่งแบ่งประเภทออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะติดเชื้อ ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากร ขยะรีไซเคิล เช่น กระดาษ แก้วพลาสติก กระจกน้ำเกลือ ขวดพลาสติกและอื่นๆ ซึ่งวิธีการที่ง่ายและสะดวกสำหรับขยะพลาสติกที่แตกต่างชนิดพลาสติกก็คือ การนำมาหลอมและทำการขึ้นรูปใหม่ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสมบัติด้อยลงจากเดิม ทางคณะผู้ทำโครงการจึงมีแนวคิดที่นำขยะพลาสติกประเภทเดียวกัน มีปริมาณจำนวนมากที่สุดในโรงพยาบาลและสามารถแยกขยะได้ง่าย เพื่อทดแทนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ จึงเลือกใช้น้ำเกลือ Normal Saline Solution (N-S-S) 1000 cc. ซึ่งผลิตมาจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PolyVinyl Chloride; PVC)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการนำพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้ว (PolyVinyl Chloride Recycle; PVCr) มาใช้ทดแทนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์บางส่วนในการผสม TPE ระหว่าง PVC กับยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) เพื่อใช้ประโยชน์ของ PVC ให้ที่คุ้มค่าโดยศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกล และ ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้ว ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของ V-PVC/NR/ENR

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง Two Roll Mill ในการทำพอลิเมอร์ผสม TPE ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ PVC (เม็ดพอลิไวนิลคลอไรด์บริสุทธิ์ พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้แล้ว) และปรับปรุงคุณสมบัติที่ดีขึ้น

1.3.2 สามารถใช้ประโยชน์จากถุงน้ำเกลือที่ได้จากโรงพยาบาลผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เพื่อลดปัญหาการกำจัดขยะรีไซเคิล

1.3.3 ส่งเสริมการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ในเชิงอุตสาหกรรมภายในประเทศ

1.3.4 ขยายขอบเขตการใช้งานของ PVC

1.3.5 มีข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีการผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์ผสมชนิดอื่นเพื่อการค้าซึ่งวัสดุใหม่ๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานหนึ่งๆ

1.3.6 มีข้อมูลพื้นฐานเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรม

1.3.7 มีข้อมูลการใช้ ENR ประกอบการพิจารณาถึงความจำเป็นของงานวิจัยด้านนี้ในประเทศต่อไป

1.4 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของ PVC ที่ใช้แล้ว ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของ V-PVC/NR/ENR

1.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง Two Roll Mill ในการทำพอลิเมอร์ผสม TPE ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

1.5 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

1.5.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึง มกราคม พ.ศ. 2556

1.7 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

	การดำเนินโครงการ	ช่วงเวลา							
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.7.1	ศึกษา รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	→							
1.7.2	ศึกษาการใช้เครื่องมือและชุดอุปกรณ์การทดลอง		→						
1.7.3	ทดสอบทำการทดลองเบื้องต้น			→					
1.7.4	ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล					→	→		
1.7.5	วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง						→	→	→
1.7.6	จัดทำรายงาน								→



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ [1]

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) เป็นวัสดุที่รวมเอาสมบัติของยางและพลาสติกเข้าด้วยกัน TPE จะประกอบด้วยส่วนประกอบทางโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบที่อ่อน (Soft Segment) และส่วนประกอบที่แข็ง (Hard segment) ซึ่ง TPE จะเป็นพลาสติกผสมที่มีคุณสมบัติคล้ายยางเทอร์โมเซต (Thermoset Rubber) มีสมบัติอีลาสติก สามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อแรงนั้นหมดไป นอกจากนี้ TPE ยังมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกด้วย โดยจะหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อนและจะแข็งตัวได้เมื่อเย็นลง ดังนั้นจึงสามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการทางความร้อนทั่วไปที่ใช้ในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก

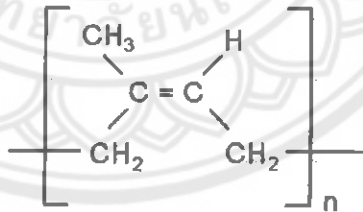
2.1.1 ประเภทของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

2.1.1.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับอีลาสโตเมอร์

2.1.1.2 โคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยส่วนที่อ่อนและส่วนที่แข็ง

2.1.1.3 อีลาสโตเมอร์ที่สามารถสร้าง Crosslink ที่ไม่เสถียรต่อความร้อนได้

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [2]



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีชื่อทางเคมีว่า Cis-1,4-polyisoprene มี Isoprene (C_5H_8) โมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบ อสัณฐาน (Amorphous) แต่ถ้าในบางสภาวะของโมเลกุลยางจะมีการจัดเรียงตัวค่อนข้างมีระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด ทำให้สามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกจะเกิดเนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) ทำให้ยางแข็งแรงมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization) จะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดี คือ ยางธรรมชาติจะมีความ

ยืดหยุ่นสูงจึงทำให้ยางมีความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) และทนต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) สูง ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันล้นสุดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมหรือใกล้เคียงแบบเดิม อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนเยิ้มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber Compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanized) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัด - ของ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะ สำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double Bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุ

การใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและ สารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับต่างๆ ดังกล่าว

การวัลคาไนซ์คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ใสภาพที่ไม่คงตัวให้เป็นอย่างที่รักษารูปทรงได้ ในลักษณะยืดหยุ่น หรือ แข็งกระด้าง โดยการใช้สารวัลคาไนซ์ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงของ โมเลกุล เรียกว่า Crosslink ตรงจุดที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สารวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับยางธรรมชาติ คือ กำมะถัน ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของกำมะถันจะเป็น S_8 ซึ่งจะเสถียรมาก ต้องใช้พลังงานในการ แตก วงแหวนโมเลกุลกำมะถันสูงถึง 64 กิโลแคลอรีต่อโมล (kcal/mol)

2.3 พลาสติกรีไซเคิล

พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการ ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบันทำให้เรามีผลิตภัณฑ์ พลาสติกหลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้น ดังนั้นการนำพลาสติก กลับมาใช้ใหม่หรือการ รีไซเคิลจึงได้รับความสนใจอย่างมากเพราะเนื่องจากจะช่วยลดปริมาณขยะ พลาสติกลงแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิล แบบปฐมภูมิ (Primary Recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling) การรีไซเคิล แบบตติยภูมิ (Tertiary Recycling) และการ รีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary Recycling)

2.3.1 การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ

เป็นการรวมเอาขวดหรือเศษพลาสติกประเภทเดียวกัน ที่ไม่มีสิ่งปนเปื้อน มาเข้า กระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปนำกลับมาใช้ใหม่ภายในโรงงาน โดยอาจจะสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมด หรือนำมาผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้เป็นพลาสติกชนิดใหม่

2.3.2 การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือเรียกว่ากระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำ พลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาทำความสะอาด หลอม บด และขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์ พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ

การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical Recycling) เป็นเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุด ในปัจจุบัน โดยเอาพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาแยกตามประเภท และนำมาผ่านกระบวนการบด และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกกรีไซเคิลเพื่อนำมาผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีต่อ กระบวนการขึ้นรูป

การปรับปรุงทางเคมี (Chemical Modification) เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีข้อด้อยในด้านคุณสมบัติในการขึ้นรูปและการใช้งาน ดังนั้น วิธีการทางเคมีจะช่วยลดข้อด้อยของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกใหม่ การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (Co-Extrusion and Co -Injection Molding) เป็นเทคนิคของการรีไซเคิลแบบทุติยภูมิซึ่งเหมาะสมสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสกับ โดยที่ผิวหน้าที่เป็นชั้นผลิตจากพลาสติกใหม่จะมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดีและมีสีสม่ำเสมอ ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

2.3.3 การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ

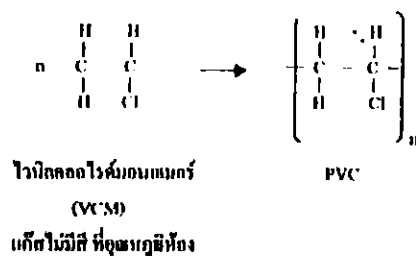
การรีไซเคิลแบบตติยภูมิแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical Recycling) เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก ได้มอนอเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ได้เป็นผลิตภัณฑ์และการรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis) ซึ่งในกระบวนการรีไซเคิลทางความร้อนนี้ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมี เพราะสามารถกำจัดขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูงและมีสิ่งปนเปื้อนได้เล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบจึงค่อนข้างสูงกว่า

2.3.4 การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ

เป็นการนำพลาสติกที่สามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยในการเผาพลาสติกจะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) ช่วยในการเผาไหม้ ในส่วนที่เป็นขยะเปียกทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะลงได้

2.4 พอลิไวนิลคลอไรด์ PVC [3]

พอลิไวนิลคลอไรด์ จะเตรียมได้จากมอนอเมอร์ไวนิลคลอไรด์ โดยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว ดังสมการ



รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบรวมตัว

พอลิไวนิลคลอไรด์ มักเรียกกันทั่วไปว่า พีวีซี มีลักษณะขุ่นทึบแต่ก็สามารถผลิตออกมาให้มีสีใสได้ทุกสีเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ตัวมันเองเป็นสารที่ทำให้ไฟดับจึงไม่ติดไฟ มีลักษณะทั้งที่เป็นของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่มเหนียว มีทั้งที่เป็นเม็ดแข็งหรืออ่อนนุ่ม และเป็นผง

PVC ที่เป็น Polymer ชนิดเดียวมี Strength ค่อนข้างสูง (7.5-9.0 เคเอสไอ) และเพราะ ทนความร้อนได้ปานกลาง (57-82 องศาเซลเซียส ที่ 66 เคเอสไอ) มีค่า Dielectric Strength สูง (425-1300 V/mil) ละลายในตัวทำละลายยากและถ้า PVC มีปริมาณของคลอรีนมากจะทำให้ติดไฟยากและป้องกันสารเคมีได้ดี

พอลิไวนิลคลอไรด์ที่แข็งไม่อง่าย PVC อย่างเดียวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้บางอย่างแต่กระบวนการที่ใช้ผลิตค่อนข้างยากและความแข็งแรงต่อการกระแทกจะต่ำ การเติมเรซินเข้าไปทำให้มันอ่อนนุ่มคล้ายยางสามารถปรับปรุงการไหลของส่วนที่หลอมเหลว ในระหว่างกระบวนการการผลิตให้ดีขึ้น โดยการกระจายตัวของอนุภาคเล็กๆ ของเรซินที่เติมลงไป ใน PVC วัสดุที่อ่อนนุ่มคล้ายยางนี้จะทำหน้าที่ดูดกลืนและกระจายพลังงานจากการกระแทก (Impact Energy) ทำให้ทนต่อแรงกระแทกมากขึ้น เมื่อได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ ในการก่อสร้างอาคาร ใช้ทำท่อน้ำ ใช้ทำขอบผนังด้านนอกตัวอาคาร ทำของใช้ต่างๆ ภายในบ้าน [4]

2.4.2 สมบัติทั่วไป

2.4.2.1 มีความแข็งแรงดี ทนทานต่อสภาวะอากาศและสิ่งแวดล้อมปกติ

2.4.2.2 ต้านทานต่อสารเคมีและน้ำ

2.4.2.3 เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

2.4.2.4 สามารถผสมสีและแต่งสีได้อย่างไม่จำกัด

2.4.2.5 สามารถเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรุงแต่งสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่แข็ง และคงตัวจนถึง อ่อน นุ่ม และยืดหยุ่นมากๆ

2.4.2.6 มีสมบัติอื่นๆ กว้างขวางและสามารถสลายตัวเอง

2.5 ถุงน้ำเกลือ [5]

ถุงน้ำเกลือที่ใช้ในทางการแพทย์ โดยทั่วไปมีคุณสมบัติ นิ่ม ยืดหยุ่น ทนความร้อนสูง ซึ่งขวดน้ำเกลือจะมีอยู่หลายประเภทเช่น PE PP LDPE และ PVC ซึ่งถุงน้ำเกลือแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป แต่ที่พบการใช้จำนวนมากจะเป็นถุงน้ำเกลือประเภท พลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยจะมีการเพิ่มสารจำพวกพลาสติกไซเซอร์เข้าไปเพื่อทำให้อ่อนตัว นิ่ม โส มองเห็นสารละลายด้านในได้ชัดเจน สามารถนำไปใช้ในระบบปิดสมบูรณ์แบบกับอุปกรณ์ทางการแพทย์จำเพาะได้

2.6 ยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์ (ENR) [6]

ยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์ เป็นยางที่ได้จากการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของยาง ที่เป็นพันธะคู่เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์ โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) มีระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันตั้งแต่ร้อยละ 10 - 50 ยาง ENR จึงมีความเป็นขั้วสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป ทำให้ทนต่อความร้อนและน้ำมันได้ดี ยาง ENR ที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจะมีคุณสมบัติคล้ายกับยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำ การเตรียมยาง ENR นี้ สามารถเตรียมได้ทั้งในรูปของน้ำยางและยางแห้งซึ่งยางชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการผสมยางกับพลาสติกให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วันทนา สุขแก้วและคณะ, 2543 [7] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยผสมกับยางธรรมชาติ (NR) และยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์ (ENR-50) โดยผสมด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC กับ NR ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ (Incompatible) และไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC กับ ENR-50 สามารถผสมเข้ากันได้จนเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible Blend) และเมื่อทำการผสม PVC กับ NR โดยใช้ ENR-50 เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยมีโครงสร้างเป็นแบบ Immiscible Blend และพบว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยาง ENR เท่ากับยาง NR จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าส่วนผสมที่มีปริมาณยาง ENR น้อยลง (ที่ปริมาณยาง NR คงที่) และพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติด้านความเหนียวสูงที่สุดเมื่อมีปริมาณยางโดยรวมเท่ากับร้อยละ 20

Lee และคณะ [8] ได้ศึกษาการผสมยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์กับยางธรรมชาติ ด้วยเครื่อง Two Roll Mill ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ายางผสมที่ได้มีลักษณะเป็นแบบ Immiscible Blend โดยสังเกตได้จากการที่ยางผสมค่ามีอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) สองค่า และพบว่าค่า Mooney Viscosity ของยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์จะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าเท่ากับยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบดเป็นเวลา 3.5 นาที ส่วนความสามารถในการทนตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และสมบัติเชิงกลหลังผ่านการอบ (Aging) ของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์ที่ผสมลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความจริงที่ว่ายางธรรมชาติไม่ทนความร้อนและน้ำมันดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกับของยางธรรมชาติมากขึ้นก็ย่อมจะมีสมบัติดังกล่าวเช่นกัน

Poh และ Khok [9] ได้ศึกษาสมบัติด้านความต้านทานต่อการดึง (Tensile Strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของยางธรรมชาติอีพอกซิโดซ์ผสมกับยางธรรมชาติ (ENR - 25/SMR L และ ENR-50/SMR L) พบว่ายางผสมระหว่าง ENR-25/SMR L ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่า ENR-50/SMR L ที่ทุกสัดส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจากยาง ENR-25 มีปริมาณพันธะคู่มากกว่ายาง ENR-50 ซึ่งส่งผลให้เกิด Strain Induced Crystallization ได้มากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่ายางผสมทั้ง ENR-25/SMR L และ ENR-50/SMR L มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุด ที่ปริมาณยาง ENR 50% โดยน้ำหนัก

Ishiaka และคณะ [10, 11] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและสัดส่วนผสมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ (ENR) พบว่า ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 50 ยางโดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิในการผสม 150 องศาเซลเซียส จะให้ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ดีที่สุด แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการผสมมากขึ้นกว่านี้จะเกิดการเสื่อมสภาพของพอลิไวนิลคลอไรด์ในพอลิเมอร์ผสม และเมื่อเพิ่มปริมาณของยางมากขึ้น จะทำให้ค่า Tensile Strength ลดลง โดยปริมาณยางที่เหมาะสมที่ทำให้วัสดุมีความเหนียวสูงขึ้นคือ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าอนุภาคยางมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ และมีการยึดเกาะที่ดีกับเฟสของพอลิไวนิลคลอไรด์

Deและคณะ [12] พบว่า ENR/PVC สามารถเกิด Ether Crosslink ระหว่าง ENR/PVC ทำให้เป็นระบบที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ หรือเกิด Self - Cross Linking ของ ENR ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสม โดยพบว่าที่ส่วนผสม ENR/PVC ที่ 27/75 50/50 และ 75/25 และส่งผลให้ระบบเป็นพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากัน (Immiscible) แต่ในกรณีนี้เมื่อใช้ Carboxylated Nitrile Rubber (XNBR) เป็นสารช่วยผสมทำให้ ENR/PVC ที่ส่วนผสมดังกล่าวสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อปริมาณ Stabilizer ใน PVC ลดลงเกิดการสลายตัวให้ HCl เป็นสาเหตุในการเกิดปฏิกิริยา Furanization ของ ENR ทำให้พอลิเมอร์ผสมเป็นแบบไม่เข้ากันอีกด้วย

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในโครงการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการนำพอลิไวนิลคลอไรด์มาผสมกับยางธรรมชาติได้เป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ โดยใช้ยาง ENR เป็นสารช่วยผสม โดยโครงการวิจัยนี้จึงจะศึกษาผลกระทบทางกลของเพิ่มปริมาณพีวีซีที่ใช้แล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาความหลากหลายของพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์เป็นการได้วัสดุใหม่ที่เหมาะสมกับการใช้งานหนึ่งๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของพอลิไวนิลคลอไรด์รีไซเคิลที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ ซึ่งการศึกษารวบรวมข้อมูลจะเป็นการศึกษาทฤษฎี ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยทั้งหมด

3.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เกรด B 0303 CLA บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.1.2 ขวดน้ำเกลือ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.1.3 ยางธรรมชาติ (NR) ยางแผ่นธรรมชาติ เกรด 3

3.1.1.4 ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (ENR) เกรด ENR-50

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1.1 เครื่องผสม Two Roll Mill

3.1.1.2 เครื่องชั่งสาร (แสดงทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.1.1.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression)

