



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ อิทธิพลของน้ำมันและสารตัวเติมต่อสมบัติของเทอร์โม
พลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด้วยธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์และคณะ

มีนาคม 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ อิทธิพลของน้ำมันและสารตัวเติมต่อสมบัติของเทอร์โม
พลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด้วยธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 2. นายวชิรพรรณ พรหมทองนุ้ย | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 3. นายพัฒนา เกื้อแสง | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาชีชัน แกสมาน | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

- 1. ชื่อโครงการ** อิทธิพลของน้ำมันและสารตัวเติมต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด้วยธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน
- Influence of Oil and Fillers on Properties of Thermoplastic Elastomer
Based on Natural Rubber-Polyethylene Blends

- 2. ชื่อหัวหน้าโครงการ** รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรรค์
- หน่วยงาน** ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์
- คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง
- จ.ปัตตานี 94000
- โทรศัพท์** 073 313930-50 ต่อ 1866, โทรสาร 073 331099
- E-mail** ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th

3. นักศึกษาหรือนักวิจัย

3.1. นายวัชรพรรณ พรหมทองนุ้ย

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง

จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1861, โทรสาร 073 331099

E-mail g4545031@mor-or.pn.psu.ac.th

3.2. นายพัฒนา เกื้อแสง

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง

จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1861, โทรสาร 073 331099

E-mail g4545025@mor-or.pn.psu.ac.th

5. ระยะเวลาดำเนินงาน6.....เดือน

ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2548 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2549

6. ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ในการเตรียมวัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มักจะใช้อย่างสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบที่ใช้เบลนด์กับเทอร์โมพลาสติก แต่พบว่าสามารถใช้ยางธรรมชาติแทนยางสังเคราะห์แล้วได้วัสดุที่เรียกว่ายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (TPNR) โดยในงานวิจัยนี้ทำการเบลนด์ HDPE และ LLDPE กับยางธรรมชาติ โดยใช้เทคนิค 2 แบบ คือ TPO (simple blend) โดยการเตรียมแบบการเบลนด์ปกติ (simple blends) กล่าวคือไม่ใช้สารวัลคาไนซ์ และ โดยการใช้สารวัลคาไนซ์ หรือ TPV โดยการเบลนด์ยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน 2 ชนิด คือ HDPE (NR/HDPE) และ LLDPE (NR/LLDPE) โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ปริมาณเล็กน้อย แล้วศึกษาความเข้ากันได้โดยศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี สมบัติการละลาย สมบัติเชิงความร้อน และสัณฐานวิทยา เป็นต้น นอกจากนั้นเพิ่มสมบัติความเป็นยางและความสามารถในการแปรรูปโดยการใช้น้ำมันชนิดต่างๆ และทดลองใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุชนิดนี้

7. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียม TPNR โดยการเบลนด์แบบปกติและการเบลนด์โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำมันและพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ที่เตรียมโดยกระบวนการในข้อ 1
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมคือซิลิกา (silica) และเขม่าดำ (carbon black) ที่มีผลต่อสมบัติของ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของ TPNR ที่เตรียมโดยกระบวนการในข้อ 1
4. เพื่อศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
5. เพื่อศึกษาสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล ความต้านทานต่อตัวทำละลาย และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
6. เพื่อนำข้อมูลผลวิจัยร้อยเรียงกับผลวิจัยที่ผ่านมาแล้วให้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าเบ้า และการเป่า เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ตัวครอบสปริงกันสะเทือน ผิวประตูด้านในและมือจับประตู ท่อไอดี ตัวอุดเพื่อกันเสียง

รบกวนจากภายนอก และการประยุกต์ใช้งานอื่นๆได้ฝากระโปรง เช่น ข้อต่อท่อ และ ข้อต่อ
 สारไฟ เป็นต้น

8. ผลการดำเนินงาน

ได้เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์อย่างธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน 2 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยใช้เทคนิคการเบลนด์ 2 เทคนิค คือ เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ และการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ โดยการเบลนด์ด้วยเครื่องผสมแบบภายในขนาดเล็ก Brabender Plasticorder โดยทำการบดผสมที่อุณหภูมิ 180°C ความเร็วโรเตอร์ 60 rpm การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยวิธีการเบลนด์แบบปกติ เริ่มจากการเตรียม TPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 และ 70/30 แล้ววิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ได้ TPE กล่าวคือมีสัณฐานวิทยาแบบเฟสร่วม (co-continuous phase morphology) หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติ TPE โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้หลายชนิด คือ PE ที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยเรซินฟีนอลิก (Phenolic modified HDPE, Ph-HDPE), SP-1045 และ HRJ-10518 พบว่าการใช้ฟีนอลิกเรซิน (HRJ-10518) จะให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติการไหล สมบัติเชิงกลดีที่สุด หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำมันโดยการแปรชนิดน้ำมันหลายชนิด คือ white oil น้ำมันพาราฟินิก น้ำมันแนฟทานิก น้ำมันโอพอกซิไคซ์ และไดออกทิลพระทาเลต พบว่า white oil ให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติดีที่สุด ทั้งสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ต่อมาจึงศึกษาอิทธิพลของปริมาณ white oil ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลต่อการลดลงของค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืด และความแข็งแรง แต่ทำให้เพิ่มความสามารถในการยืดและความเป็นอีลาสโตเมอร์ หลังจากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิดคือ เขม่าดำ และซิลิกา พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเหนียว และค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดและความเป็นอีลาสโตเมอร์ลดลง

หลังจากนั้นเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยการเบลนด์อย่างธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยใช้กระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ โดยศึกษาอิทธิพลของกระบวนการวัลคาไนเซชัน โดยแปรระบบ คือระบบกำมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ ระบบผสม (กำมะถันและเปอร์ออกไซด์) และระบบฟีนอลิก (SP-1045 และ HRJ-10518) พบว่าระบบฟีนอลิก (HRJ-10518) ให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติการไหล สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาดีที่สุด

แล้วทำการศึกษาอิทธิพลปริมาณน้ำมัน white oil ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ซึ่งจะให้ผลในทำนองเดียวกับกรณีเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยเทคนิคจากการเบลนด์แบบปกติ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลต่อแนวโน้มการลดความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเฉือน และความแข็ง หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิด คือซิลิกาและเขม่าดำ ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้เพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือน และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ลดค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

9. สรุปผลการวิจัย

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์อย่างธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน 2 ชนิด คือ HDPE LLDPE โดยใช้เทคนิคการเบลนด์ 2 เทคนิค คือ เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ และการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ดังข้อสรุปต่อไปนี้

1. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยวิธีการเบลนด์แบบปกติ
 - พบว่าอัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 ให้พื้นฐานวิทยาแบบเฟสร่วม (co-continuous phase morphology) ดังนั้นจึงโดยใช้อัตราส่วน NR/PE = 60/40 ตลอดงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากัน 3 ชนิด คือ Ph-HDPE, SP-1045 และ HRJ-10518 พบว่าการใช้ฟีนอลิกเรซิน (HRJ-10518) จะให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติดีที่สุด
 - ศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำมันโดยการแปรน้ำมันชนิดต่างๆ ในปริมาณเท่ากัน 20 phr ชนิดน้ำมันที่ศึกษา คือ white oil น้ำมันพาราฟินิก น้ำมันแนฟทานิก น้ำมันอียอกซีไดซ์ และไดออกทิลพระทาเลต พบว่า white oil ให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติดีที่สุดจึงเลือกใช้ตลอดงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของปริมาณ white oil ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืด ความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลง แต่ให้ความสามารถในการยืดและความเป็นอีลาสโตเมอร์สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำมันที่ 20 phr คือปริมาณที่ให้ TPE ที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุด

- ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิดคือ เขม่าดำ และซิลิกา พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเฉือน และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดและความเป็นอีลาสโตเมอร์ลดลง

2. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยการเบลนด์ยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนที่อัตรา ส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยใช้กระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์

- ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการวัลคาไนซ์ในเซชัน โดยแปรระบบ คือระบบกัมมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ ระบบผสม (กัมมะถันและเปอร์ออกไซด์) และระบบฟินอลิก (SP-1045 และ HRJ-10518) พบว่าระบบฟินอลิก (HRJ-10518) ให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติดีที่สุด หลังจากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลปริมาณน้ำมัน white oil ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่าจะให้ผลในทำนองเดียวกับกรณีเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยเทคนิคจากการเบลนด์แบบปกติ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลต่อแนวโน้มการลดความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเฉือน และความแข็ง
- อิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิด คือซิลิกาและเขม่าดำ ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้เพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความเค้นเฉือน ความหนืดเฉือน และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ลดค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์
- TPVs ทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อน้ำมันเครื่องดี แต่ไม่ทนทานต่อสารละลายผสมของโทลูอีนกับไอโซออกเทน และน้ำมันเบนซิน
- การบดแล้วแปรรูปใหม่ จำนวน 3 รอบ มีผลทำให้ TPVs มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดการวัลคาไนซ์ต่อจากการที่ระบบฟินอลิกมีกราฟการวัลคาไนซ์แบบมาซซิง ที่ใช้มีการเชื่อมโยงเพิ่มเติมที่อุณหภูมิการแปรรูป แต่ TPVs ที่ได้มีความสามารถในการคืนรูปลดลง

ดังนั้นสามารถขยายขอบเขตการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมที่ต้องการสมบัติต่างๆอยู่ในช่วงของ TPE และ TPV ทั้งสองชนิดนี้ได้

10. ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่ม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ควรจะวิจัยการเตรียม TPE และ TPV โดยใช้ระบบต่อเนื่องโดยใช้ twin-screw extruder และการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบตามความสนใจของอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ในรถยนต์ ค้ำแปลงสีฟัน ค้ำจับเครื่องมือ หรืออุปกรณ์อื่นๆตามความสนใจของอุตสาหกรรม

11. ผลงานทางวิชาการที่จะเกิดขึ้น

การผลิตวัสดุ TPE และ TPV จากยางธรรมชาติเบลนด์กับ HDPE และ LLDPE โดยเผยแพร่ในที่ประชุมและวารสารทางวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

Influence of Oil and Fillers on Properties of Thermoplastic Elastomer Based on Natural Rubber-Polyethylene Blends

Abstract

Thermoplastic elastomer based on natural rubber blended with two types of polyethylene (i.e., HDPE and LLDPE) was prepared. Two types of techniques were exploited: a simple blend and dynamic vulcanization technique. The simple blend technique of NR/PE blend at a blend ratio of 60/40 was studied. This is because at this blend ratio, co-continuous phase morphology of the blend was observed. Influence of various blend compatibilizers was then studied. We found that HRJ-10518 exhibited the most appropriate blend compatibilizer. It was later used throughout this work. Effect of types of process oils (i.e., white oil, paraffinic oil, naphthenic oil, epoxidized oil and plasticizer (dioctyl phthalate, DOP) on properties of the TPE was later investigated. It was found that white oil gave the TPE with superior properties. Influence of concentration of white oil on properties of the TPE was later studied. We found that increasing level of white oil caused decreasing trend of tensile strength, shear viscosity, and hardness but increasing elongation at break and elastomeric properties (based on tension set results). Two types of fillers (i.e., carbon black and silica) were used in the TPE based on OENR/HDPE and OENR/LLDPE blends. It was found that increasing loading level of fillers caused increasing level of tensile strength, shear viscosity, and hardness but decreasing elongation at break and elastomeric properties. Thermoplastic vulcanizates (TPVs) were later prepared based on NR/PE blend at a blend ratio of 60/40. Influence of vulcanization system was first investigated using various vulcanization systems: sulphur, peroxide, mixed system (sulphur and peroxide) and phenolic system using two types of phenolic resins (SP-1045 and HRJ-10518). We found that the phenolic system using HRJ-10518 provided the TPVs with the best properties. Influence of loading level of white oil and fillers (i.e., carbon black and silica) on properties of the TPVs was also studied. We found that the oil and fillers showed similar affect on the TPEs based on a simple blend technique.

สารบัญ

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ	7
Abstract	8
เนื้อหา	9
2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	9
2.2 วัตถุประสงค์	10
2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง	10
2.4 วิธีการ	12
2.4.1 การเตรียมยางธรรมชาติผสมน้ำมัน	12
2.4.2 การเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้ (blend compatibilizer)	12
2.4.3 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากเทคนิค การเบลนด์แบบปกติ	12
2.4.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ 14 แบบไดนามิกส์	14
2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์	21
2.5.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/PE โดยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ	21
2.5.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ โดยกระบวนการวัลคาไนซ์ 48 แบบไดนามิกส์	48
2.6 สรุปผลการทดลอง	74
2.7 ข้อเสนอแนะ	76
2.8 เอกสารอ้างอิง	77
7. ภาคผนวก 1. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์	79

เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomer, TPE) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย ส่วนโมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแข็ง (hard domain) และส่วน โมเลกุลที่นิ่ม (soft domain) ซึ่งมีพอลิเมอร์หลายชนิดที่แสดงสมบัติเป็น TPE กล่าวคือ มีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิการใช้งาน และสามารถหลอมและไหลได้เช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติกที่อุณหภูมิสูงในขณะขึ้นรูป TPE มีหลายกลุ่ม เช่น บล็อกโคพอลิเมอร์ของสไตรีน (SIS, SBS, และ SEBS เป็นต้น) เทอร์โมพลาสติกยูรีเทน (TPU) โคพอลิเอสเตอร์ (TPE-E) และเตรียมจากการเบลนด์พอลิโอเลฟินด์กับอีลาสโตเมอร์โดยไม่มีสารวัลคาไนซ์ส่วนข้าง เรียกเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ประเภทนี้ว่าเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินด์ (Thermoplastic polyolefin, TPO) และเรียกกระบวนการเบลนด์ว่าเป็นการเบลนด์แบบปกติ (simple blend) ส่วนพอลิเมอร์เบลนด์ของเทอร์โมพลาสติกกับอีลาสโตเมอร์ที่มีการวัลคาไนซ์ข้าง ในขณะทำการเบลนด์ เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (Thermoplastic vulcanizate, TPV) และเรียกกระบวนการวัลคาไนซ์ชั้นว่ากระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ (Dynamic vulcanization)

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมโดยการใช้ยางธรรมชาติเป็นส่วนนิ่มเบลนด์กับเทอร์โมพลาสติกซึ่งใช้เป็นส่วนแข็ง เรียกว่าสติกกลุ่มนี้ว่าเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติ (Thermoplastic natural rubber, TPNR) ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียม TPNR ของ HDPE และ LLDPE 2 แบบ คือ TPO (simple blend) และ TPV จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน 2 ชนิด คือ HDPE (NR/HDPE) และ LLDPE (NR/LLDPE) โดยการเตรียมแบบการเบลนด์ปกติ (simple blends) ทำได้โดยการบดผสมยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน (NR/HDPE และ NR/LLDPE) ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมของพอลิเอทิลีน ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ปริมาณเล็กน้อย แล้วศึกษาความเข้ากันได้โดยศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี สมบัติการละลาย สมบัติเชิงความร้อน และสัณฐานวิทยา เป็นต้น

การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPVs) ทำโดยการเบลนด์ยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน (NR/HDPE และ NR/LLDPE) แล้วผสมสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) ให้ส่วนอีลาสโตเมอร์เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในขณะทำการผสม หลังจากนั้นนำวัสดุขึ้นรูปด้วยเครื่องแปรรูปเทอร์โมพลาสติก เช่น เครื่องฉีดเข้าเบ้า (Injection molding) แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา ความสามารถในการทนน้ำมัน และ สมบัติด้านความต้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน เป็นต้น

จากการศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE แบบการเบลนด์ปกติ พบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 จะให้ สัณฐานวิทยาแบบเฟสร่วม (co-continuous phase morphology) (สุกัญญา 2548) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะใช้น้ำมันและพลาสติกไฮดรอกซ์เพื่อปรับปรุงสมบัติการแปรรูปโดยการฉีดเข้าเบ้า และการปรับปรุงสมบัติ

ความเป็นอิลาสโตเมอร์ เช่น ความสามารถในการยืด ความสามารถในการคืนรูป เพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากพลาสติกไฮเซอรที่ผสมกับ TPNR จะมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ของเฟสยางลดลง นอกจากนี้หากต้องการความแข็งและความแข็งแรง สามารถกระทำได้โดยใช้สารตัวเติมเสริมแรง เช่น เชมดำ และซิลิกา ดังนั้นจึงทำการศึกษาอิทธิพลการใช้สารตัวเติมเหล่านี้ต่อสมบัติโดยรวมของ TPNR ดังนั้นงานวิจัยนี้นับเป็นการพัฒนาวัสดุใหม่จากยางธรรมชาติ เพื่อขยายขอบเขตการใช้งานยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมและนับเป็นการเพิ่มมูลค่าทางพาราโดยใช้เทคโนโลยีของการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

2.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียม TPNR โดยการเบลนด์แบบปกติและการเบลนด์โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำมันและพลาสติกไฮเซอรที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ที่เตรียมโดยกระบวนการในข้อ 1
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมคือซิลิกา (silica) และเชมดำ (carbon black) ที่มีผลต่อสมบัติของ เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ของ TPNR ที่เตรียมโดยกระบวนการในข้อ 1
4. เพื่อศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
5. เพื่อศึกษาสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล ความต้านทานต่อตัวทำละลาย และสมบัติทางสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE
6. เพื่อนำข้อมูลผลวิจัยร้อยเรียงกับผลวิจัยที่ผ่านมาแล้วให้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางที่ ขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าเบ้า และการเป่า เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ตัวครอบสปริงกันสะเทือน ผิวประตูด้านในและมือจับประตู ท่อไอดี ตัวอุดเพื่อกันเสียงรบกวนจากภายนอก และการประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ได้ผากระโปร่ง เช่น ข้อต่อท่อ และ ข้อต่อสารไฟ เป็นต้น

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดใหม่โดยการสังเคราะห์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากต้องใช้ต้นทุนและความพยายามสูงในการค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาสารเคมีชนิดใหม่และวิธีการแปรรูปแบบใหม่ ดังนั้นจึงนิยมการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดใหม่โดยใช้เทคโนโลยีพอลิเมอร์เบลนด์กันมากขึ้น เนื่องจากสามารถนำพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาทำการเบลนด์ เพื่อให้ได้ พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีสมบัติตามต้องการ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายและยังสามารถกำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดใหม่ได้จากสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาเบลนด์ ได้พอลิเมอร์เบลนด์ที่มีสมบัติหลากหลาย จากแนวความคิดข้างต้น จึงมีการ

พัฒนาผสมผสานสมบัติของอีลาสโตเมอร์กับเทอร์โมพลาสติกเข้าด้วยกัน โดยนำมาเบลนด์ในเครื่องมือที่มีแรงเฉือนสูงและอุณหภูมิที่เหมาะสม คือสามารถทำให้พลาสติกเกิดการหลอมและไหลได้ หากสามารถบังคับให้สัณฐานวิทยาของเฟสยางและพลาสติกได้ จะทำให้ได้พอลิเมอร์เบลนด์ที่เรียกว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers, TPEs) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นเหมือนยาง แต่สามารถแปรรูปได้ง่ายด้วยเครื่องมือแปรรูปของเทอร์โมพลาสติก และเศษที่เหลือจากการแปรรูปหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปแล้ว สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ (recycle)

พอลิโอลิฟินส์ (Polyolefins) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่นิยมนำมาเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดี ทนทานต่อสารเคมี และราคาไม่แพง โดยสามารถเบลนด์ได้ทั้งกับยางสังเคราะห์ เช่น iPP/EPR (D'orazio *et al.*, 1994), PP/EPDM (Goharpey *et al.*, 2001), HDPE/EPDM (Chandra *et al.*, 1995), HDPE/NBR (George *et al.*, 1995a), PP/NBR (George *et al.*, 1995b และ 1999), LLDPE/EVA (Moly *et al.*, 2002), HDPE/EVA (John *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยางธรรมชาติก็สามารถใช้เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยเบลนด์กับเทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะในกลุ่มพอลิโอลิฟินส์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติ (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR) เช่น เตรียมจากการเบลนด์ HDPE/NR (Choudhury and Bhowmick, 1989; Sahrim *et al.*, 1994 และ Nakason *et al.*, 2006a), NR/LLDPE (Ismail *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติมีสมบัติไม่คงที่และมีสมบัติด้อยหลายประการ เช่น สมบัติหลังการบ่มเร่ง สมบัติการลื่นไถล ความทนทานต่อสภาพอากาศและความร้อนต่ำ ซึ่งสามารถลดข้อด้อยในการใช้งานต่างๆ เหล่านี้ได้ โดยการใช้ยางธรรมชาติที่มีการดัดแปลงโมเลกุล เช่น การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) ได้เป็นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) ซึ่งมีสมบัติที่ดีกว่ายางธรรมชาติเดิม คือ ทนทานต่อน้ำมันดีเซล การซึมผ่านของอากาศลดลง และความเป็นขี้วมมากขึ้น โดยยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถเบลนด์เข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ที่มีขี้ว เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) แต่จะไม่มี ความเข้ากันได้ (incompatibility) กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขี้ว ทำให้ได้พอลิเมอร์เบลนด์ที่มีสมบัติไม่ดี วิธีการปรับปรุงสมบัติดังกล่าว สามารถทำได้โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizers) ซึ่งเป็น โคพอลิเมอร์แบบบล็อกหรือแบบกราฟต์ ที่มีส่วนประกอบที่เข้ากันได้กับพอลิเมอร์เบลนด์ทั้ง 2 ชนิด

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์หรือเทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติ จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน โดยใช้ เตรียมพอลิเอทิลีนที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยสารฟีนอลิก เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ เพื่อช่วยให้ยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนเข้ากันได้มากขึ้นและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ให้ดีขึ้น โดยจะศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารเพิ่มความเข้ากันได้ อัตราส่วนการเบลนด์ ระบบวัดคาบเวลาต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

2.4 วิธีการ

2.4.1 การเตรียมยางธรรมชาติผสมน้ำมัน (Oil extended natural rubber, OENR)

เตรียมยางธรรมชาติผสมน้ำมัน white oil โดยการนำยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS) ปริมาณ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น หลังจากนั้นทำการบดผสมในเครื่องนวดยาง Kneader ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 6 นาที หลังจากนั้นจึงเริ่มเติมน้ำมันตาม ปริมาณที่คำนวณไว้ โดยค่อยๆเติมน้ำมันลงไปในช่วงที่กำลังบดผสมในเครื่องนวดยาง อย่างช้าๆ

เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงบดต่ออีก 2 นาทีจึงเอายางออกจากห้องผสม

2.4.2 การเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้ (blend compatibilizer)

เตรียมพอลิเอทิลีนที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยสารฟีนอลิก เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเบลนด์ โดยอบ HDPE หรือ LLDPE ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น แล้วหึ่งพอลิเอทิลีนปริมาณ 100 ส่วนโดยน้ำหนัก จากนั้นทำการบดผสมด้วยเครื่อง บราเวนเดอร์พลาสติกคอคเตอร์ ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 60รอบ/นาที อุณหภูมิ 180°C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นทำการบดผสมกับฟีนอลิกเรซิน (SP-1045) 4 ส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนเป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงเติม $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 0.84 ส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน ลงในห้องผสม แล้วบดต่ออีก 1 นาที แล้วนำพอลิเมอร์ออกจากห้องผสม ในการทดลองครั้งนี้ได้ สารเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อใช้ใส่การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ OENR)/HDPE และ OENR/LLDPE

2.4.3 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จากเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ

เป็นการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE โดยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ กล่าวคือ เป็นการเบลนด์ที่ไม่ใช้สารวัลคาไนซ์เฟสยาง โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่สำคัญที่มีผลต่อสมบัติของ TPE ดังนี้

1. อิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากันได้

เตรียมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ซึ่งใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/ PE = 60/40 โดยแปรสารเพิ่มความเข้ากันชนิดต่างๆ ได้แก่ Ph-HDPE, SP-1045 และ HRJ-10518 ที่ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์ บดผสมด้วยเครื่อง บราเวนเดอร์ พลาสติกคอคเตอร์ ที่ ความเร็วรอบโรเตอร์ 60รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีลำดับการผสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

- เติมน้ำมันพอลิเอทิลีนลงในห้องผสมของเครื่อง บราเวนเดอร์ พลาสติกคอคเตอร์ บดด้วยความเร็วรอบโรเตอร์ 60รอบ/นาที อุณหภูมิ 180°C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 บดจนครบ 2 นาที
- เติมน้ำมันสารเพิ่มความเข้ากันได้แล้วบดต่ออีก 1 นาที
- เติมน้ำมันยางธรรมชาติที่ผสมด้วย white oil ที่ปริมาณ 20 phr บดต่อ 3 นาที
- ทิ้งให้เย็นแล้วพอลิเมอร์เบลนด์ที่ได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก

- ทดสอบสมบัติการไหล
- ถัดขึ้นรูปแล้วแล้วทดสอบสมบัติเชิงกล

2. อิทธิพลของชนิดน้ำมัน

เตรียมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE โดยใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยเติมน้ำมันหลายชนิดได้แก่ white oil, น้ำมันอิมพอกซิไดซ์, น้ำมันแนฟทีนิก, น้ำมันพาราฟินิก และไดออกทิลพระทาเลด ที่ปริมาณน้ำมันแต่ละชนิดที่ 20 phr บดผสมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกคอเดอร์ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 60 รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีลำดับการผสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

- เติมพอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกคอเดอร์ บดด้วยความเร็วรอบโรเตอร์ 60 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที
- เติม OENR ของน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ปริมาณน้ำมันแต่ละชนิดที่ 20 phr แล้วบดต่อจนครบ 3 นาที
- นำพอลิเมอร์เบลนด์ออกจากห้องผสม ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก
- นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการไหล ถัดขึ้นรูปแล้วทดสอบสมบัติเชิงกล และฐานานวิทยา

3. อิทธิพลของปริมาณน้ำมัน

เตรียมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณ white oil เนื่องจาก (ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากการทดสอบสมบัติเชิงกลในหัวข้อที่ 2) โดยแปรปริมาณเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 phr บดผสมด้วยเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกคอเดอร์ ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 60รอบ/นาที อุณหภูมิ 180°C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีลำดับการผสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

- เติมใส่พอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกคอเดอร์ เป็นเวลา 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์แล้วบดต่อเป็นเวลา 1 นาที
- เติม OENR ที่แปรปริมาณ white oil เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 phr แล้วบดต่ออีก 3 นาทีจึงเอาออก
- นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่บดได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก
- นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่นสมบัติการไหล ถัดขึ้นรูปแล้วทดสอบ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางฐานานวิทยา

4. อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม

เตรียมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ OENR/PE ซึ่งใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยแปรสารตัวเติมสองชนิด คือเขม่าดำ และซิลิกา ร่วมกับ white oil ปริมาณ 20 phr ซึ่งให้สมบัติเหมาะสมจากการทดสอบสมบัติในหัวข้อที่ 3 โดยแปรปริมาณสารตัวเติมเป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 phr บดผสมด้วยเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกเคอร์ ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 60 รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 โดยมีลำดับการผสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

- เติมพอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกเคอร์ บดเป็นเวลา 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์แล้วบดต่อเป็นเวลา 1 นาที
- เติม OENR ของ white oil ที่ปริมาณ 20 phr และแปรปริมาณสารตัวเติมคือ เขม่าดำ และซิลิกา ที่ปริมาณ 5, 10, 20, 30 และ 40 phr แล้วบดต่ออีก 3 นาทีจึงเอาออก
- นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่บดได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก
- นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการไหล นืดขึ้นรูป แล้วทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

2.4.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์

1. อิทธิพลระบบการวัลคาไนเซชันต่อสมบัติของ TPVs

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ OENR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 และใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 โดยการแปรระบบการวัลคาไนซ์ คือระบบก้ำมะถัน ระบบฟีนอลิก (ใช้ SP-1045 หรือ HRJ-10518) และระบบผสมของก้ำมะถันและเปอร์ออกไซด์ เริ่มต้นโดยการเตรียม OENR ที่มีปริมาณ white oil = 20 phr แล้วคอมปาวด์ด้วยระบบการวัลคาไนเซชันแบบต่างๆ โดยใช้สารเคมีดังตารางที่ 1 โดยทำการผสมยางกับสารเคมี โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามขั้นตอน โดยระบบก้ำมะถันมีขั้นตอนดังตารางที่ 2 ระบบผสม (ระบบเปอร์ออกไซด์และระบบก้ำมะถัน) มีขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 3 ระบบเปอร์ออกไซด์มีขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 4 และระบบฟีนอลิก (ใช้ SP-1045 หรือ HRJ-10518) มีขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 5

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางปาวด์โดยใช้ระบบการวัลคาไนเซชันแบบต่างๆ

Ingredients	Vulcanization systems				
	Sulphur system	Mixed system	Peroxide system	Phenolic (SP-1045)	Phenolic (HRJ-10518)
Oil extended NR	120	120	120	120	120
ZnO	5.0	6.0	6.0	-	-
Stearic acid	2.5	-	-	5	5
Wingstay L	1.0	1.0	1	0.6	0.6
TBBS	0.5	1.0	-	-	-
Sulphur	2.0	1.0	-	-	-
DCP	-	2.0	2.0	-	-
TAC	-	1.0	0.5	-	-
SP-1045	-	-	-	9	-
HRJ-10518	-	-	-	-	9
SnCl ₂	-	-	-	0.6	0.6

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีของระบบกำมะถัน

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	2
ใส่ Stearic acid	2
ใส่ Wingstay L	1
ใส่ TBBS	2
ใส่ Sulphur	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีของระบบผสม

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	2
ใส่ Wingstay L	1
ใส่ TBBS	2
ใส่ TAC	1
ใส่ DCP	2
ใส่ Sulphur	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

ตารางที่ 4 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีของระบบเปอร์ออกไซด์

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	2
ใส่ Wingstay L	1
ใส่ TAC	2
ใส่ DCP	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีของระบบฟีนอลิก (ใช้ SP-1045 หรือ HRJ-10518)

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	2
ใส่ Stearic acid	2
ใส่ Wingstay L	1
ใส่ SnCl ₂	2
ใส่สารฟีนอลิก (HRJ-10518 หรือ SP-1045)	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์มาเบลนดกับพอลิเอทิลีนในเครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติคเคอร์ ที่อุณหภูมิ 180 °C โดยมีขั้นตอนการผสมดังนี้

- เติมพอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติคเคอร์ ที่ความเร็วรอบโรเตอร์ 60รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 จนครบ 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์ จากนั้นบดต่อเป็นเวลา 1 นาที
- เติมยางคอมปาวด์แล้วบดต่อจนค่าทอร์กคงที่แล้วเอาออกจากห้องผสม
- นำพอลิเมอร์เบลนดที่บดได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก
- นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการไหล ถัดขึ้นรูปแล้วทดสอบ สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

2. อิทธิพลของปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด 60/40 และใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 เตรียม OENR โดยแปรปริมาณ white oil โดยใช้น้ำมันปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr วัลคาไนซ์ด้วยระบบฟีนอลิก (HRJ-10518) โดยใช้สารเคมีดังตารางที่ 6 ทำการผสม OENR โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้เบลนดกับพอลิเอทิลีนในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคเคอร์โดยเติมพอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติคเคอร์ โดยใช้ความเร็วรอบโรเตอร์ 60 รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 บดเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์ แล้วบดต่อเป็นเวลา 1 นาที แล้วเติมยางคอมปาวด์บดต่อจนค่าทอร์กคงที่แล้วเอาออกจากห้องผสม นำพอลิเมอร์เบลนดที่บดได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

ตารางที่ 6 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำมันต่อสมบัติของ TPVs

Ingredient	Mixing CODE					
	W1	W2	W3	W4	W5	W6
NR	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
Wingstay L	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
HRJ-10518	9	9	9	9	9	9
SnCl ₂	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
White oil	0	10	20	30	40	50

3. อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ OENR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 และใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 เตรียมยาง OENR ของ white oil ที่ปริมาณ 20 phr โดยศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิดคือ เขม่าดำ และ ซิลิกา ทำการแปรปริมาณสารตัวเติมทั้งสองชนิด ที่ปริมาณ 5, 10, 20, 30 และ 40 phr ดังรายละเอียดของการแปรปริมาณเขม่าดำในตารางที่ 7 และ ขั้นตอนการผสมในตารางที่ 8 และกรณีซิลิกาดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ทำการผสมเตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ใช้สารเคมีดังในตารางที่ 7 และ 9 หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่บดผสมกับพอลิเอทิลีนในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกคอเดอร์โดยมีขั้นตอนการผสมดังนี้