3.1.1.4 แม่พิมพ์รูปดัมเบลล์ มาตรฐาน JIS K 6723

3.1.1.5 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

3.1.1.6 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3.1.3 ขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสม

การทดลองนี้จะมีขั้นตอนการศึกษาอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิไวนิลคลอไรด์ (V-PVC) กับ พอลิไวนิลคลอไรด์รีไซเคิล (R-PVC) เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม การเตรียมยางผสมสูตร และหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมและวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลองนี้

3.1.3.1 การศึกษาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิไวนิล - คลอไรด์รีไซเคิลเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม

ก. นำเม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัม

ข. ทำการศึกษาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 140 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 190 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) แล้ว ตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลังเท่ากัน ความเร็วลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 20:22 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.0 มิลลิเมตร

ค. นำเม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ใส่ลงในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หลอมละลายได้หมด

หลังจากนั้นทำการทดลองการศึกษาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เพื่อเตรียมผสมพอลิเมอร์ผสม จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ ขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำให้เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้

3.2.2.2 การเตรียมยางผสมสูตรและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ทำการเตรียมยางผสมสูตรและหาอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม โดยการศึกษาการผสมเข้ากันได้ดีของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ให้มีลักษณะเรียบ ผิวสั่นเป็นมัน ไม่เกิดการแยกเฟสให้เห็น โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมยางผสมสูตรโดยการนวด NR ก่อนนำ PVC กับ RPVC มาผสม

ก. เตรียม NR/PVC/RPVC ตามตาราง และเติม ENR เป็นสารช่วยผสม

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของ PVC/RPVC/NR/ENR

สูตร	องค์ประกอบ (phr)			
	V-PVC	R-PVC	NR	ENR
TPEr0	90	0	10	10
TPEr10	80	10	10	10
TPEr20	70	20	10	10
TPEr30	60	30	10	10
TPEr40	50	40	10	10
TPEr50	60	50	10	10
TPEr60	70	60	10	10
TPEr70	80	70	10	10
TPEr80	90	80	10	10
TPEr90	0	90	10	10

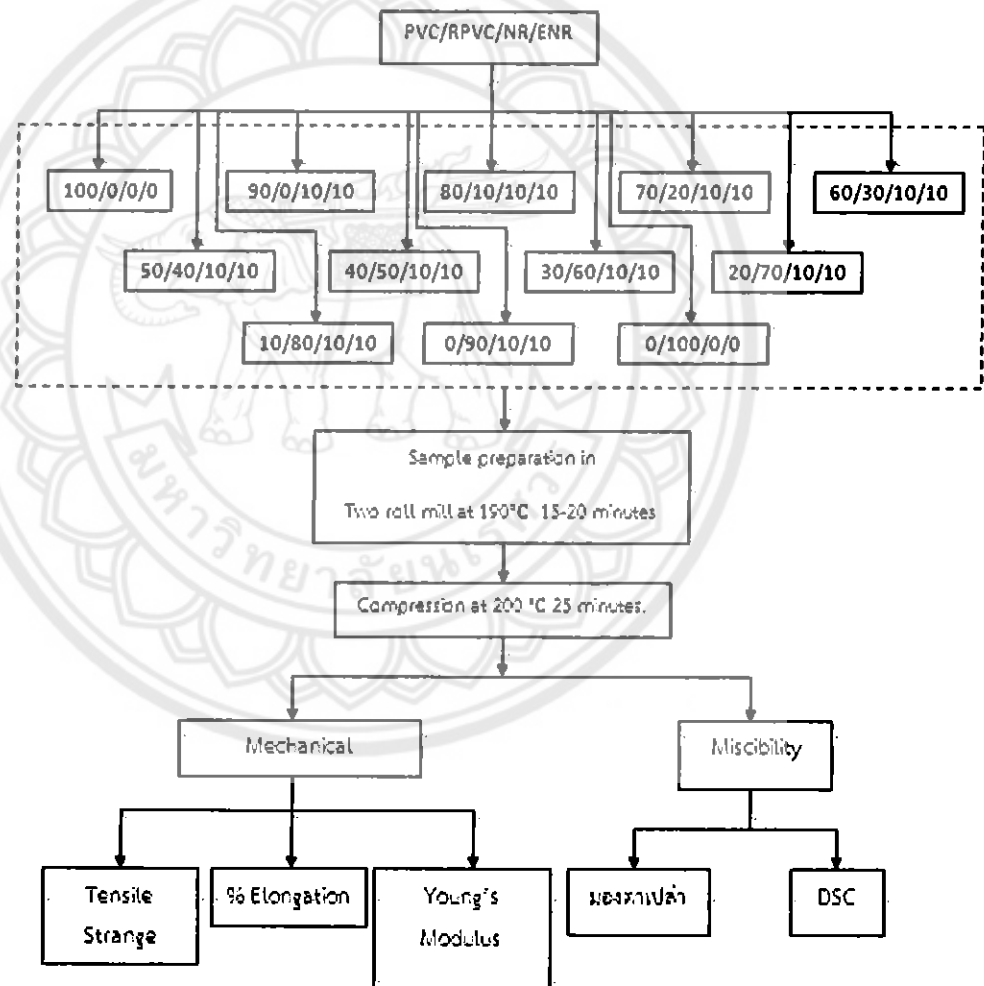
ก. ปรับตั้งกำหนดค่าเครื่องบดลูกกลิ้งโดยอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลังเท่ากับ 180:180 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 20:22 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0 มิลลิเมตร

ข. นำ NR ใส่ในเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่ตั้งค่าไว้แล้วทำการนวด NR ให้นิ่มก่อนจึงจะนำ PVC, RPVC มาผสมให้เข้ากันได้ดีจะใช้เวลาไม่เกิน 15 นาทีนับตั้งแต่เวลาเริ่มบด NR หลังจากนั้นจึงนำส่วนผสมใส่ลงไปตามลำดับ เมื่อใส่ส่วนผสมครบแล้วทำการบดพอลิเมอร์ผสมนี้ต่อไปอีกเป็นเวลา 5 นาที เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไม่เกิน 20 นาที ขณะทำการผสมยางทั้งสองเข้าด้วยกันจะใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางการป้อนเข้าลูกกลิ้งทุกครั้ง คือเมื่อได้แผ่นซีทออกมา จะหับแผ่นตามทิศของเครื่อง ในการป้อนครั้งต่อไปจะป้อนทิศทางการขวางของแผ่นซีทเข้าเครื่อง การทำเช่นนี้ตลอดตลอดการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง จะช่วยให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้ง มีการกระจายดีมากขึ้น เมื่อทำการผสมเสร็จแล้วนำออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้งปล่อยให้เย็นตัว

ตอนที่ 2 การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ก. เตรียม PVC RPVC กับ NR โดยนำไปชั่งน้ำหนักที่อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางในตอนที่ 1

ข. ทำการผสมยางวิธีเดียวกับตอนที่ 1 ยกเว้น ขั้นตอนในการปรับอุณหภูมิในการผสมของเครื่องบดสองลูกกลิ้ง โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง ปรับเปลี่ยนเป็น 160:160 องศาเซลเซียส 170:170 องศาเซลเซียส 180:180 องศาเซลเซียส 190:190 องศาเซลเซียส และ 200:200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อได้พอลิเมอร์ผสมแล้วจะทำการเก็บพอลิเมอร์ที่ได้ไว้ประมาณ 1 วัน ก่อนทำการอัดขึ้นรูป แสดงตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการทดลอง

3.1.4 กระบวนการอัดขึ้นรูป

เมื่อได้แผ่นพอลิเมอร์ผสมจากขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสมแล้วจึงได้ทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) มีขั้นตอนดังนี้

3.1.4.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมไว้เรียบร้อยแล้วจากเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งทำการตัดพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องบดย่อย หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ตัดเสร็จแล้วมาวางบนแม่พิมพ์

3.1.4.2 เปิดเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

3.1.4.3 ปรับค่าอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบการทดลองจนครบ

3.1.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

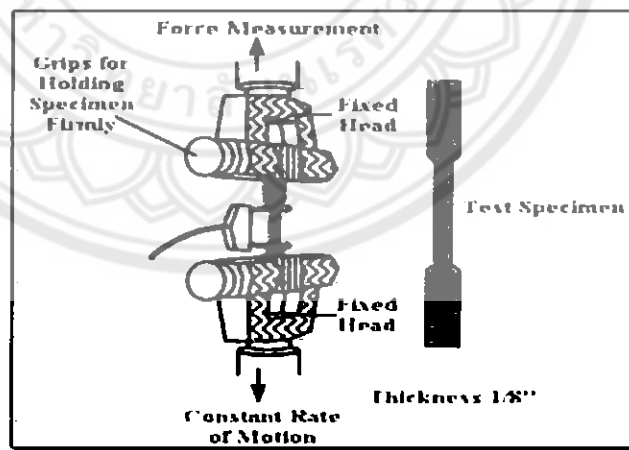
ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในโครงการนี้ได้ทำการทดลอง 2 อย่าง คือ การทดสอบแรงดึง (Tension Test) และระยะยืด (Elongation) โดยนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึงโดยปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS K 6723 ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

3.1.5.1 โหลดเซลล์ (Load Cell)

10 กิโลนิวตัน (kN)

3.1.5.2 ความเร็วในการดึง (Test Speed)

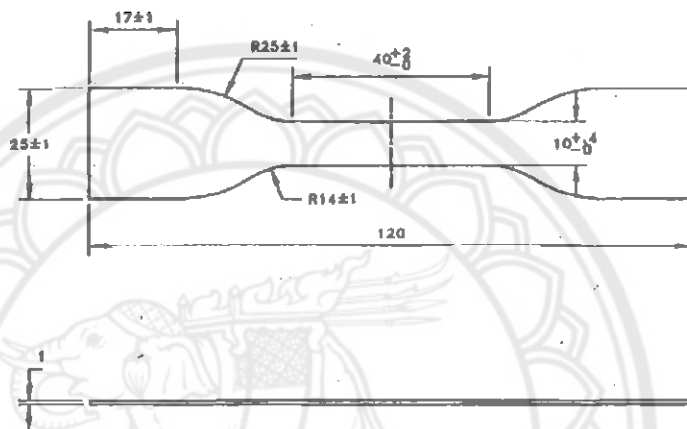
20 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.2 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง [7]

3.1.5.3 วัตถุประสงค์ในการทดสอบแรงดึง

- ก. เพื่อทราบพฤติกรรมของพอลิเมอร์ผสมตามขอบเขตที่กำหนดขณะ
รับแรงดึง
- ข. เพื่อฝึกทักษะการทดสอบความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสม
- ค. เพื่อฝึกทักษะการประมวลผลข้อมูลเชิงสถิติ



รูปที่ 3.3 แสดงภาพมาตรฐาน JIS K 6723 [7]

3.1.6 วิธีการทดสอบ

- 3.1.6.1 เตรียมชิ้นงานชุดละ 5 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงานขีดเส้น
ทำเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน
- 3.1.6.2 ติดตั้ง Load Cell ขนาด 10 กิโลนิวตัน พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead
และ ฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load Cell เข้าที่ Crosshead
- 3.1.6.3 เปิดสวิตซ์เครื่องทดสอบ
- 3.1.6.4 จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับตัวบนยึดให้แน่นส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้
- 3.1.6.5 ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยึดให้เป็นศูนย์
- 3.1.6.6 ชันหัวจับล่างให้แน่น
- 3.1.6.7 ทำการทดสอบชิ้นงานโดยการดึงจนขาด
- 3.1.6.8 ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

จากผลการทดสอบแรงดึงและระยะยืดนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกถึงคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

- ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)
- เปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น (% Elongation)
- ค่ายังโมดูลัส (Young's Modulus)

3.1.7 การทดสอบความเข้ากันได้

ในการทดสอบความเข้ากันได้ไม่สามารถใช้เครื่องมือในการทดสอบตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างได้ ทางผู้ทำโครงการสามารถทดสอบความเข้ากันได้โดยวิธีมองด้วยตามเปล่า เพื่อดูลักษณะความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ทำการดำเนินงานโครงการตั้งแต่การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการออกแบบ การทดลองการหาอุณหภูมิหลอมเหลวของในการผสมพอลิเมอร์ผสม การหาอัตราส่วนผสมกับ อุณหภูมิที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมและดำเนินการทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ การศึกษาความเข้ากันได้และเลือกสภาวะการผสม/การขึ้นรูปของเทอร์โม-พลาสติกอิลาสโตเมอร์ Differential Scanning Calorimetry (DSC) และการศึกษาสมบัติทางกลของ เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

4.1 ผลการศึกษาความเข้ากันได้และเลือกสภาวะการผสม การขึ้นรูปของเทอร์โม-พลาสติกอิลาสโตเมอร์

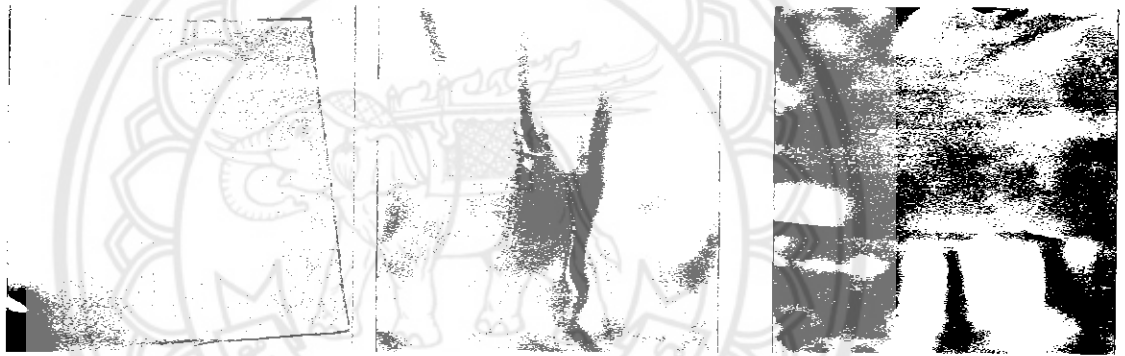
ในงานโครงการวิจัยนี้ผสมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และยางธรรมชาติอย่างไรก็ตามเนื่องจาก PVC เป็นโมเลกุลที่มีขั้วในขณะที่ NR เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วดังนั้นในการผสมพอลิเมอร์ดังกล่าวจะทำให้เกิดการแยกเฟสและทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมไม่ดีจึงได้มีแนวคิดในการนำยางธรรมชาติที่ปรับปรุงสภาพขั้วแล้วคือยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) มาใช้เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสภาพขั้วต่างกันได้โดยสภาพขั้วในกรณีของยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่เอพอกซิในยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ซึ่งจะมีผลต่อความเข้ากันได้ยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปร (ENR) โครงสร้างที่ตำแหน่งพันธะคูให้กลายเป็นวงแหวนอีพอกไซด์กระจายอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) ซึ่งหมู่เอพอกซิ (Epoxy Group) ที่เกิดขึ้นนี้จะมีความเป็นขั้ว (Polarity) สูง [14] ดังนั้นการผสม (TPE) ใช้อัตราส่วน (V-PVC/NR/ENR) เท่ากับ 90/10/10 โดยอ้างอิงจาก [7] ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) พบว่าปริมาณยางที่นำมาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ที่จะทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือปริมาณ NR/ENR ต้องเท่ากับ 1/1

จากนั้นได้ทำการทดลองผสม TPE โดยการปรับเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิ 150 – 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาผสม 10-15 นาทีโดยอ้างอิงจาก [7] พบว่า ที่อุณหภูมิ 150-170 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากมองเห็นเม็ดพอลิไวนิลคลอไรด์บางส่วนไม่หลอมละลายแต่มีการกระจายทั่วแผ่นซีทอุณหภูมิการผสม 180 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมยังไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นการแยกเฟสอย่างชัดเจนในแผ่นซีทที่ได้มีลักษณะเป็นลูกคลื่น อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมมีความเข้าเนื้อเดียวกันได้ดี (Compatibility) โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นแผ่นซีทพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะสีเหมือนยางธรรมชาติ และอุณหภูมิการผสม 200 องศาเซลเซียส แผ่นซีทพอลิเมอร์ผสมใหม่มีสีดำไหม้ของยางธรรมชาติและไม่สามารถลอก

จากเครื่องผสมสองลูกกลิ้งได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาผสม 15 นาทีสำหรับการผสมพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

4.1.1 ความเข้ากันได้

ในการทดสอบความเข้ากันได้ไม่สามารถใช้เครื่องทดสอบในการตรวจสอบได้จึงใช้วิธีการตรวจสอบโดยดูความเข้ากันได้มองด้วยตาเปล่าหลังจากทำการผสมเสร็จแล้ว จากรูป 4.1 ก) ค) จะสังเกตเห็นได้ว่า V-PVC มีสีโปร่งใส และ R-PVC มีสีขาวขุ่นมองเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อทำการผสมพอลิเมอร์ผสม จากรูป 4.1 ข) จะสังเกตเห็นได้ว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/R-PVC/NR/ENR มีสีเหลืองขุ่น เพราะสีของ ยางธรรมชาติ (NR) กับ ENR มีสีเหลืองเมื่อนำมาผสมกันจึงทำให้สีของพอลิเมอร์ผสมออกมาเป็นสีเหลืองคล้ายยางธรรมชาติและขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการผสมด้วย ทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/R-PVC/NR/ENR เป็นแบบดังกล่าว



ก) V-PVC

ข) PVC/RPVC/NR/ENR

ค) R-PVC

รูปที่ 4.1 Blend clarity ของพอลิเมอร์ผสม ก) V-PVC ข) PVC/RPVC/NR/ENR ค) R-PVC

4.1.2 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression)