- ใส่พอลิเอทิลีน ลงในห้องผสมของเครื่อง บราเบนเดอร์ พลาสติกคอเดอร์ ใช้ความเร็วรอบโรเตอร์ 60 รอบ/นาที อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 บดเป็นเวลา 2 นาที
- เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือ HRJ-10518 ปริมาณ 5% ของน้ำหนักพอลิเมอร์แล้ว บดต่อเป็นเวลา 1 นาที
- เติมยางคอมปาวด์แล้วบดต่อจนค่าทอร์คกึ่งที่แล้วเอาออกจากห้องผสม
- นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่บดได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดพลาสติก
- นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

ตารางที่ 7 สารเคมีใช้ในการเตรียม TPVs โดยแปรปริมาณเขม่าดำ

Ingredient	Mixing CODE					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
NR	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
Wingstay L	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
HRJ-10518	9	9	9	9	9	9
SnCl ₂	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
White oil	30	30	30	30	30	30
N-220	0	5	10	20	30	40

ตารางที่ 8 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีในการแปรปริมาณเขม่าดำ

ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	2
ใส่ Stearic acid	1
ใส่ Wingstay L	1
ใส่เขม่าดำ	10
ใส่ SnCl_2	1
ใส่สารฟีนอลิก (HRJ-10518)	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

ตารางที่ 9 สารเคมีใช้ในการเตรียม TPVs โดยแปรปริมาณซิลิกา

Ingredient	Mixing CODE					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
NR	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
Wingstay L	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Silane	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
HRJ-10518	9	9	9	9	9	9
SnCl_2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
White oil	30	30	30	30	30	30
Silica	0	5	10	20	30	40

ตารางที่ 10 ขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีในการศึกษาอิทธิพลปริมาณซิลิกาต่อสมบัติ TPVs

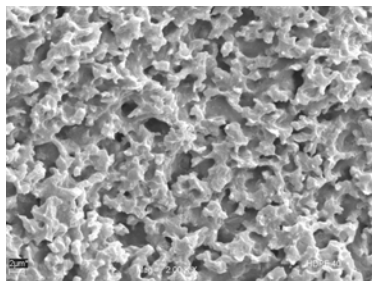
ขั้นตอน	เวลา (นาที)
บด OENR	2
ใส่ ZnO	1
ใส่ Stearic acid	1
ใส่ Wingstay L	1
ใส่ซิลิกาปริมาณ 1/2	5
ใส่ไซเลน	1
ใส่ซิลิกาปริมาณ 1/2	5
ใส่ SnCl_2	1
ใส่สารฟีนอลิก (HRJ-10518 หรือ SP-1045)	2
ม้วนยางผ่านลูกกลิ้ง	1

2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์

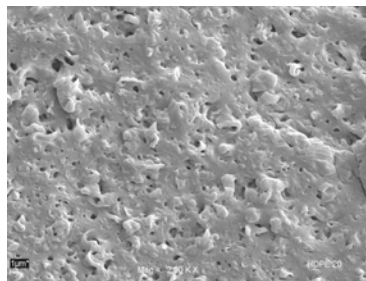
2.5.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/PE โดยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ

2.5.1.1 อิทธิพลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

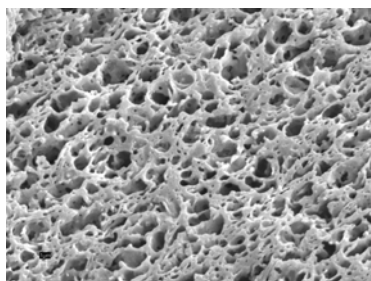
เตรียมนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/PE โดยเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE เท่ากับ 60/40 และ 70/30 ศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาตามวิธีการทดลองที่ 3.6.5 ได้ผลการทดลองสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/HDPE และ NR/LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 1



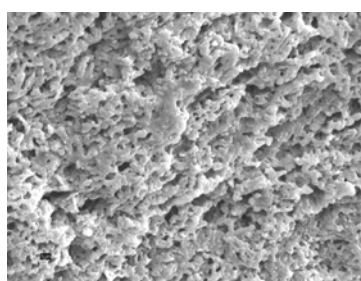
(A) NR/HDPE = 60/40



(B) NR/HDPE = 70/30



(C) NR/LLDPE = 60/40



(D) NR/LLDPE = 70/30

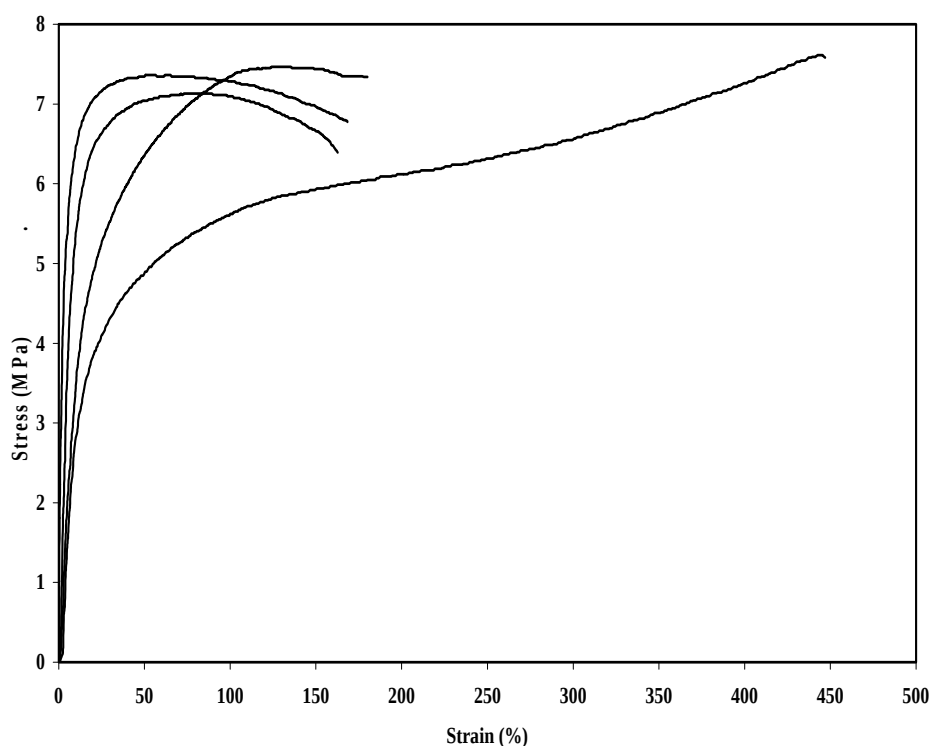
รูปที่ 1 SEM micrographs ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/PE โดยใช้เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE เท่ากับ 60/40 จะให้สมบัติทางสัณฐานวิทยาเป็นแบบเฟสร่วม (co-continuous phase morphology) กล่าวคือมีเฟสพลาสติกและยางกระจายตัวในซึ่งกันและกันทำให้พอลิเมอร์เบลนด์แสดงสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ กล่าวคือสามารถหลอมและไหลและขึ้นรูปได้โดยใช้กระบวนการแปรรูปพลาสติก เช่น กระบวนการฉีดและมีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิใช้งาน ในกรณีที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE เท่ากับ 70/30 สมบัติทางสัณฐานวิทยาเป็นแบบพลาสติกซึ่งมีปริมาณน้อยกระจายในยางที่เป็นเฟสใหญ่ ดังนั้นสมบัติของพอลิเมอร์เบลนด์จะเป็นเหมือนกับการใช้พลาสติกเป็นสารตัวเติม

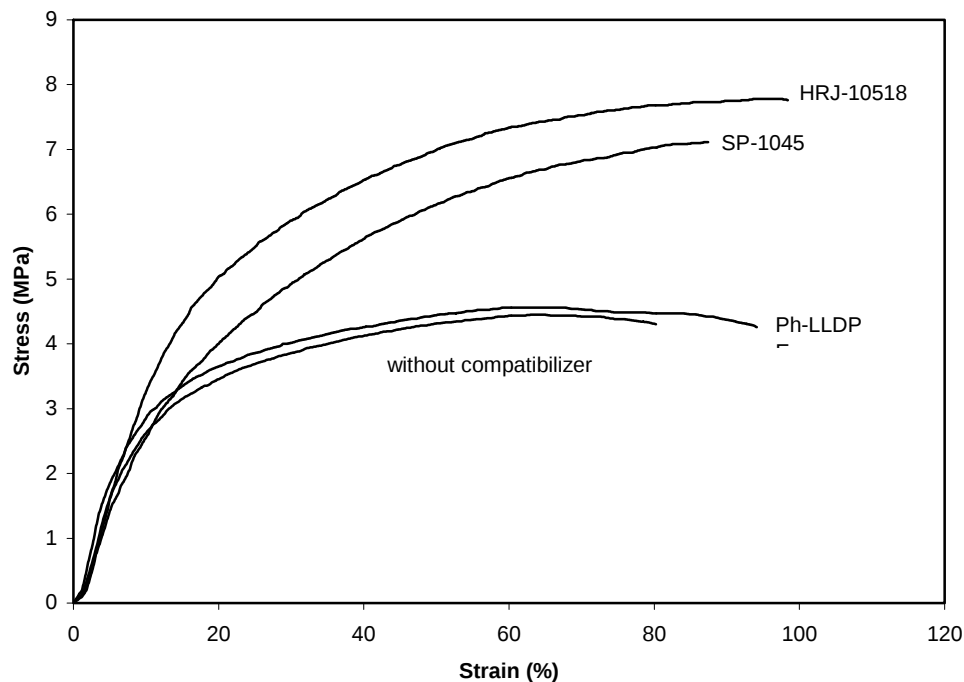
เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแต่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นลดลง ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงใช้อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPV)

2.5.1.2 อิทธิพลสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติเชิงกล

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ white oil ปริมาณ 20 phr และแปรชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้ คือ SP-1045, HRJ-10518, Ph-HDPE หรือ Ph-LLDPE ที่ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ นำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความสามารถในการคืนรูป ได้ความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของ TPE ที่เตรียมจาก OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

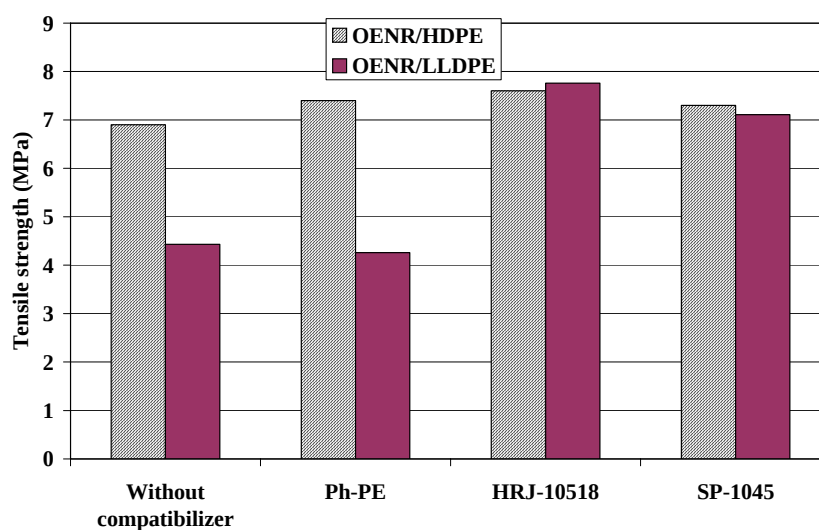


รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด (stress-strain curve) ของ TPE ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ

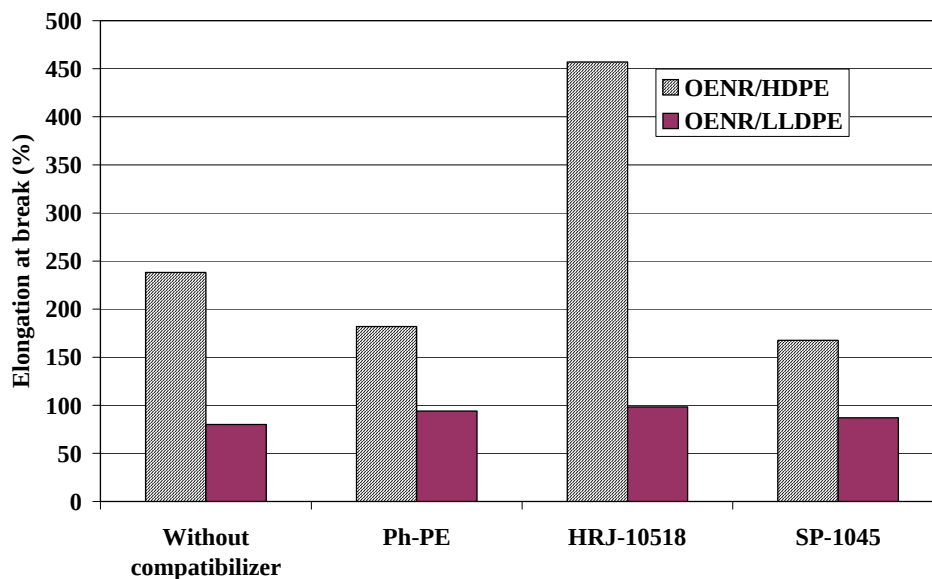


รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด (stress-strain curve) ของ TPE ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 2 และ 3 พบว่าการใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และระยะยืดที่จุดขาดสูงสุด และมีโมดูลัส (สังเกตจากความชันในช่วงแรกของกราฟ) มีค่าใกล้เคียงกรณีการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดอื่นๆ จากจุดที่ตัวอย่างขาด สามารถคำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของ TPE ที่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPE จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ

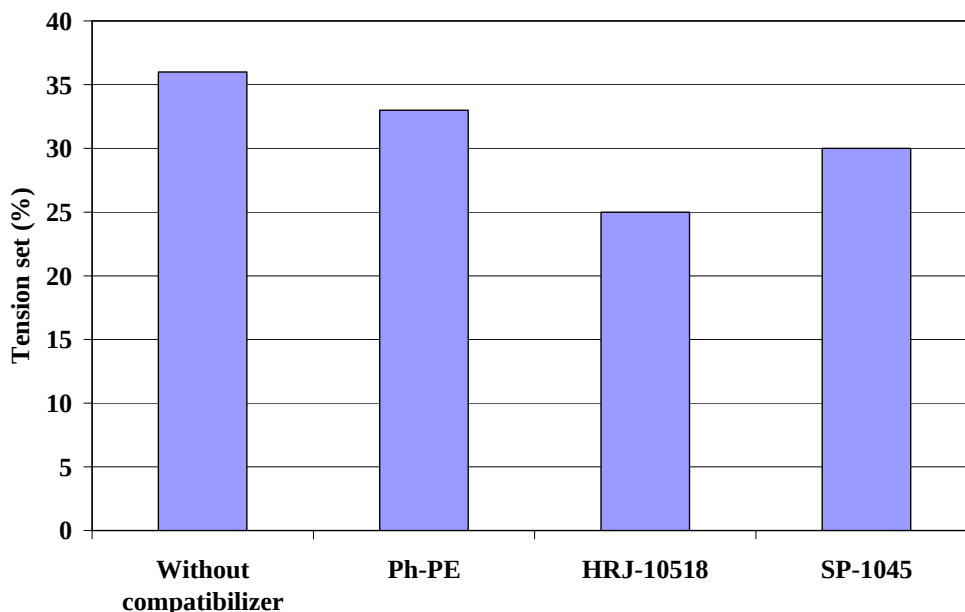


รูปที่ 5 ความสามารถในการยืดจนขาดของ TPE จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอลาสโตเมอร์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่สารเพิ่มความเข้ากันได้ทั้ง 3 ชนิด ในพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดเดียวกัน พบว่าการใช้ HRJ-10518 จะให้ค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก HRJ-10518 นอกจากจะสามารถเชื่อมประสานระหว่างเฟสยางกับเฟสพลาสติกแล้วยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลยางได้ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดสูง

ค่าความสามารถในการคืนรูป ในรูปแบบการทดสอบ Tension set ของการใส่สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ ในกรณี TPE ที่เตรียมจาก OENR/HDPE แสดงดังในรูปที่ 5 ส่วนกรณี TPE ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/LLDPE ไม่สามารถหาค่า tension set ได้ เนื่องจากมีค่าการยืดไม่ถึง 100%

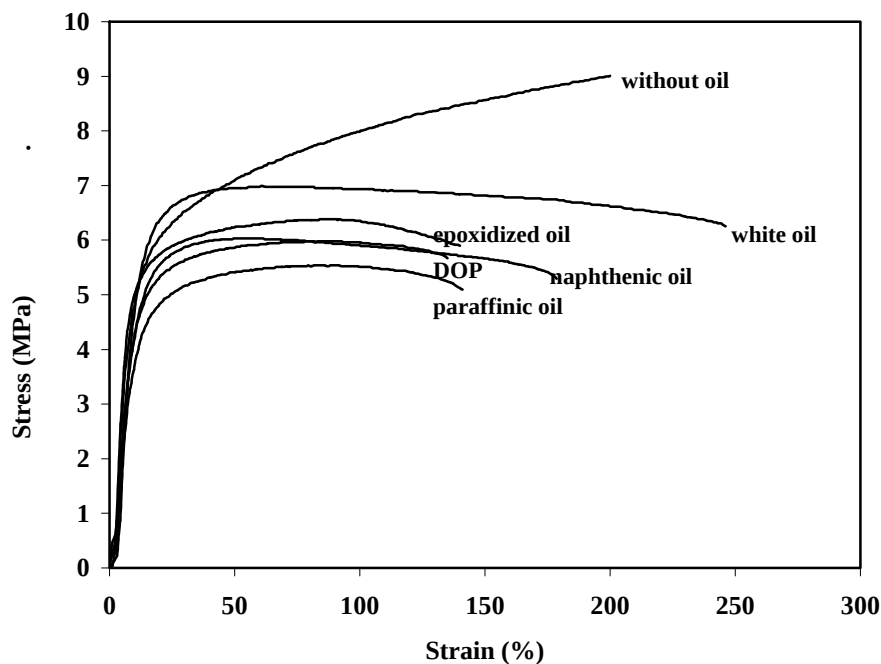
จากรูปที่ 6 พบว่าค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกอลาสโตเมอร์ ที่ใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้จะให้สมบัติในการคืนรูปดีที่สุด (ค่าต่ำสุด) เนื่องจากการมีความสามารถในการเชื่อมประสานระหว่างเฟสยางกับพลาสติกของ HRJ-10518 ซึ่งทำให้สมบัติด้านอิลาสติกของ TPE ดีขึ้นจึงส่งผลให้มีสมบัติในการคืนที่รูปดี ดังนั้นจึงเลือกใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการทดลองต่อไป



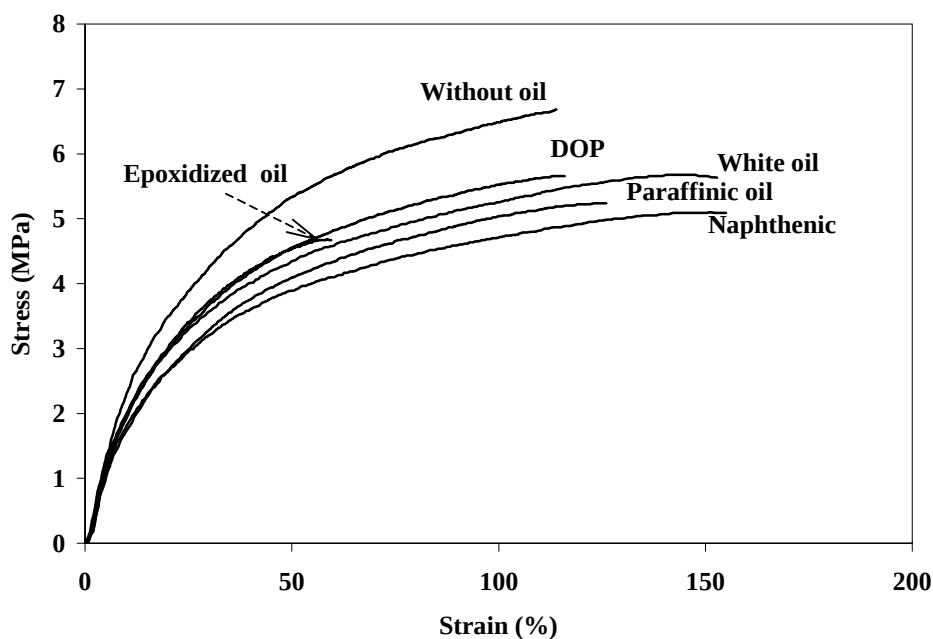
รูปที่ 6 ความสามารถในการคืนรูปของ TPE จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดต่างๆ

2.5.1.3 อิทธิพลของชนิดน้ำมันต่อสมบัติเชิงกลของ TPE

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ โดยการเติมน้ำมันหลายชนิดเช่น น้ำมันขาว (White oil) น้ำมันพาราฟินิก น้ำมันแนฟทานิก น้ำมันอีพอกซิไดซ์ และไดออกทิลพระทาเลต โดยใช้ที่ปริมาณเท่ากัน คือ 20 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ได้ผลการทดลองกราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ในกรณีของ TPE 0จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ตามลำดับ พบว่าการใช้น้ำมันมีผลทำให้ยางนุ่มลง สังเกตได้จากการมี stress-strain curves ที่ลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ผสมน้ำมัน แต่ระดับของความเค้น (stress) ที่ระยะยืด (strain) เดียวกันของ TPE ทั้งสองชนิด จะแตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของชนิดน้ำมันที่ต่างกัน ที่อาจจะมีอันตรกิริยาหรือมีความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์หรือไม่ เช่น ที่ระยะยืด 100% TPE จากการเบลนด์ OENR/HDPE ให้ค่าความเค้นเรียงตามลำดับดังนี้ คือ paraffinic < DOP ~ nappthenic < epoxidized oil < white oil < without oils ส่วน TPE จากการเบลนด์ OENR/LLDPE สามารถเรียงค่าความเค้นที่ระยะยืด 100% ได้ดังนี้ naphthenic < paraffinic oil < white oil < DOP ~ epoxidized oils < without oil การให้ค่าความเค้นที่แตกต่างกันนี้อาจจะเป็นผลมาจากน้ำมันนอกจากทำให้เฟสยางนุ่มแล้วยังจะไปมีผลต่อเฟสพลาสติกซึ่งพลาสติกที่มีระดับผลึกต่างกันจะได้รับอิทธิพลของน้ำมันที่ต่างกัน นอกจากนี้ความเข้ากันได้ของน้ำมันกับพอลิเมอร์ก็มีความสำคัญ

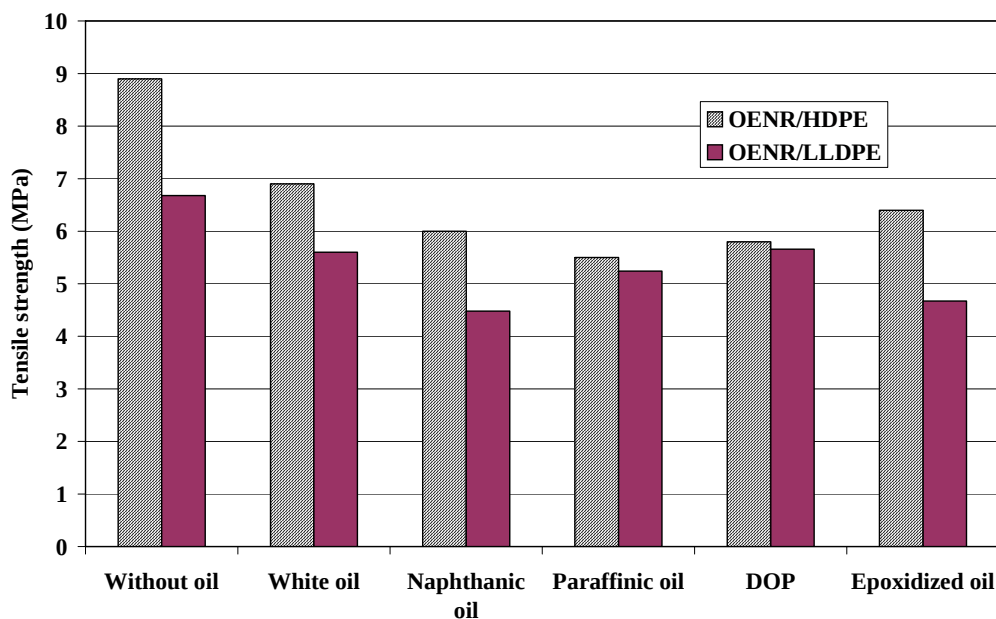


รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/HDPE = 60/40 โดยใช้น้ำมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE = 60/40 โดยใช้น้ำมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr

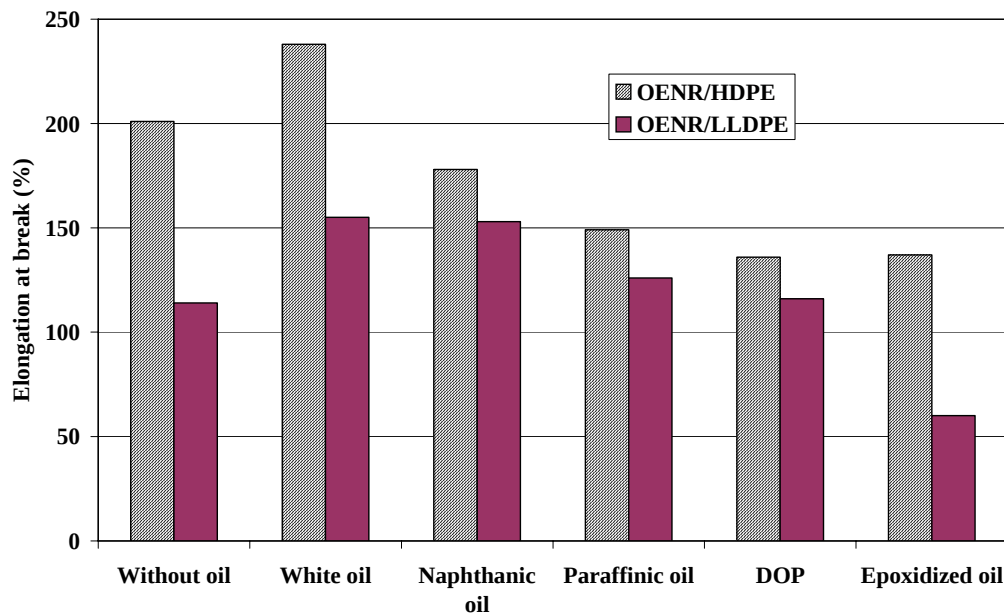
จากรูปที่ 7 และ 8 คำนวณค่าความเค้นที่จุดขาด (ความต้านทานต่อแรงดึง) และระยะยืดที่จุดขาดของการใช้น้ำมันชนิดต่างๆ ใน TPE ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ได้ผลแสดงดังในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 9 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ น้ำมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr

จากรูปที่ 9 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันทั้ง 5 ชนิดที่ระดับปริมาณน้ำมันเท่ากัน คือ 20 phr จะพบว่าการใช้ white oil จะให้ค่าที่สูงสุดใน TPE (OENR/HDPE) ส่วน DOP จะให้ค่าสูงสุดในกรณี TPE (OENR/LLDPE) รองลงมาได้แก่ white oil จากการทดลองในระหว่างการเตรียม OENR พบว่า น้ำมันอีพอกซีไดซ์มีความเข้ากันได้กับยางได้น้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ เนื่องจากน้ำมันเกิดการไหลซึมออกมาจากเนื้อยางหลังจากการบดผสม เนื่องจากความไม่เข้ากันของน้ำมันกับยางจึงทำให้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงค่อนข้างสูง (น้ำมันเข้าไปผสมน้อย) และระยะยืดที่จุดขาดต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ (รูปที่ 9)

ส่วน DOP (Di-2-ethylhexyl phthalate) มักนิยมใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในยางและพลาสติก สามารถผสมเข้ากับยางได้ดีและยังเป็นพลาสติกไซเซอร์ในพลาสติกในระหว่างการเบลนด์ทำให้พลาสติกมีความนิ่ม และยืดหยุ่นได้มากขึ้น แต่สารเคมีชนิดนี้ระเหยได้ง่าย ดังนั้นในขณะที่ทำการผสม OENR กับ PE ที่อุณหภูมิในการผสมที่สูงถึง 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานถึง 5 นาที จึงทำให้ DOP ระเหยได้ง่ายกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ ในภาพรวมจึงทำให้ DOP มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงค่อนข้างสูงเนื่องจากการที่มีน้ำมันเหลือในระบบน้อยและมีค่าระยะยืดที่จุดขาดค่อนข้างสั้น



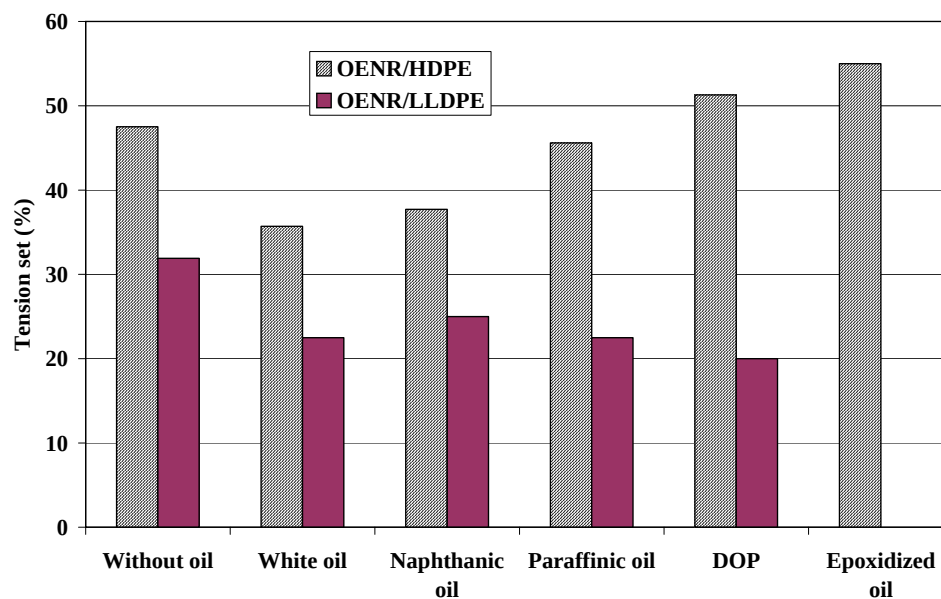
รูปที่ 10 ระยะยืดที่จุดขาดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ไขมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr

จากรูปที่ 10 พบว่าค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ทั้งสองชนิด(OENR/HDPE และ OENR/LLDPE) ที่ใช้ white oil มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือการใช้ naphthenic oil แสดงว่าการใช้ white oil นอกจากให้ TPE ที่มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงแล้วยังให้ความสามารถในการยืดสูงด้วย ซึ่งแสดงถึงการมีอันตรกิริยาระหว่างน้ำมันกับองค์ประกอบที่ใช้ในการเบลนด์ และแสดงถึงความเข้ากันได้ของน้ำมันกับองค์ประกอบที่ใช้เบลนด์ในการเตรียม TPE

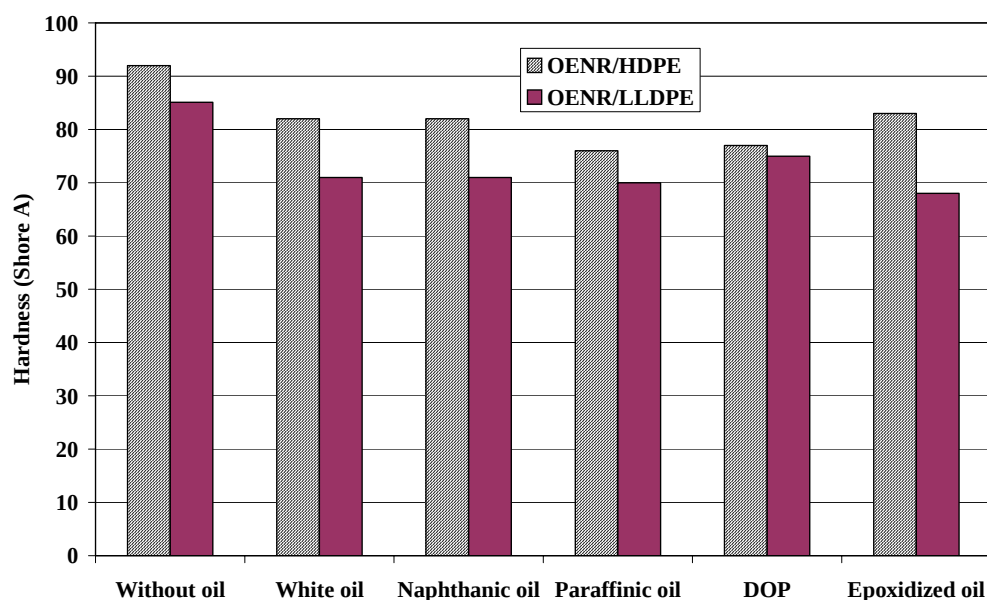
ความสามารถในการคืนรูปในรูปแบบของ tension set ของ TPE ที่เตรียมโดยการใช้ไขมันชนิดต่างๆแสดงดังในรูปที่ 11 พบว่า white oil ให้ค่าต่ำที่สุด แสดงว่ามีสมบัติในการหดตัวกลับหลังจากการยืดทิ้งไว้ที่ระยะเวลาหนึ่งดีที่สุด แสดงถึงสมบัติความเป็นยางหรืออีลาสติซิตีที่ดีที่สุด และมีค่าต่ำกว่า 40% ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมในการเตรียม TPE ส่วนน้ำมันที่ไม่เข้ากับองค์ประกอบที่ใช้ในการเบลนด์ คือ epoxidized oil และ DOP มีผลทำให้ TPE สูญเสียความเป็นอีลาสติก กล่าวคือมีค่าความสามารถในการคืนรูปค่อนข้างสูง