เมื่อได้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) จากการผสมที่เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) แล้วทำการอัดขึ้นรูปที่เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression) โดยการหาสภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปช่วงอุณหภูมิ 190 - 210 องศาเซลเซียส และหาเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 15 และ 20 นาที โดยอ้างอิงจาก [7] พบว่าที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูป 15 และ 20 นาที พอลิเมอร์ผสมไม่หลอมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันจะมองเห็นเม็ดพอลิไวนิลคลอไรด์กระจายอยู่ระหว่างแผ่นซีท อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และเพิ่มเวลาเป็น 25 นาที พอลิเมอร์ผสมหลอมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะมองไม่เห็นเม็ดพอลิไวนิลคลอไรด์กระจายอยู่ระหว่างแผ่นซีท สีที่เห็นจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนคล้ายสีของยางธรรมชาติ และอุณหภูมิที่ 210 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมจะไหม้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแก่เกือบดำ ดังนั้นโครงการนี้จึงใช้อุณหภูมิใน

การอัดขึ้นรูปที่ 190 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ 25 นาที สำหรับการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมตามรูปที่ 4.2



ก) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

ข) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที



ค) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที

รูปที่ 4.2 รูปชิ้นงานหลังจากอัดขึ้นรูป ก) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

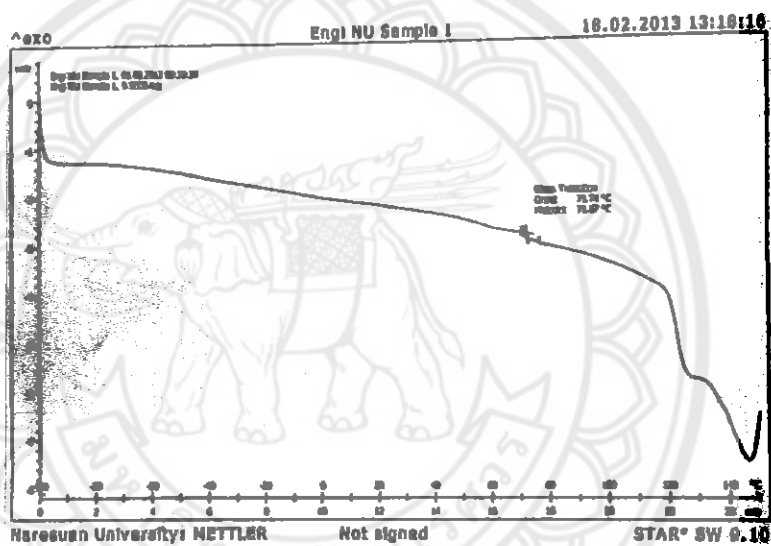
ข) อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ค) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที

4.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ในโครงการวิจัยได้ทำการศึกษาเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่างพีวีซีบริสุทธิ์ (Virgin PVC) เกรดขวดและยางธรรมชาติเมื่อทดสอบค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ด้วยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ที่ช่วงอุณหภูมิ -100 - 250 องศาเซลเซียส พบว่า ขวดพีวีซีที่ใช้แล้วมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เท่ากับ 71.74 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับพีวีซีบริสุทธิ์เกรดขวด พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงมีความต่างของอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลาสติกผ่านกระบวนการขึ้นรูปทำให้โครงสร้างพลาสติกเปลี่ยนแปลงจากเดิมซึ่งสามารถนำมาศึกษาในการทดลองได้ เพราะมีค่า T_g ที่มีความใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปผสมกันสามารถผสมเข้ากันได้แต่เมื่อสังเกตที่พอลิเมอร์ผสมจะสามารถสังเกตเห็นค่า T_g 2 จุดนั้นแสดงให้เห็นการแยกเฟสกันระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับยาง

ตารางที่ 4.1 Tg ของ PVC, RPVC, NR, และพอลิเมอร์ผสม

Polymer	Composition	Tg (°C)
PVC	100%	75.9 [7]
RPVC	100%	71.74
NR	100%	-61.5 [7]
NR/ENR/PVC	10/10/90	-68.8, 65.4 [7]

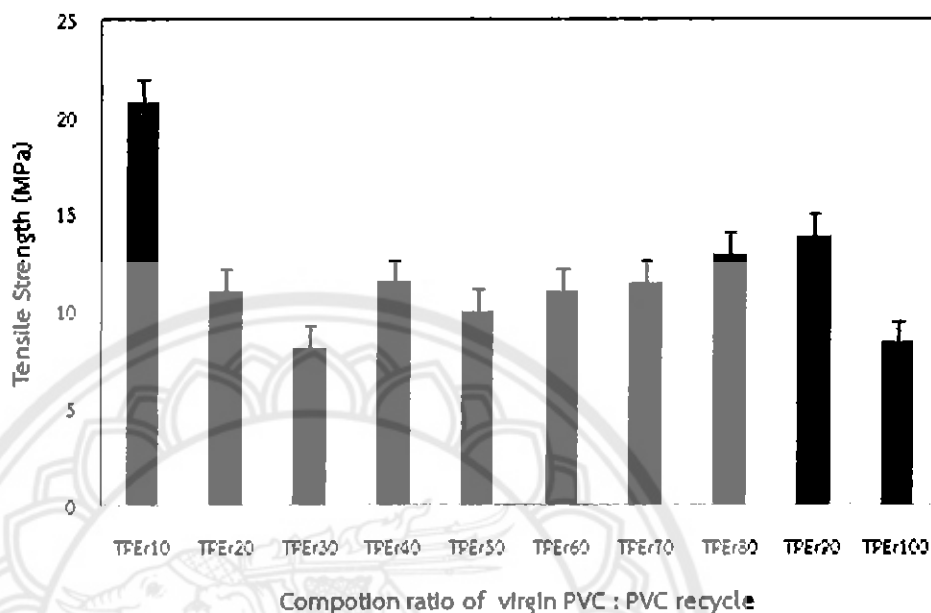


รูปที่ 4.3 กราฟจากเทคนิค DSC ของ R-PVC

4.3 การศึกษาสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการนำถุงน้ำเกลือพีวีซีที่ใช้แล้ว (R-PVC) กลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่โดยมีการศึกษาถึงผลของผสมพีวีซีที่ใช้แล้วลงในเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่างพีวีซีบริสุทธิ์ (Virgin PVC) เกรดขวดและยางธรรมชาติ ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจาก 0-90 phr. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาความหลากหลายของพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ซึ่งเป็นการได้วัสดุใหม่ที่เหมาะกับการใช้งานหนึ่งๆ โดยทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนทางกล ได้แก่ ยังโมดูลัส (Young's Modulus) สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และสมบัติต้านทานแรงดึง (Tensile Stress) มีชิ้นงานทดสอบอัตราส่วนละ 5 ชิ้นตัวอย่างมาตรฐาน JIS K 6723 ผลการทดสอบในตาราง ค 1) (ภาคผนวก ค)

4.3.1 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

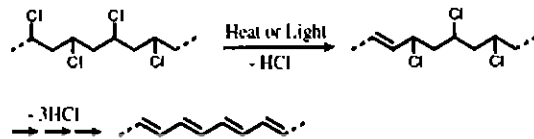


รูปที่ 4.4 สมบัติต้านทานแรงดึงของ NR/V-PVC/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ

ทำการเตรียม TPE จากถุงน้ำเกลือพีวีซีที่ใช้แล้วกับยางธรรมชาติ (TPEr90) อัตราส่วน 90/10 phr. ทดแทนเม็ดพีวีซีบริสุทธิ์ พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 8.34 เมกะปาสคาล ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากความเครียดเฉือนระหว่างกระบวนการผสมส่งผลให้เกิดการหลอมละลายของอนุภาคพีวีซีที่ใช้แล้ว (R-PVC) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอนุภาคเดิมเป็นการพัวพันของสายโซ่พลาสติกนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางอุณหภูมิจึงสาเหตุการลดลงในคุณสมบัติเชิงกล [17, 18]

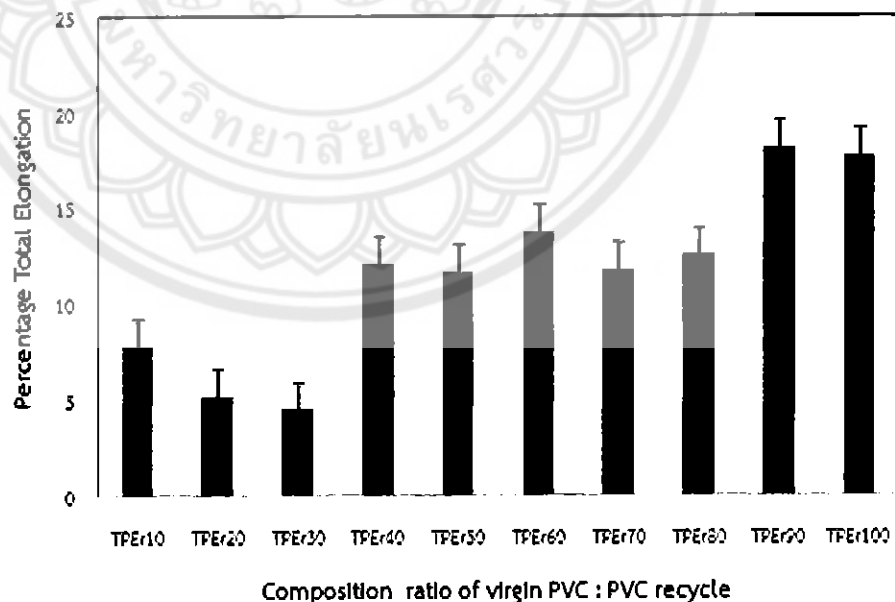
จากนั้นทำการทดลองการเตรียม TPE จากพีวีซีที่ใช้แล้วลงในพีวีซีบริสุทธิ์กับยางธรรมชาติ (V-PVC/R-PVC/NR/ENR) ในอัตราส่วนต่างๆกัน คือ 60/30/10/10 (TPEr30) 50/40/10/10 (TPEr40) 40/50/10/10 (TPEr50) 30/60/10/10 (TPEr60) 20/70/10/10 (TPEr70) และ 10/80/10/10 (TPEr80) จากการทดลองพบว่า TPE เมื่อผสมพีวีซีที่ใช้แล้วอัตราส่วน TPEr30 ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเป็น 11.46 เมกะปาสคาล เมื่อเทียบกับ TPEr0 สาเหตุจากที่กล่าวข้างต้น ในทางตรงกันข้ามค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่า TPEr90 เนื่องจาก TPEr30 มีปริมาณของพีวีซีบริสุทธิ์ถึง 60 phr. และเมื่อทำการทดลองโดยการเพิ่มปริมาณพีวีซีที่ใช้แล้วใน TPE เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มของพอลิเมอร์ผสมด้วยกันเองแล้วพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าใกล้เคียงกันแต่เมื่อพิจารณาในกลุ่มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง

V-PVC/R-PVC/NR/ENR พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณพีวีซีที่ใช้แล้วในพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอาจเกิดเนื่องจากพีวีซีที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการผสมส่งผ่านให้โครงสร้างพีวีซีเกิดการกำจัดของไฮโดรเจนคลอไรด์ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำซึ่งในขั้นแรกปฏิกิริยานี้เริ่มต้นด้วยการการก่อดตัวของพันธะคู่หนึ่งปฏิกิริยาเกิดรวดเร็วมากซึ่งนำไปสู่ลำดับโพลีอิน (Polyene) ในสายโซ่หลักตามปฏิกิริยาดังรูป [18, 19, 20]



และกระบวนการที่สองจะเกิดระหว่างการสลายตัว ลำดับโพลีอินซึ่งเป็นพันธะคู่ทำปฏิกิริยากับอย่างอื่นนำไปสู่เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่ [18] ดังนั้นการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของพีวีซีที่ใช้แล้วต่อพีวีซีบริสุทธิ์เป็นการเพิ่มพันธะมากขึ้นสามารถจับกับเฟสอื่นได้มากยิ่งขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างเฟส PVC และ NR แข็งแรงขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาในกลุ่มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/R-PVC/NR/ENR ดังรูปที่ 4.4

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด

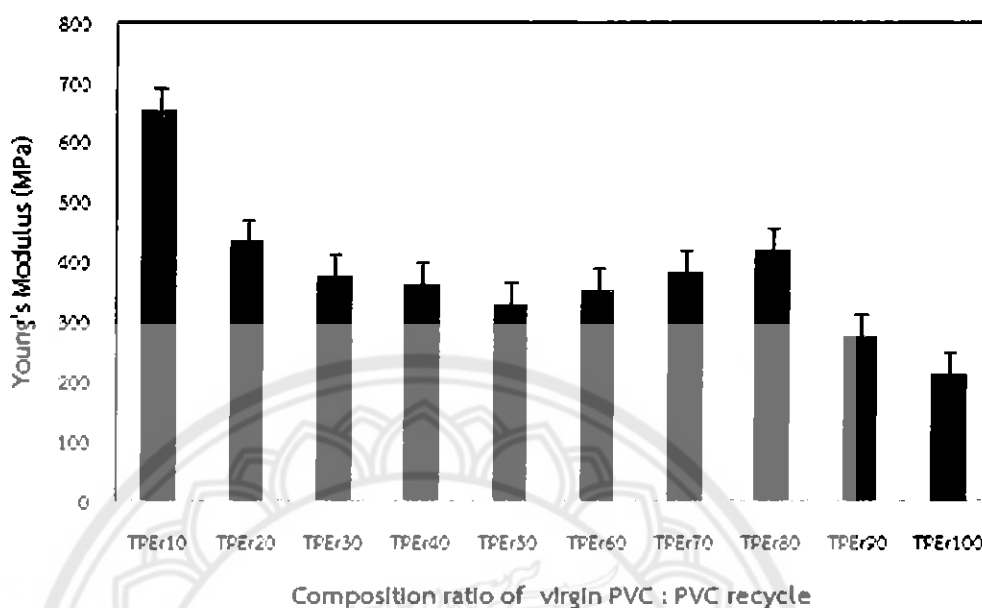


รูปที่ 4.5 สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด ของ NR/V-PVC/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 ทดสอบสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาด ของ NR/V-PVC/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งที่พอลิเมอร์ผสม TPEr0 พบว่าค่าร้อยละการยึด ณ จุดขาดที่ 7.72 เมื่อเทียบกับพีวีซีบริสุทธิ์ เนื่องจากการยางธรรมชาติและยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปร (ENR) ผลที่ได้สอดคล้องกับคำอธิบายของ [10] ที่อ้างว่า ENR สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) กับ PVC ได้ ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมจึงมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างเฟส PVC และ NR แข็งแรงขึ้นดังนั้นในงานนี้จึงอาจเป็นไปได้เช่นกันว่า ENR ที่มีปริมาณหมู่เอพอกซีเพิ่มขึ้นก็จะมีโอกาสที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเช่นกัน

นอกจากนี้พิจารณาการเพิ่มปริมาณพีวีซีที่ใช้แล้วแต่ละอัตราส่วนพบว่าสมบัติสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาด ของ NR/PVC/RPVC ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 60:30 จนถึง 20:70 phr. จะมีค่าสมบัติสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาด อยู่ในแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และพบว่า TPEr80 (PVC/RPVC/ENR/NR ที่อัตราส่วน 10/80/10/10) จะมีค่าร้อยละการยึดตัว ณ จุดขาด สูงสุดอย่างเห็นได้ชัดเท่ากับ 20.63 เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมทุกอัตราส่วนผสมต่างๆ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของพีวีซีที่ใช้แล้วต่อพีวีซีบริสุทธิ์เป็นการเพิ่มพันธะคู่มากขึ้นสามารถจับกับเฟสอื่นได้มากยิ่งขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างเฟส PVC และ NR แข็งแรงขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาในกลุ่มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/R-PVC/NR/ENR และท้ายที่สุด พอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน TPEr90 ซึ่งใช้พีวีซีที่ใช้แล้วทดแทนเม็ดพีวีซีบริสุทธิ์พบว่าความสามารถในการยึดตัวจะลดต่ำลงร้อยละ 2-3 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับคุณวันทนา [7] เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดพันธะคู่ของโครงสร้างพีวีซีที่ใช้แล้วมีมากเกินไปจึงทำให้สมบัติการยึดตัว ณ จุดขาดลดลง

4.3.3 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อการเสียรูป



รูปที่ 4.6 ค่า Young's Modulus ของ NR/PVC/RPVC ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบค่า Young's Modulus จะเห็นได้ว่าเมื่อเติม R-PVC ลงไปใน PTE ทำให้ความแข็งแรงของเนื้อวัสดุลดลง เนื่องจาก R-PVC มีค่า Young's Modulus ต่ำกว่า V-PVC และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า Young's Modulus ในเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่าง V-PVC/NR/ENR/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วนผสม 80/10/10/10 (TPEr10) 70/10/10/20 (TPEr20) 60/10/10/30 (TPEr30) 50/10/10/40 (TPEr40) 40/10/10/50 (TPEr50) 30/10/10/60 (TPEr60) และ 20/10/10/70 (TPEr70) ในระบบมีค่า Young's Modulus ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการเสียรูปเนื่องจากแรงดึงในช่วงแรกที่ระยะยืดประมาณร้อยละ 1.5-2.0 วัสดุจะมีพฤติกรรมตามลักษณะของพอลิเมอร์หลักในพอลิเมอร์ผสมนั้น ๆ [7] ซึ่งในโครงงานนี้พอลิเมอร์ผสมทุกระบบมีปริมาณของพอลิเมอร์หลักที่เป็นพีวีซีบริสุทธิ์กับพีวีซีที่ใช้แล้วเท่ากับร้อยละ 80 ดังนั้นค่า Young's Modulus ที่แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมาจากลักษณะของพีวีซีบริสุทธิ์กับพีวีซีที่ใช้แล้วนั่นเอง

ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึง การทดสอบสมบัติการยืดตัว ณ จุดขาด และการทดสอบสมบัติการทนต่อการเสียรูป นั้นล้วนมีความสัมพันธ์สอดคล้องกันทั้งสิ้น ซึ่งจากรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 พิจารณาเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่าง V-PVC/NR/ENR/R-PVC ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มปริมาณพีวีซีที่ใช้แล้วตั้งแต่ 10-90 phr. พบว่า ค่าเฉลี่ยสมบัติต้านทานต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ R-PVC ที่ใส่เข้าไปและที่อัตราส่วนระหว่าง V-PVC/NR/ENR/R-PVC คือ 10/10/10/80 (TPEr80) มีค่าสมบัติต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 13.84 เมกะปาสคาล และอีกทั้งยังมีการยืดตัวได้ดีอีกด้วยที่สมบัติต้านทานแรงดึง ณ จุด