รูปที่ 12 แสดงสมบัติด้านความแข็งแรงของ TPE พบว่าการใช้ไขมันทุกชนิดทำให้ความแข็งแรงของ TPE ลดลง โดยที่ TPE (OENR/LLDPE) จะมีความแข็งแรงต่ำกว่า TPE(OENR/LLDPE) ที่ใช้ไขมันชนิดเดียวกัน เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของการใช้ไขมันต่างชนิดกันพบว่าไม่ได้ส่งผลให้ความแตกต่างค่าความแข็งแรงมากนัก ดังนั้นหากพิจารณาเพียงการลดความแข็งแรงเราสามารถใช้น้ำมันชนิดใดก็ได้ แต่เมื่อพิจารณาภาพโดยรวมทั้งความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดและสมบัติด้านความเป็นอีลาสติกพบว่า white oil เป็นน้ำมันที่ให้สมบัติ TPE ดีที่สุดจึงเลือกใช้น้ำมัน

ชนิดนี้ในการแปรปริมาณน้ำมันและศึกษาสมบัติเพื่อเลือกปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมกับการผลิต TPE ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

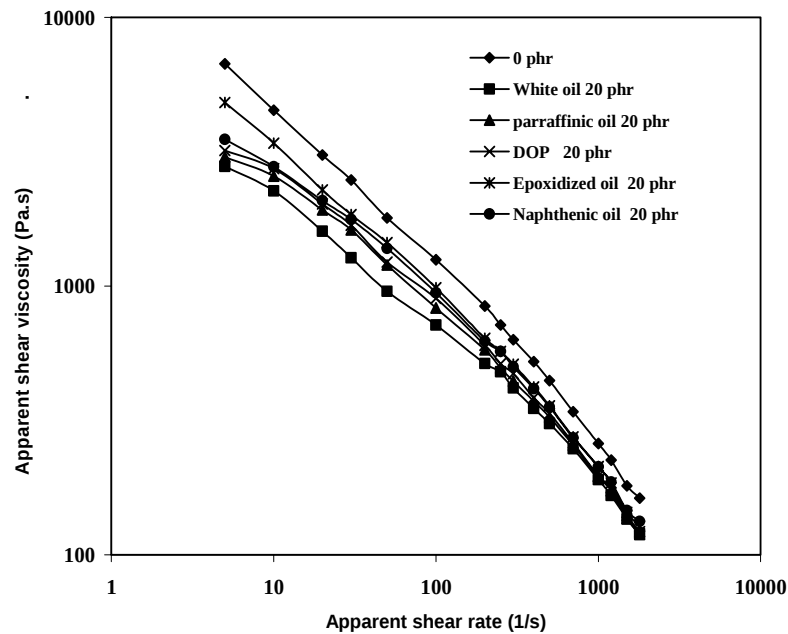


รูปที่ 11 ความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ไขมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr

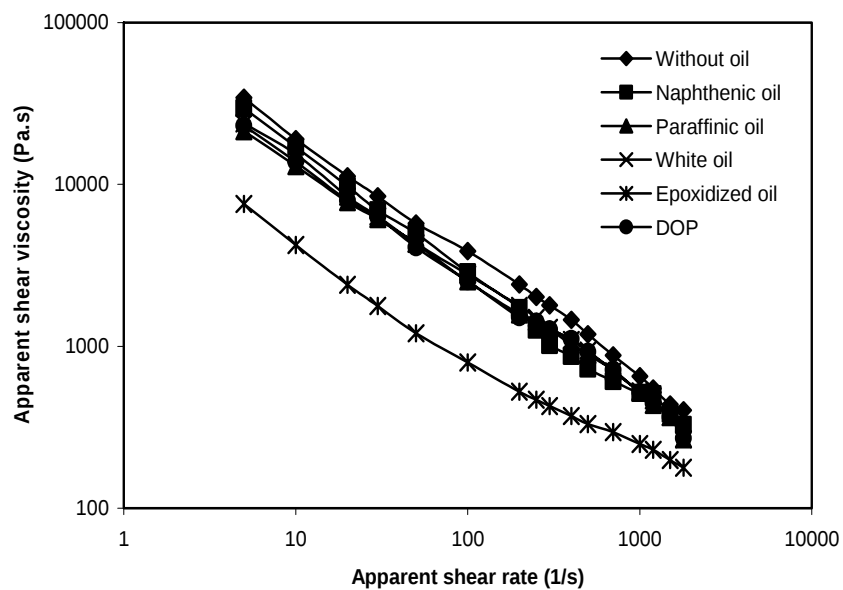


รูปที่ 12 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ไขมันชนิดต่างๆที่ปริมาณ 20 phr

สมบัติการไหลหรือสมบัติทางรีโอโลยีในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏ [หรือเส้นโค้งการไหล (flow curves)] ของ TPE ทั้งสองชนิดแสดงดังในรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรชนิดน้ำมัน



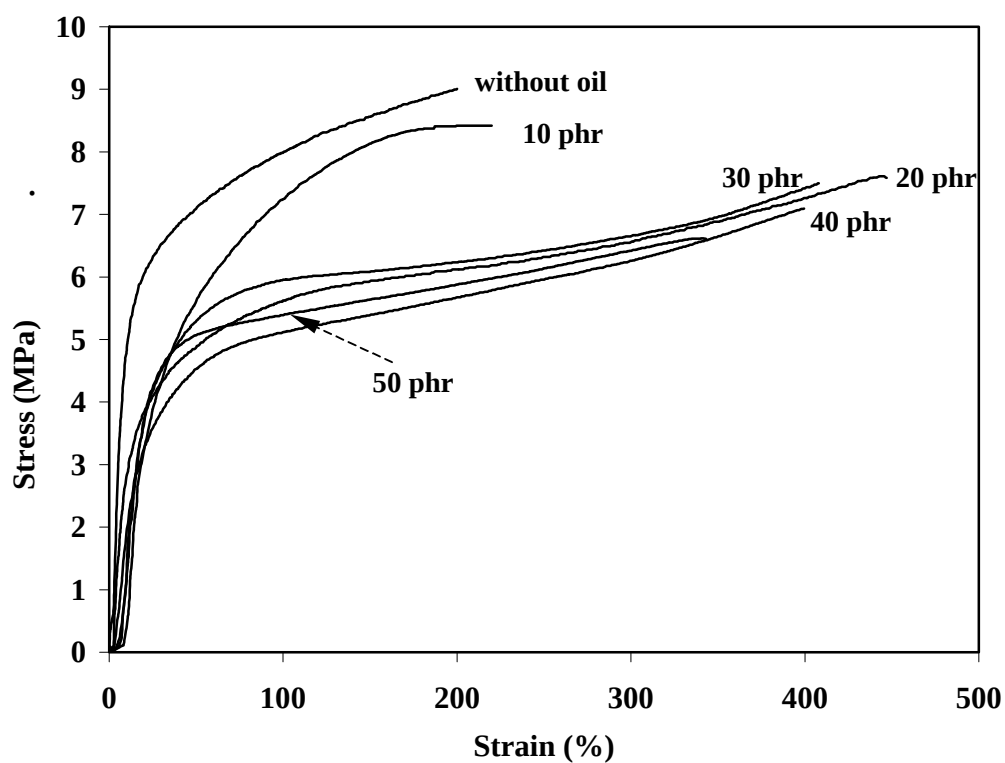
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ของ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรชนิดน้ำมัน

จากรูปที่ 13 และ 14 พบว่าค่าความหนืดเฉือนจะมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มอัตราเฉือน ที่อัตราเฉือนเดียวกันพบว่า TPEs ที่ไม่ได้ผสมน้ำมันจะมีค่าความหนืดสูงที่สุด แต่การผสมน้ำมันจะ

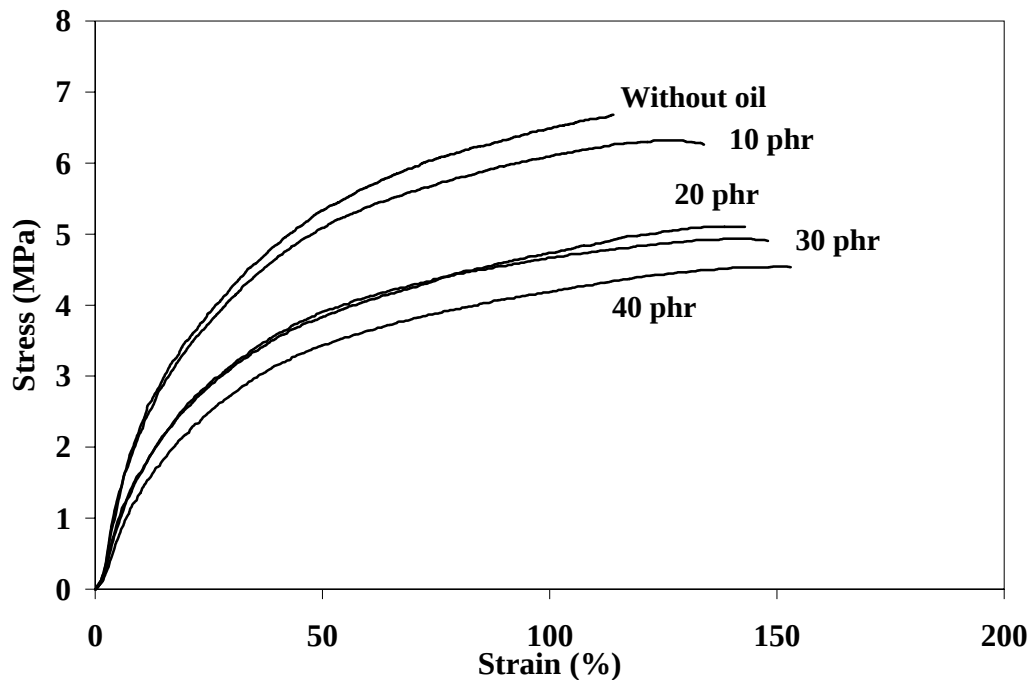
ทำให้เส้นโค้งการไหลต่ำลงแสดงว่าเกิดการไหลได้ง่ายขึ้น หรือมีความสามารถในการแปรรูปที่ดีขึ้น (processability) กรณีการใช้ white oil ใน TPE (OENR/HDPE) พบว่ามีเส้นโค้งการไหลต่ำ ถึงแม้ว่าจะให้ความต้านทานต่อแรงดึงและสามารถในการยืดสูง (รูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ) จึงเป็นการสนับสนุนการใช้น้ำมันชนิดนี้ในการทดลองต่อไป ส่วนใน TPE(OENR/LLDPE) การใช้ white oil ก็ทำให้ไหลได้ง่ายพอประมาณ ส่วนกรณี epoxidized oil มีค่าเส้นโค้งการไหลต่ำเนื่องจากการไม่เข้ากันของน้ำมันกับองค์ประกอบที่ใช้เบลนด์

2.5.1.4 อิทธิพลปริมาณน้ำมันต่อสมบัติเชิงกลของ TPE

ในตอนนี้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำมันชนิดที่ให้ TPE ที่มีสมบัติดี ทดลองโดยเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากกาเบลนด์ OENR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณ white oil เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความสามารถในการคืนรูป และความแข็ง ได้ผลการทดลองกราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของ TPE (OENR/HDPE) TPE (OENR/LLDPE) ดังแสดงในรูปที่ 15 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีหลังใช้ปริมาณน้ำมันสูงสุดแค่ 40 phr เนื่องจากการใช้น้ำมันมากกว่านี้ทำให้เกิดการเหนียวติดของวัสดุหลังการบดผสมทำให้ไม่สามารถนำ TPE มาทำเม็ดเพื่อขึ้นรูปในการทดสอบสมบัติได้

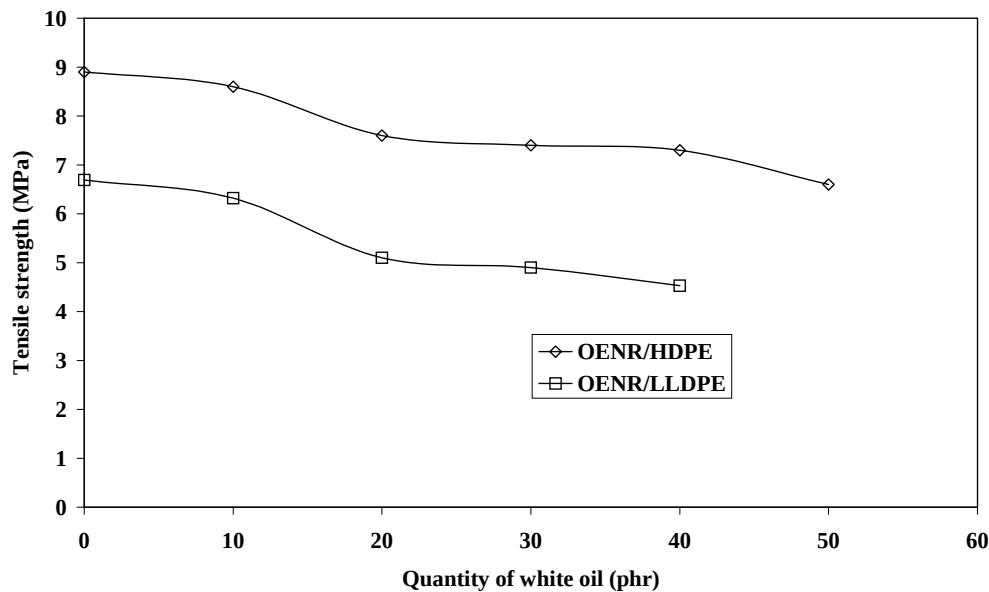


รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/HDPE = 60/40 โดยการแปรปริมาณน้ำมัน white oil

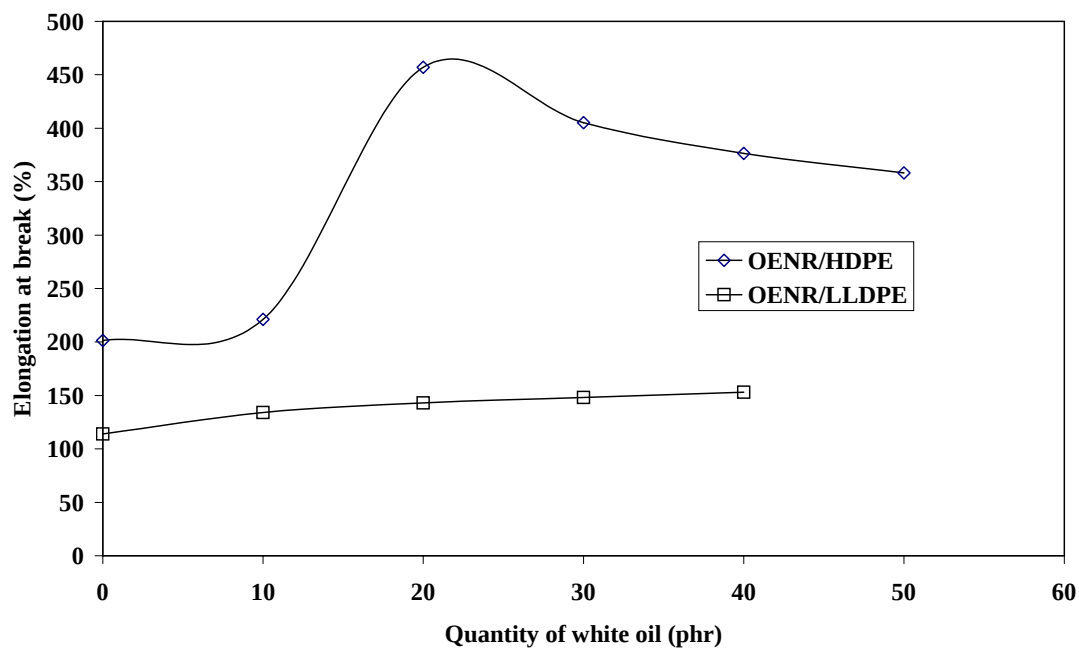


รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการแปรปริมาณน้ำมัน white oil