ขาด เท่ากับร้อยละ 18.14 เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของพีวีซีที่ใช้แล้วเข้าไปเป็นการเพิ่ม พันธะมากขึ้นสามารถจับกับเฟสอื่นได้มากขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่าง PVC และ NR มีความ แข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นและที่อัตราส่วนระหว่าง PVC/NR/ENR/R-PVC คือ 0/10/10/90 (TPEr90) มีค่ามีค่าสมบัติต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 8.34 เมกกะปาสคาล และที่สมบัติ ต้านทานแรงดึง ณ จุดขาด เท่ากับร้อยละ 17.71 มีค่าลดลง สอดคล้องกับคุณวันทนา [7] เนื่องจากมี ความเป็นไปได้ที่จะเกิดพันธะคู่ของโครงสร้างพีวีซีที่ใช้แล้วมีมากเกินไปจึงทำให้สมบัติต้านทานต่อแรง ดึงและสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาดลดลง เพราะในพันธะคู่ที่เกิดขึ้นของพีวีซีที่ใช้แล้วยังเติมเข้าไปใน ปริมาณที่มากจะทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างกันดีทำให้ค่าความต้านทานดีขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ในกรณี TPEr90 ในโครงการงานวิจัยนี้มีค่ามากเกินไปจึงทำให้สมบัติต้านทานต่อแรงดึงลดลงตามที่ได้กล่าวมา แต่ในโครงการงานวิจัยเราไม่ได้ทำการพิสูจน์พันธะคู่ เป็นเพียงข้อสันนิษฐานที่คาดว่าน่าจะเกิดพันธะคู่ของ โครงสร้างพีวีซีที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่ายังมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ที่อัตราส่วนผสม คือ 0/10/10/80 (TPEr80) มีค่าเท่ากับ 274.86 เมกกะปาสคาล มีค่ามอดูลัสลดลงเนื่องจากยางธรรมชาติ และพีวีซีที่ใช้แล้วที่เติมลงไปมีค่าโมดูลัสต่ำกว่า PVC ดังนั้นการเติมยางธรรมชาติและพีวีซีที่ใช้แล้วจึง กลายเป็นการเพิ่มความอ่อนตัวให้กับ PVC ซึ่งทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงของพลาสติกเสียไป ในขณะที่สมบัติต้านทานต่อแรงดึงและสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจาก PVC เป็น พอลิเมอร์ที่มีขั้ว ส่วนยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เมื่อเติม ENR ลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นสาร ช่วยผสมซึ่ง ENR เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วจึงไปจับกับเฟสของ NR เพื่อให้มีขั้วสามารถจับกับเฟสอื่น ได้มากยิ่งขึ้นส่งผลให้เกิดแรงยึดเกาะได้ดีมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่ค่ามอดูลัสลดลง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของ PVC ที่ใช้แล้ว ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของ PVC/NR/ENR และหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง Two Roll Mill ในการทำพอลิเมอร์ผสม TPE ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ใช้ประโยชน์ของยางธรรมชาติไปสู่การเพิ่มมูลค่าของวัสดุพอลิเมอร์ผสมเพื่อขยายขอบเขตในการใช้งานของ PVC โดยผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาความเข้ากันได้

เนื่องจากในงานทดลองไม่สามารถใช้เครื่องมือที่สามารถทดสอบความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมได้ ในโครงการวิจัยนี้สามารถทดสอบได้เฉพาะการมองด้วยตาเปล่า พบว่า PVC/NR/ENR/RPVC เมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่า ระบบ PVC/NR/ENR กับ PVC/NR/ENR/RPVC สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะทึบแสงมองไม่เห็นการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/NR/ENR/RPVC และยืนยันจากเทคนิคต่างๆ Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า PVC/NR/ENR มีค่า T_g สองค่า การเพิ่ม RPVC ในพอลิเมอร์ผสม PVC/NR/ENR/RPVC ก็สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันเพราะค่า T_g ของ V-PVC มีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกันกับ R-PVC

5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในเครื่อง Two Roll Mill

สภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเมอร์ผสมใช้ความเร็วรอบที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เม็ดพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้

5.1.2 สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/NR/ENR, R-PVC/NR/ENR และ V-PVC/NR/ENR/R-PVC

พบว่าสมบัติด้านทานต่อแรงดึง และค่าโมดูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/NR/ENR สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 20.74 และ 652.65 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ และสมบัติการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง V-PVC/NR/ENR/R-PVC สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 20.63 นั่นคือที่ปริมาณ R-PVC เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของพีวีซีที่ใช้แล้วเข้าไปเป็นการเพิ่มพันธะมากขึ้นสามารถจับกับเฟสอื่นได้มากขึ้น ส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่าง V-PVC และ NR มีความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ในการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึง ค่ายังโมดูลัส ค่าการยืด ณ จุดขาด ค่าดเคลื่อนจากเครื่อง Universal Testing Machine ที่ใช้ในการทดสอบจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมคือ หัวจับขึ้นทดสอบทุกครั้ง ซึ่งหัวจับขึ้นทดสอบมีหน้าที่หลักในการจับยึดขึ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ โดยต้องสามารถรับและถ่ายแรงจากเครื่องสู่ชิ้นทดสอบได้เป็นอย่างดี และประเด็นสำคัญคือ หัวจับต้องสามารถให้แรงผ่านขึ้นทดสอบตามแนวแกน ซึ่งต้องตั้งค่าการทดสอบและเลือกหัวจับที่เหมาะสม ทั้งนี้ เพื่อขึ้นทดสอบอยู่ในแนวที่ถูกต้องทั้งก่อนและระหว่างดำเนินการทดสอบ สำหรับวัสดุเหนียวให้ใช้หัวจับปากกว้างเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสแต่ไม่จำเป็นสำหรับวัสดุเปราะ ทั้งนี้ เนื่องจากหัวจับจะบีบวัสดุแล้วทำให้เกิดการแตกหักที่ ปลายขึ้นทดสอบแทนที่ จะเกิดการแตกหักในช่วงของระยะทดสอบ ดังนั้นอาจมีการคาดเคลื่อนจากการติดตั้ง

5.2.2 ศึกษาสมบัติด้านทานแรงกระแทก

ศึกษาสมบัติด้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง V-PVC/NR/ENR/R-PVC อาจทำให้ค่าสมบัติด้านทานแรงกระแทกสูงเกินกว่า V-PVC/NR/ENR

5.2.3 ศึกษาความเข้ากันได้

5.2.3.1 ศึกษาอุณหภูมิจุดหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิความเป็นผลึก (T_d) ที่เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ของพอลิเมอร์ผสม

5.2.3.2 ศึกษาหมู่พันธะเคมีในพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด เทคนิค FTIR นี้มีความไวใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าเทคนิคอื่นๆ

5.2.4 ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมเพื่อดูโครงสร้างและขนาดอนุภาคจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อทดสอบดูความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม



เอกสารอ้างอิง

- [1] Harper, C.A. (1998). Handbook of Plastics. Elastomer and Composites, 3rd ed. McGraw Hill Book CO., New York.
- [2] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. เอกสารประกอบการสอน : เทคโนโลยีของยาง (หน้า 14). ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Brydson, J.A. (1995). Plastic Material. Butterworth Heineman. Great Britain., pp. 298-347.
- [4] W.Smith. (1998). Handbook of Foundations of Materials Science and Engineering 4th edition. McGraw Hill Book CO., New York.
- [5] ไพรัตน์ พงศ์พานิชย์. (4 พฤษภาคม 2550). ความสำคัญของ “ถุงน้ำเกลือทางการแพทย์”. สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2552, จาก <http://www.thailabonline.com/drug/drug1.htm>.
- [6] ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. (2534). “การอีพอกซิเดชันและการวิเคราะห์ (epoxidation of Rubber and Its Analysis)”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1-3, หน้า 147-151.
- [7] วันทนา สุขแก้ว. (2543). การปรับปรุงสมบัติด้านทานแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์โดยการผสมยางธรรมชาติ. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] Lee, S. Y., Kim, J. H. and Kim, B. K. (1997). Natural Rubber Blends with Epoxidized Natural Rubber. Journal of Macromolecular Science Part B Physics., Vol. B36, No. 5, pp. 579-594.
- [9] Poh, B. T., and Khok, G. K. (2000). Tensile Property of Epoxidized Natural Rubber/Natural Rubber Blends. Polymer-Plastics Technology and Engineering., Vol. 39, No. 1, pp. 151-161.
- [10] Ishiaku, U.S., Nasir, M. and Mohd Ishak, Z.A. (1995). Rheological Properties of Poly(vinyl chloride)/Epoxidized Natural Rubber Blends: Part I Composition Dependence and The Effect of Compounding Condition. J. Vinyl. Addit. Technol., Vol. 1, No. 3, pp. 142-147.

- [11] Ishiaku, U.S., Nasir, M. and Mohd Ishak, Z.A. (1995). Aspects of Miscibility in Poly(vinyl chloride)/Epoxidized Natural Rubber Blends: Part II Mechanical and Morphological Properties. *J. Vinyl. Addit. Technol.*, Vol. 1, No. 3, pp. 223-231.
- [12] De, S.K. (1993). Carboxylate Nitrile Rubber as a Reactive Compatibilizer for Immiscible Blends of Poly(vinyl Chloride)/Epoxidized Natural Rubber Blends. *Journal of Applied Polymer Science.*, Vol. 50, pp. 1369-1377.
- [13] C. R. Rhyner, et al. (1995). *Waste Management and Resource Recovery. USA: CRC Press.*, pp. 129-136.
- [14] *J. Vinyl. Addit. Technol.*, Vol. 16, No. 4, pp. 219-230.
- [15] จารุณี จีรุพันธ์. (2546). “การศึกษามลกระทบของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมวิทยาและสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ”. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [16] ZAINAL A. NASIR. (1998). *Internal Mixer Studies of Poly(vinyl Chloride) / Epoxidized Natural Rubber Blends.* School of Industrial Technology, University of Science, 11800, Minden, Penang, Malaysia.
- [17] W. Arayaprane. (2003). *Blends of Poly(Vinyl Chloride) (PVC)/Natural Rubber-g-(Styrene-co-Methyl Methacrylate) for Improved Impact Resistance of PVC.* Department of Chemical Engineering. Faculty of Engineering, Rangsit University. Phatum Thani, 12000, Thailand.
- [18] J. C. ARNOLD. (2010). *The Properties of Recycled PVC Bottle Compounds.* Department of Materials Engineering University of Wales Swansea Singleton Park, Swansea, SA2 8PP, U.K.
- [19] Eckhard Plinke. (1988). *Mechanical Recycling of PVC Wastes.* Study for DG XI of the European Commission.



ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ในการทดลอง

มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ ก 1) ขนาดของแม่พิมพ์รูปดัมเบลล์ JIS K 6723



รูปที่ ก 2) ภาพชิ้นงานเมื่อผ่านการอัดขึ้น



ภาคผนวก ข
เครื่องมือและวิธีการทดลอง



เครื่อง Two roll mill

เครื่อง Compression Molding



เครื่องทดสอบแรงดึง

เครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง

รูปที่ ข 1) รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูประหว่างทำการนวดยางธรรมชาติ

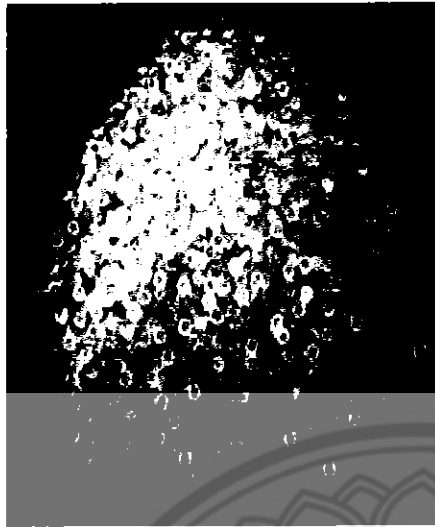
รูประหว่างการผสมพอลิเมอร์



รูประหว่างการผสมพอลิเมอร์

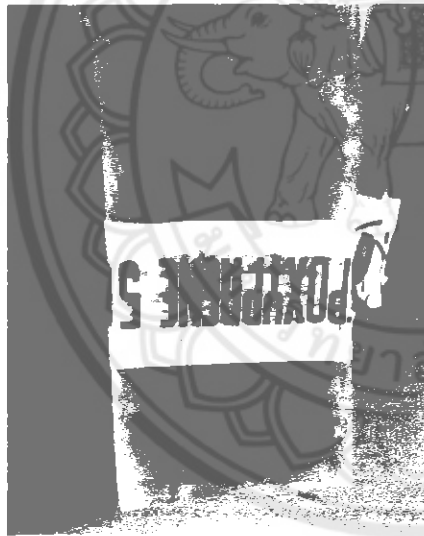
รูประหว่างทำการผสมพร้อมก็ตออกมาเป็นแผ่น

รูปที่ ข 2) รูปขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสม



เม็ด PVC บริสุทธิ์

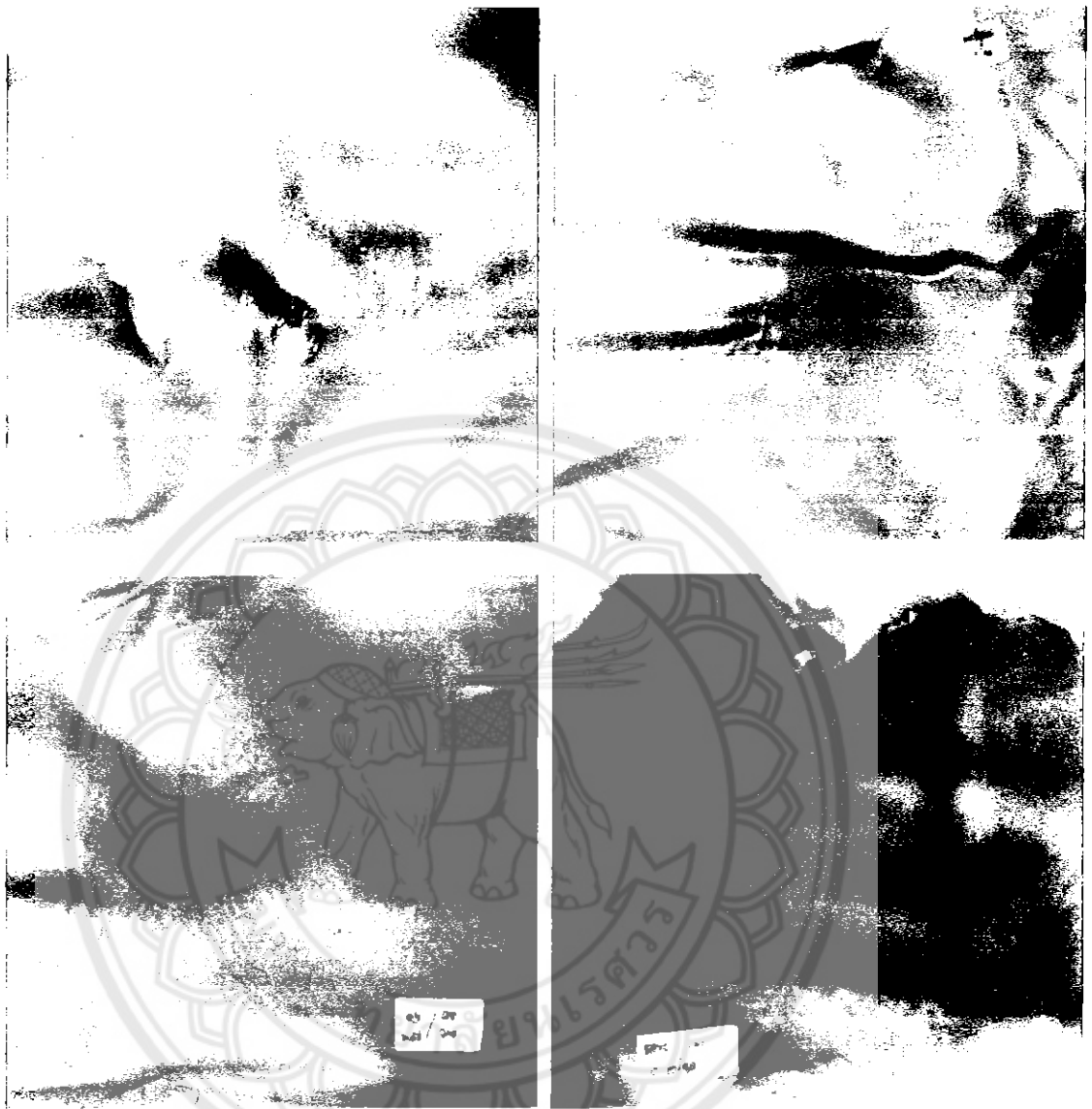
พลาสติก PVC ที่ใช้แล้ว



ยาง ENR-50

ยางธรรมชาติ (NR)

รูปที่ ข 3) วัสดุที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ข 4) รูปชิ้นงานที่ได้จากการทำพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ ข 5) รูปชิ้นงานตัวอย่างของถุงน้ำเกลือเตรียมทดสอบ DSC



รูปที่ ข 6) รูปตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการอัดขึ้นรูป



ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดสอบเชิงกล

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ ค 1) สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของ PVC และพอลิเมอร์ผสมต่างๆ

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVC/NR/ENR/RPVC ที่อัตราส่วนผสม	ความต้านทานต่อ แรงดึง (MPa)	สมบัติการยืด ณ จุด ขาด(%)	ยังโมดูลัส (MPa)
100:0:0:0	44.23	6.18	1518.73
90:10:10:0	20.74	7.72	652.65
80:10:10:10	11.02	5.14	433.67
70:10:10:20	8.00	4.46	374.23
60:10:10:30	11.46	12.01	361.90
50:10:10:40	9.96	11.60	328.58
40:10:10:50	11.02	13.72	351.36
30:10:10:60	11.43	11.70	382.58
20:10:10:70	12.89	12.51	417.82
10:10:10:80	13.84	18.14	274.86
0:10:10:90	8.34	17.71	210.20
0:0:0:100	17.01	2.53	283.76