จากรูปที่ 15 และ 16 พบว่าที่การไม่ผสมน้ำมันลงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะให้ค่าความแข็งตึง (stiffness) ซึ่งดูได้จากความชันของกราฟหรือโมดูลัส มีค่าสูงกว่า TPE ที่มีการผสมน้ำมัน การผสมน้ำมันปริมาณ 10 phr จะทำให้ค่าความแข็งตึง (stiffness) ลดลง ส่วน stress-strain curve ของ TPE ที่ปริมาณน้ำมัน 20, 30, 40 และ 50 phr มีผลทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีค่าความแข็งตึงมีแนวโน้มลดน้อยลง และจะมีพฤติกรรมเส้นกราฟคล้ายกับพฤติกรรมของยางวัลคาไนซ์มากขึ้น จุดสุดท้ายที่เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เกิดการขาด สามารถคำนวณหาความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าความสามารถในการยืด (Elongation at break) ของ TPE ทั้งสองชนิด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันไปมีส่วนในการเพิ่มความหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลจึงทำให้ใช้แรงน้อยลงในการดึงให้ตัวอย่างขาด เมื่อเปรียบเทียบระดับของความต้านทานต่อแรงดึงระหว่าง TPE 2 ชนิด พบว่า TPE ที่เตรียมจาก OENR/HDPE มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่า TPE ที่เตรียมจาก OENR/LLDPE ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของ HDPE ที่มีสมบัติด้านความแข็งแรงสูงกว่า LLDPE



รูปที่ 17 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ white oil ที่ปริมาณต่างๆ



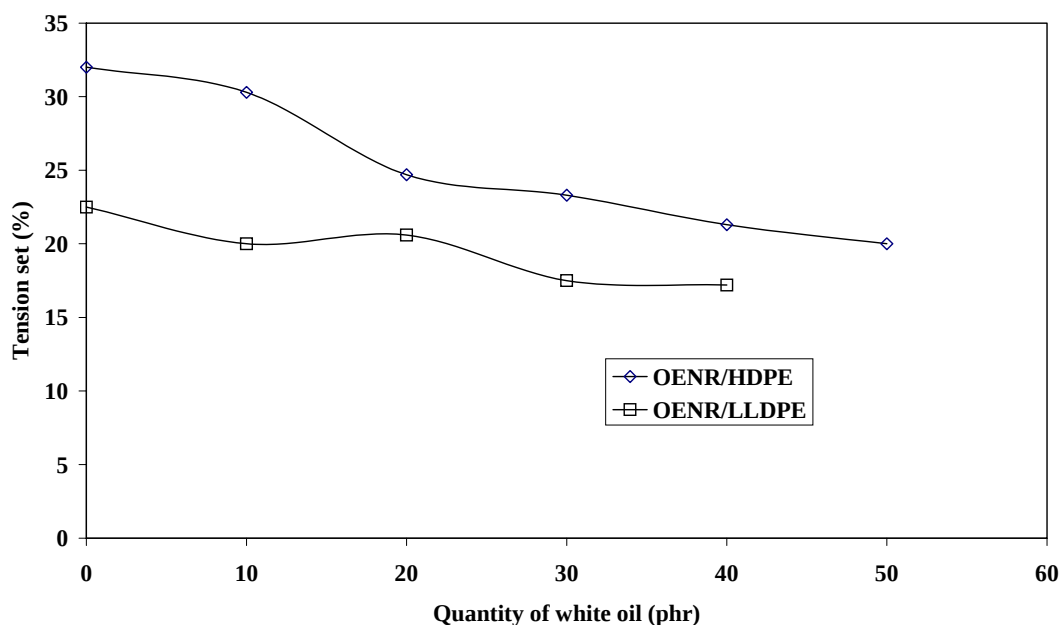
รูปที่ 18 ความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ white oil ที่ปริมาณต่างๆ

ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยการแปรปริมาณน้ำมัน ในรูปที่ 18 พบว่า TPE (OENR/LLDPE) ให้ค่าความสามารถในการยืดต่ำกว่า กรณี TPE (OENR/HDPE) ในทุกระดับของการใช้น้ำมัน ในกรณี TPE (OENR/HDPE) การเพิ่มปริมาณน้ำมันจนถึง 20 phr จะทำให้ค่าความสามารถในการยืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณน้ำมัน 20 phr จะให้ค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่ม

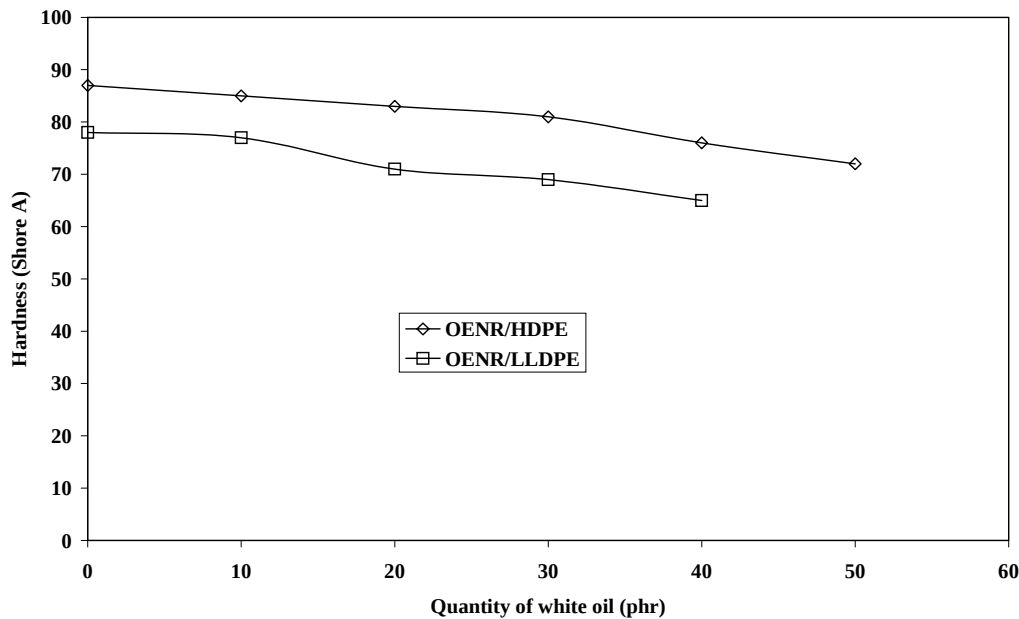
ปริมาณน้ำมันสูงกว่า 30 phr จะมีผลทำให้ค่าความสามารถในการยืดขยายมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่ต่ำกว่า 20 phr ทำให้น้ำมันเข้าไปในส่วนยางและพลาสติกจึงทำหน้าที่ให้เกิดการหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของทั้งสองเฟส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันมากกว่านี้ทำให้น้ำมันมีปริมาณเกินพอและแยกออกเป็นเฟสน้ำมันอิสระอีกเฟสหนึ่งจึงมีผลทำให้ TPE ขาดได้ง่าย

สมบัติด้านความสามารถในการคืนรูป แสดงดังในรูปที่ 19 พบว่าความสามารถในการคืนรูปหรือการหดกลับของ TPE ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำมัน ซึ่งแสดงว่ามีสมบัติความเป็นอีลาสติคเพิ่มขึ้น และ TPE (OENR/LLDPE) มีค่าต่ำกว่าแสดงว่ามีสมบัติด้านอีลาสติคดีกว่าถึงแม้ว่าจะขาดง่ายกว่าเมื่อดึง เนื่องจากการเติมน้ำมันเข้าไปทำให้โมเลกุลของยางนั้นเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ยางมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ลดลงซึ่งจะทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีพฤติกรรมคล้ายยางมากขึ้น

รูปที่ 20 แสดงค่าความแข็งของ TPE เมื่อใช้น้ำมันที่ปริมาณต่างๆ พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำมัน นอกจากนี้พบว่าการใช้ LLDPE จะให้ TPE ที่มีความนิ่มสูงกว่าการใช้ HDPE

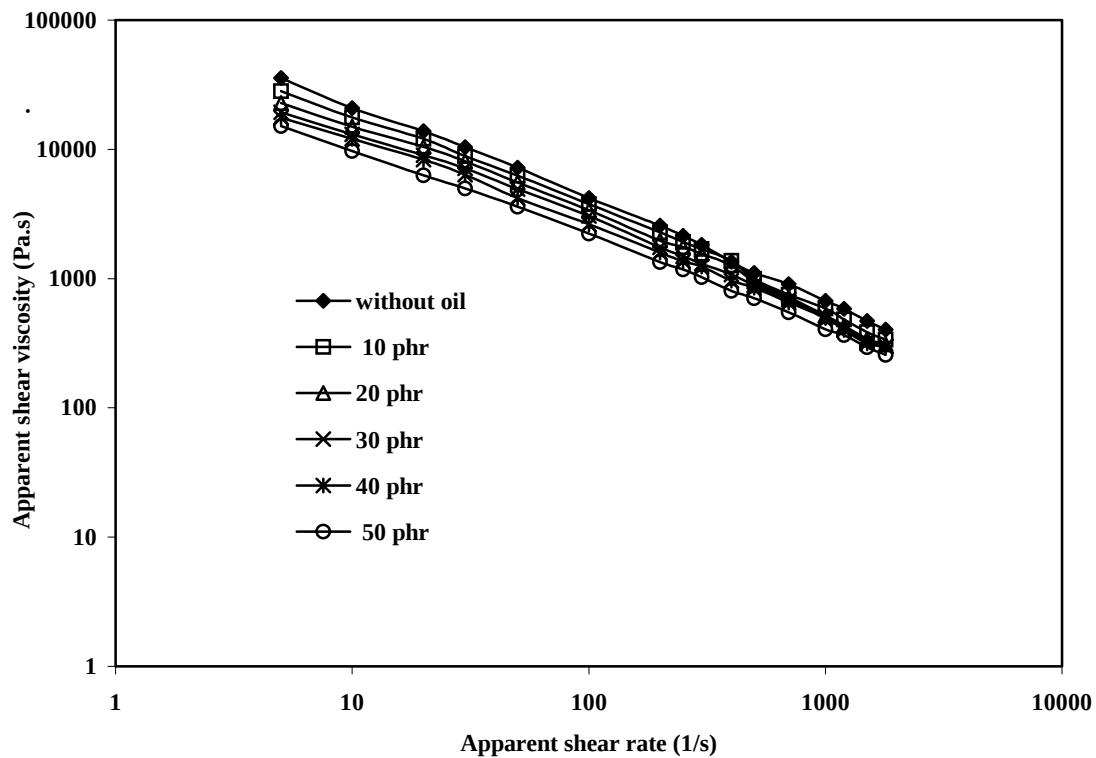


รูปที่ 19 ความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ white oil ที่ปริมาณต่างๆ

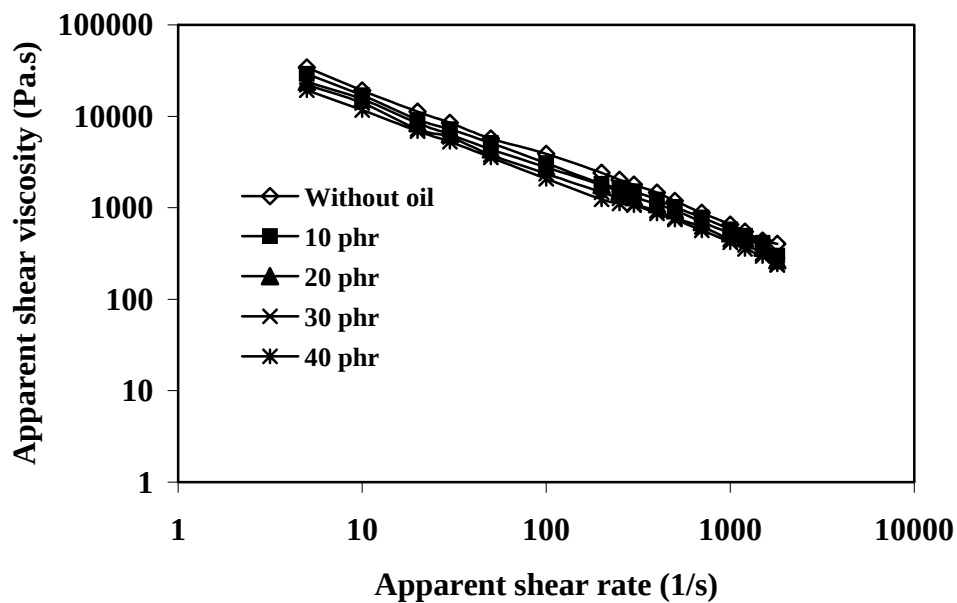


รูปที่ 20 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของ OENR/LLDPE และ OENR/LLDPE = 60/40 โดยการใช้ white oil ที่ปริมาณต่างๆ

สมบัติการไหลหรือสมบัติทางรีโอโลยีในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนปรากฏกับอัตราเฉือนปรากฏ (เส้นโค้งการไหล) ของ TPE ทั้งสองชนิดที่แปรปริมาณน้ำมันแสดงดังในรูปที่ 21 และ 22 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันมีผลต่อการลดลงของเส้นโค้งการไหลเนื่องจากการมีการหล่อลื่นให้โมเลกุลยางและพลาสติกไหลกันได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้นการใช้น้ำมันจึงส่งผลต่อความง่ายในการแปรรูป จากผลการทดลองทั้งหมดในการแปรปริมาณน้ำมันพบว่า การใช้น้ำมันปริมาณ 20 phr ให้สมบัติ TPE ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ TPEs ที่มีสมบัติเชิงกลดี และไหลได้ง่าย การใช้ปริมาณน้ำมันมากกว่านี้ถึงแม้จะทำให้เกิดการไหลได้ดีขึ้นแต่จะทำให้สมบัติบางประการ เช่น ความแข็งแรง ไม่เหมาะที่จะประยุกต์ในการใช้งาน จึงเลือกปริมาณใช้น้ำมันปริมาณนี้ในการเตรียม TPE ในการทดลองต่อไป

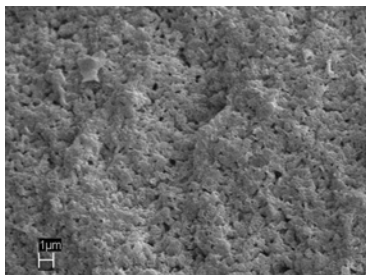


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

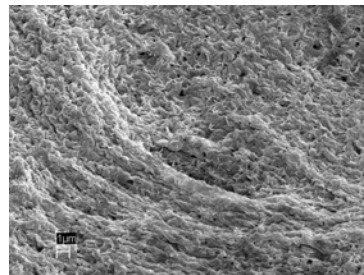


รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

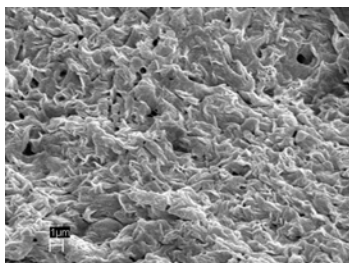
นำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากเบลนด์แบบปกติของ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ white oil ที่ปริมาณต่างๆ ไปศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาโดยการเตรียมตัวอย่างโดยหักให้เกิดผิวใหม่ในไนโตรเจนเหลวแล้วสกัดเฟสพลาสติกออกด้วยไซลีน แล้วนำไปเคลือบทองคำก่อนส่องด้วยกล้อง SEM ได้ผลการทดลองสัณฐานวิทยาของ TPE (OENR/HDPE) และ TPE(OENR/LLDPE) ดังแสดงในรูปที่ 23 และ 24 ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะส่งผลให้เฟสของยางมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับสมบัติเชิงกล คือค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของน้ำมัน กล่าวคือการมีเฟสขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ interfacial force ระหว่างเฟสลดลงจึงทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงลดลง ถ้าเปรียบเทียบขนาดเฟสยางระหว่าง TPE (OENR/HDPE) กับ TPE(OENR/LLDPE) พบว่าขนาดเฟสของยางที่มองเห็นจากการสกัดเฟสพลาสติกออกในกรณี TPE(OENR/LLDPE) จะมีขนาดเล็กกว่า



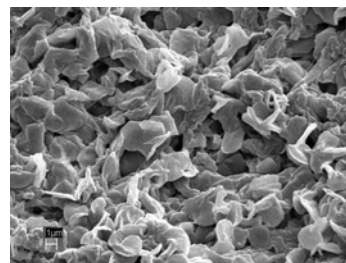
(A) without oil



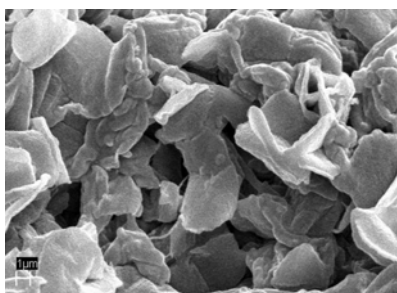
(B) white oil = 10 phr



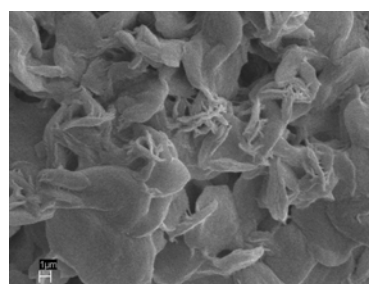
(C) white oil = 20 phr



(D) white oil = 30 phr

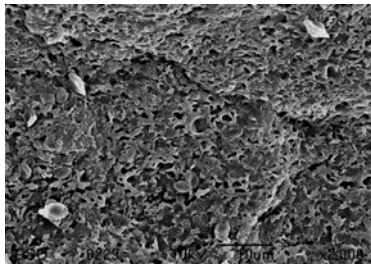


(E) white oil = 40 phr

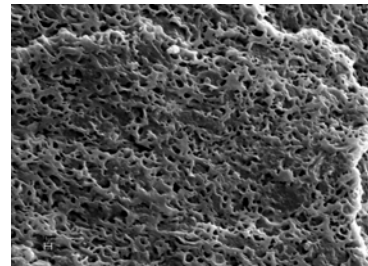


(F) white oil = 50 phr

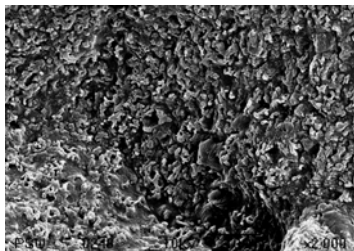
รูปที่ 23 SEM micrographs ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณ white oil



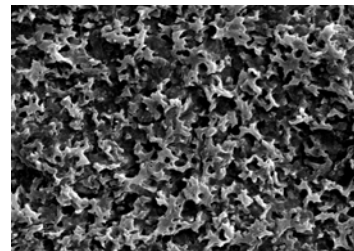
(A) without oil



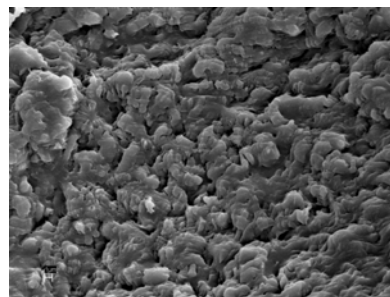
(B) white oil 10 phr



(C) white oil 20 phr



(D) white oil 30 phr



(E) white oil 40 phr

รูปที่ 24 SEM micrographs ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณ white oil

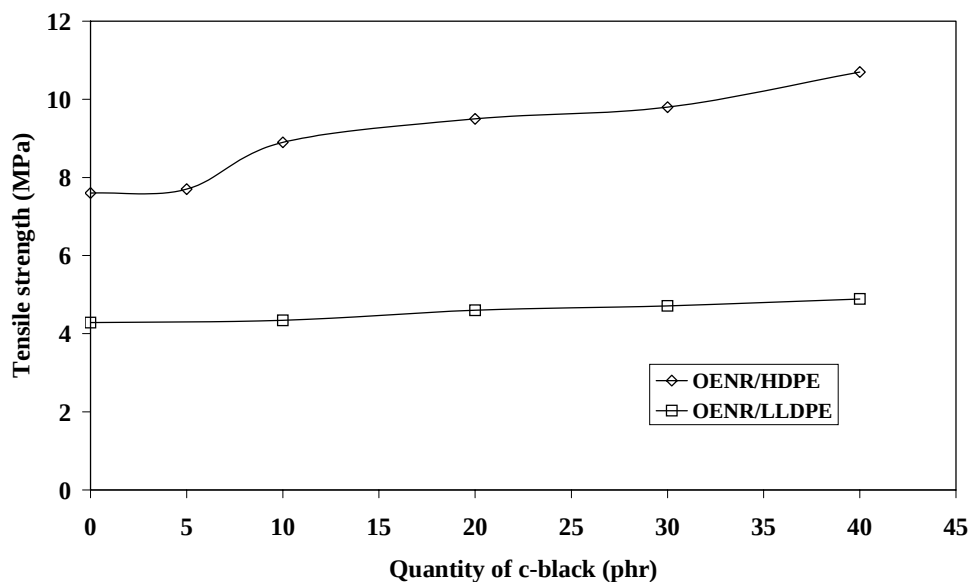
2.5.1.5 อิทธิพลสารตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของ TPE

ในการทดลองนี้ทำการเตรียม TPE จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 ใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ และใช้ white oil ปริมาณ 20 phr ผสมกับสารตัวเติม 2 ชนิด คือ เหม้าดำ และซิลิกา

2.5.1.5.1 เหม้าดำ

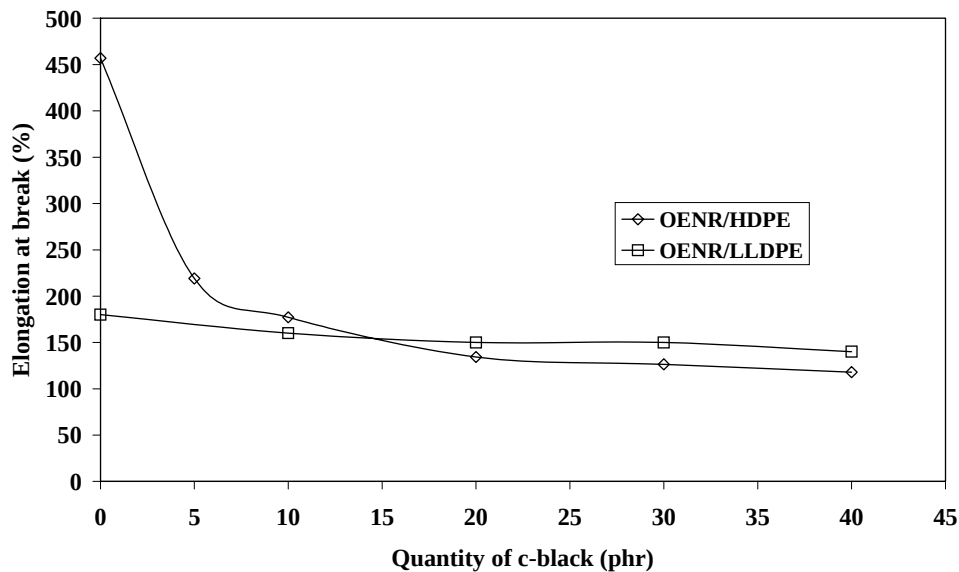
เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณเหม้าดำ เกรด N-220 (Intermediate super abrasion furnace, ISAF) ที่ปริมาณ 5, 10, 20, 30 และ 40 phr ในกรณี OENR/LLDPE แปรปริมาณเป็น 10, 20, 30 และ 40 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความสามารถในการคืนรูป

และความแข็งแรงได้ผลการทดลองค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ระดับการใช้เขม่าดำที่ปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 25 พบว่าการเพิ่มปริมาณเขม่าดำในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเขม่าดำสามารถเกิดการกระจายตัวเข้าไปในเฟสยางธรรมชาติและพลาสติกได้ ซึ่งเขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ที่ผิว ซึ่งสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับสายโซ่โมเลกุลของยางได้ดี (Yamauchi *et al.*, 2005) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเขม่าดำจึงทำให้ TPE มีความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่ม เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) ซึ่งเขม่าดำที่ใช้ในการทดลองเป็นเกรด N-220 ซึ่งถือว่าเป็นเขม่าดำที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเขม่าดำเกรดอื่นๆ จึงมีความสามารถในการเสริมแรง (reinforcement) สูง นอกจากนี้การที่เขม่าดำเกรดนี้มีอนุภาคขนาดเล็กจึงส่งผลให้โอกาสที่โมเลกุลของยางและพลาสติกเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันในอนุภาคเขม่าดำก็มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPE ที่ใช้เขม่าดำของ TPE (OENR/HDPE) > TPE (OENR/LLDPE) ทุกกรณี



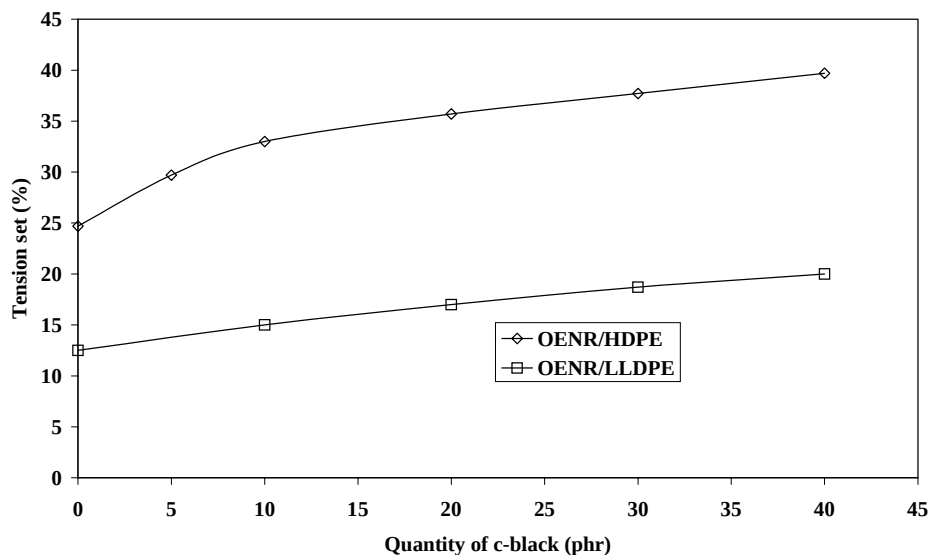
รูปที่ 25 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

ความสามารถในการยึดที่ระดับการใช้เขม่าดำที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 26 พบว่าการเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะส่งผลให้ลดค่าความสามารถในการยึด ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ทั้งสองชนิด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเขม่าดำซึ่งเป็นอนุภาคทำให้อัตราส่วนของยางน้อยลง เรียกว่าเป็นปรากฏการณ์เจือจาง (dilution effect) จึงส่งผลให้ความสามารถในการยึดลดลง หากพิจารณาเปรียบเทียบพบว่า การเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะส่งผลต่ออัตราการลดความสามารถในการยึดของ TPE (OENR/HDPE) มากกว่า TPE (OENR/LLDPE) โดยเฉพาะในช่วงการใช้เขม่าดำ 0-10 phr.



รูปที่ 26 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

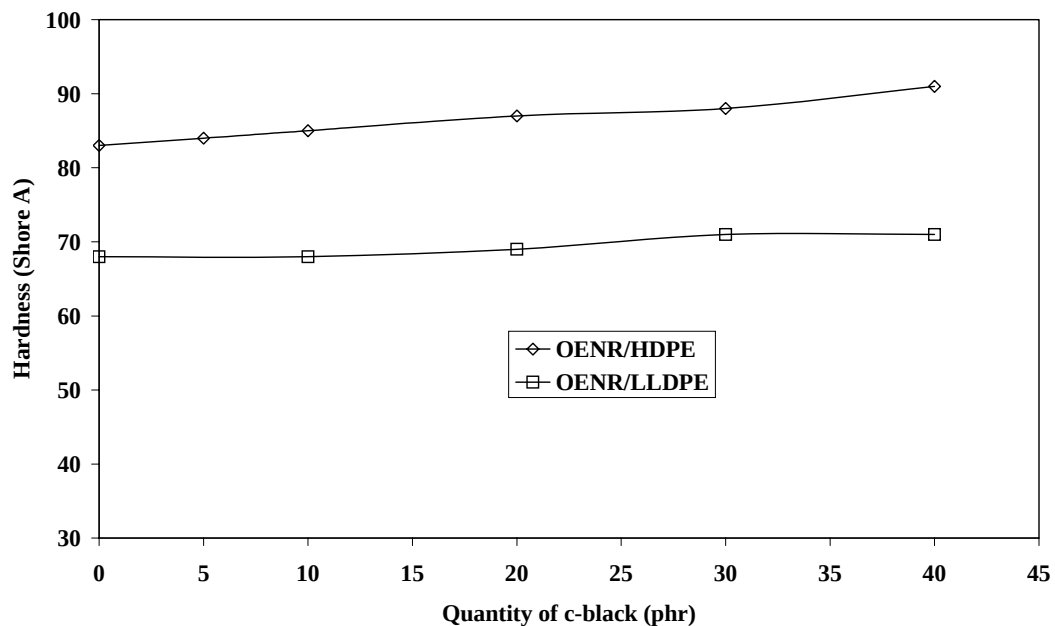
ความสามารถในการคืนรูปของ TPE ที่ระดับการใช้เขม่าดำต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 26 พบว่าค่าความสามารถในการคืนรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำ กล่าวคือการเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีสมบัติด้านความเป็นอีลาสติกลดลง การเปรียบเทียบระหว่าง ชนิด TPE พบว่า TPE (OENR/LLDPE) จะมีสมบัติด้านการคืนรูปดีกว่า TPE (OENR/HDPE) ทุกๆปริมาณการใช้เขม่าดำ



รูปที่ 27 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

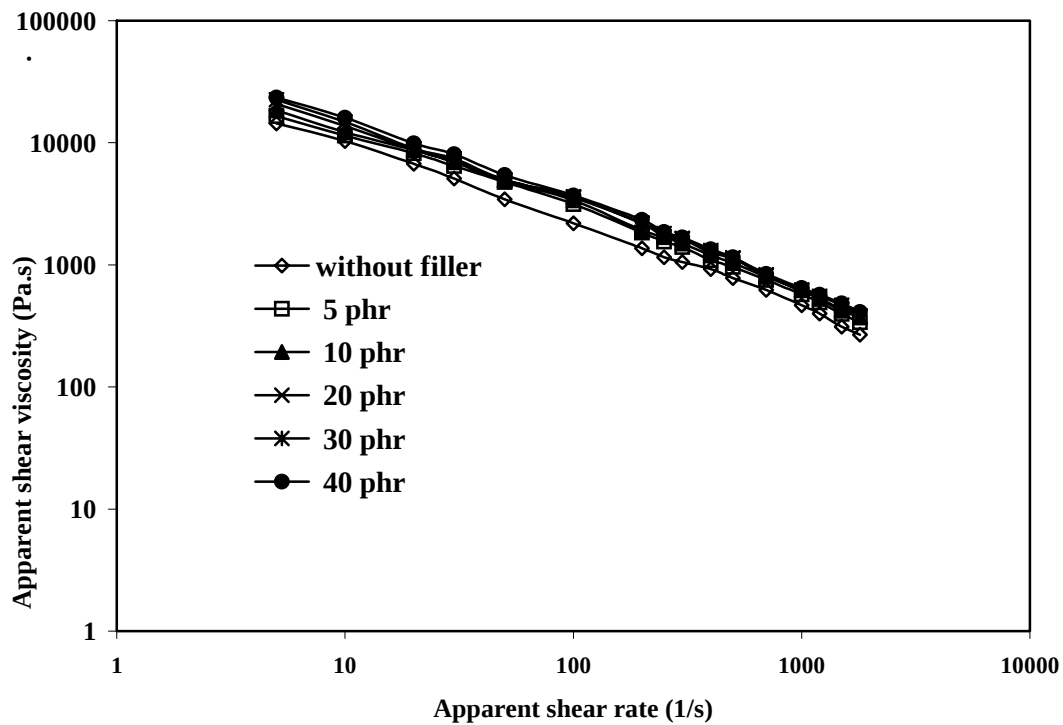
รูปที่ 28 แสดงอิทธิพลของปริมาณเขม่าดำต่อค่าความแข็งของ TPE พบว่าการเพิ่มปริมาณเขม่าดำ มีผลต่อการค่าความแข็งของ TPE ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ได้คาดการณ์ไว้แล้วแต่พบว่าค่า

ความแข็งไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำซึ่งเป็นผลการทดลองที่ค่อนข้างน่าแปลกใจ

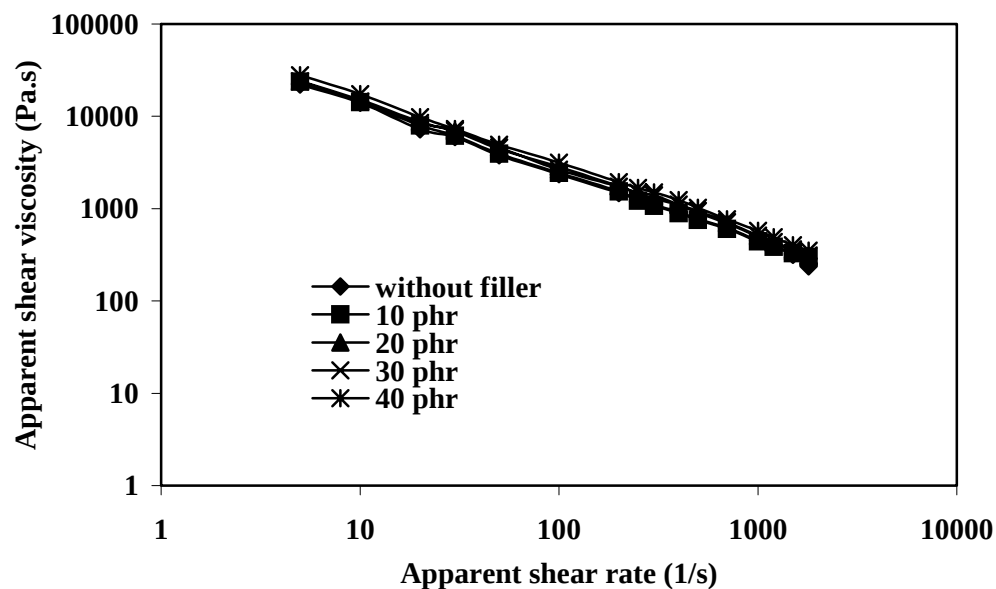


รูปที่ 28 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

สมบัติการไหลของ TPEs ที่ผสมเขม่าดำในปริมาณต่างๆ ในรูปแบบเส้นโค้งการไหลแสดงดังในรูปที่ 29 สำหรับการไหลของ TPE(OENR/HDPE) และ รูปที่ 30 สำหรับการไหลของ TPE (OENR/LLDPE) พบว่าการเพิ่มอนุภาคเขม่าดำเข้าในระบบการเบลนด์จะส่งผลให้เพิ่มการขัดขวางการไหล กล่าวคือทำให้ค่าความหนืดเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ากรณี TPE (OENR/HDPE) จะเกิดการเพิ่มขึ้นของความหนืดสูงกว่า ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความสามารถในการไหลหรือความสามารถในการแปรรูปด้วย เนื่องจากจะต้องใช้ในปริมาณที่ไม่สูงเกินไปจนไม่สามารถทำการแปรรูปโดยการไหลผ่าน channel รูปแบบต่างๆ



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณเซมาดำ

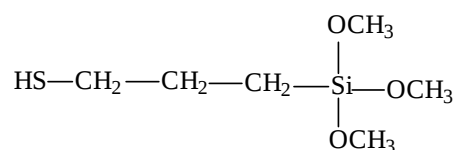


รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณเซมาดำ

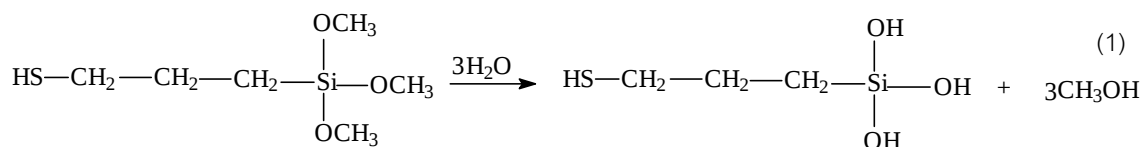
2.5.1.5.2 ซิลิกา

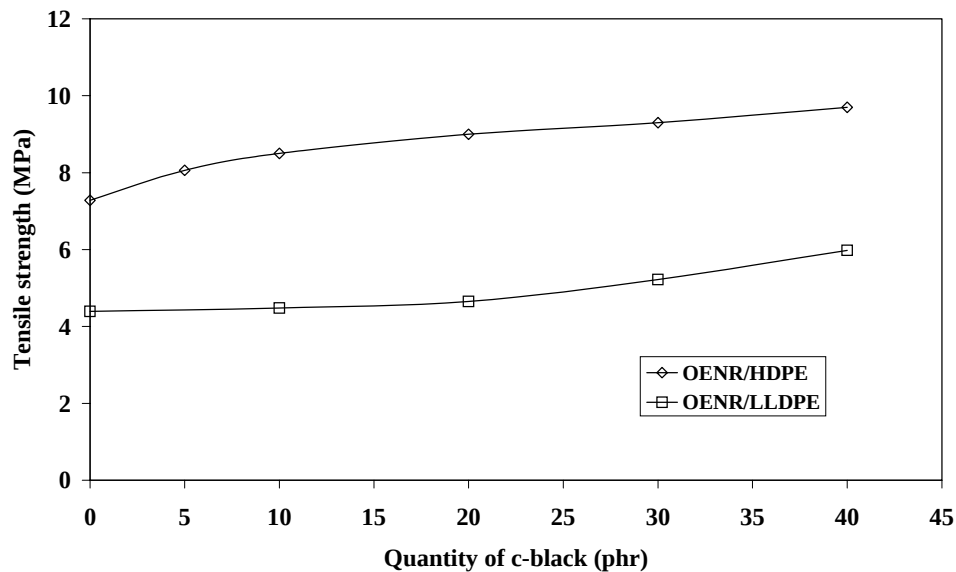
เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนดแบบปกติของ NR/PE = 60/40 โดยใช้ white oil = 20 phr และ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ แล้วแปรปริมาณซิลิกาที่ 5,

10, 20, 30 และ 40 phr โดยใช้ไซเลนเป็น coupling agent หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความสามารถในการคืนรูป ได้ผลการทดลองค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ใช้ซิลิกาปริมาณต่างๆแสดงดังในรูปที่ 31 พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะส่งผลต่อการเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึง ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำในรูปที่ 25 ทั้งนี้เนื่องจากผิวอนุภาคของซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ทำให้เกิดอันตรกิริยาหรือปฏิกิริยากับโมเลกุลยางและพลาสติก ในการทดลองครั้งนี้จึงใช้สาร coupling agent คือ ไซเลน (γ -Mercaptopropyltrimethoxy Silane) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



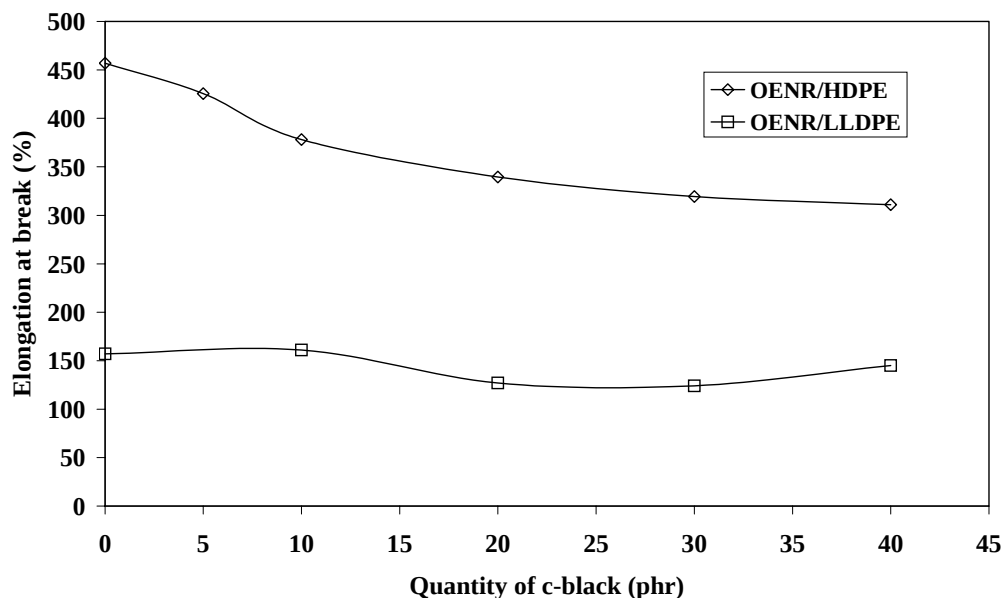
ในระหว่างการผสมที่อุณหภูมิสูงโดยหมู่ methoxy ($-\text{OCH}_3$) จะถูกไฮโดรไลซ์เกิดเป็นซิลานอน ($-\text{Si}-\text{OH}$) ดังปฏิกิริยาที่ (1) โดยซิลานอนสามารถเกิดการยึดเหนี่ยวกับอนุภาคซิลิกาส่วนปลายอีกด้านหนึ่งที่เป็นสายโซ่อัลเคนจะไปเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของยางและพลาสติกได้ ดังนั้นไซเลนจึงทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ยางหรือพลาสติกกับซิลิกายึดติดกันได้มากขึ้น จึงส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของ TPE





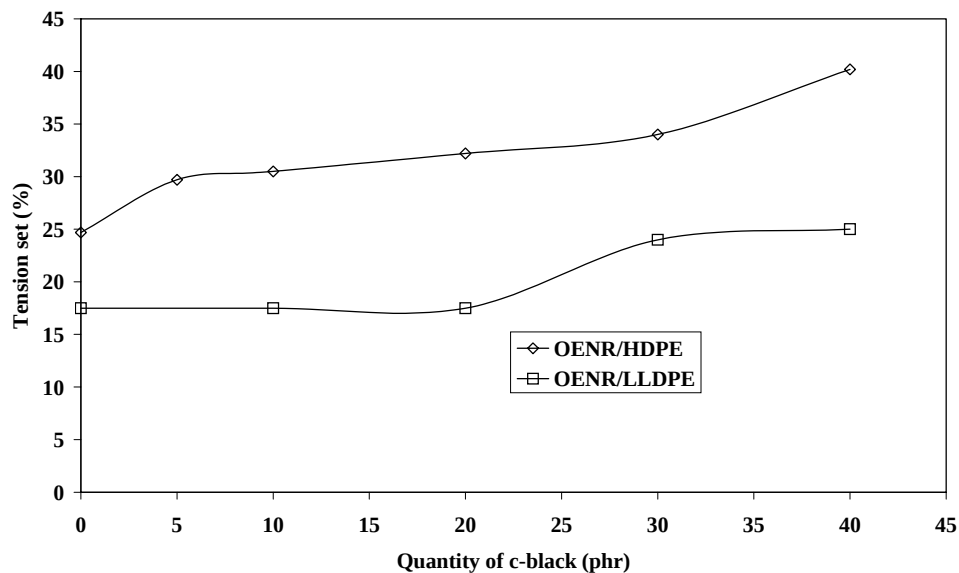
รูปที่ 31 ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซีลิกา

รูปที่ 32 แสดงค่าความสามารถในการยืดของ TPE ที่ระดับการใช้ซีลิกาที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณซีลิกามีผลต่อการลดลงของค่าความสามารถในการยืดจนขาดในทำนองเดียวกับการใช้เขม่าดำในรูปที่ 26 แต่การใช้ซีลิกามีผลต่อการลดลงของค่าความสามารถในการยืดน้อยกว่ากรณีใช้เขม่าดำ แสดงว่าการใช้ซีลิกาทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างซีลิกากับพอลิเมอร์ คือ OENR และ PE ดีกว่ากรณีการใช้เขม่าดำ



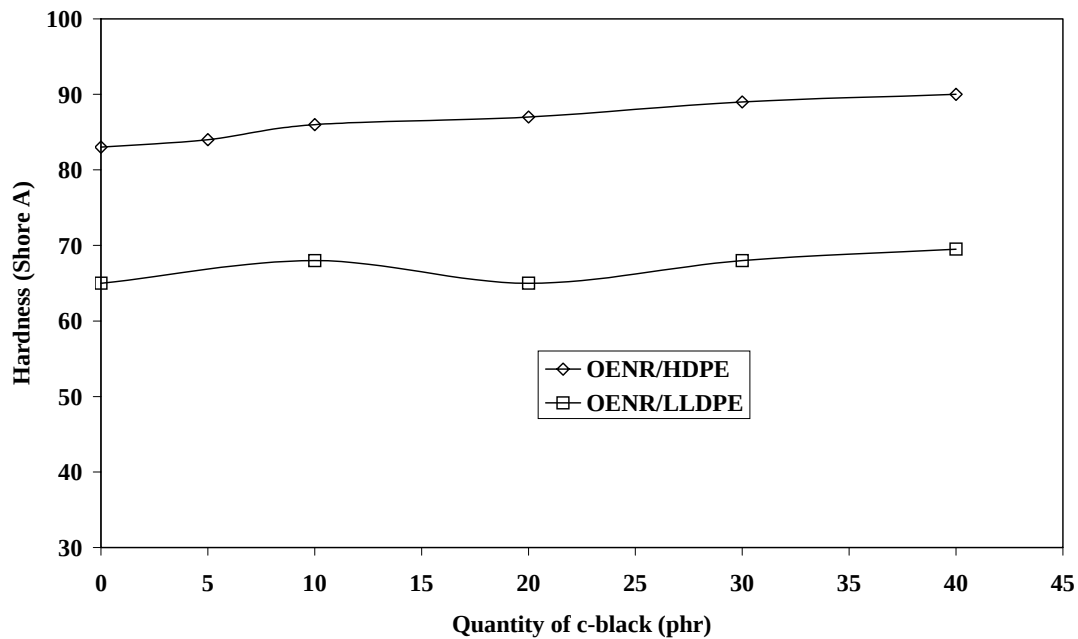
รูปที่ 32 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซีลิกา

ค่าความสามารถในการคืนรูปของ TPE ที่ปริมาณการใช้ซิลิกาที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังในรูป 33 ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาทำให้ค่าความสามารถในการคงรูปหรือความสามารถในการหดตัวคืนรูปร่างเดิมหลังจากการยืดเป็นเวลานานลดต่ำลงในการทำนองเดียวกับการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเป็นการลดสัดส่วนของเฟสยางจึงทำให้สมบัติด้านอีลาสติกลดลง หรือเรียกว่าเป็นปรากฏการณ์เจือจาง (dilution effect)



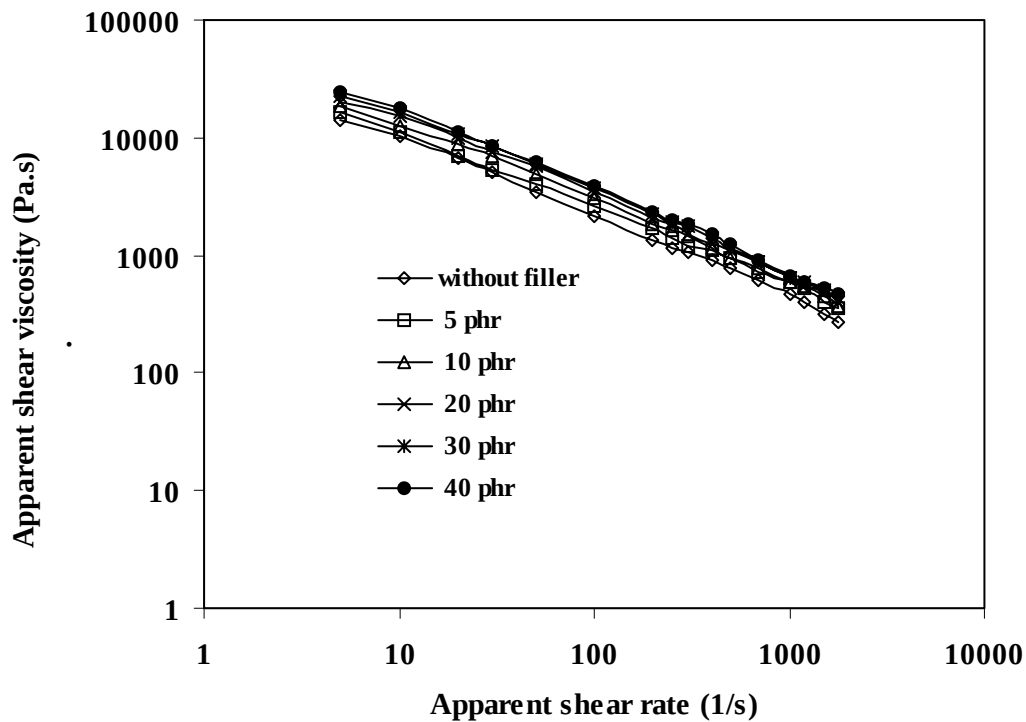
รูปที่ 33 ค่าความสามารถในการคงรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซิลิกา

รูปที่ 34 แสดงค่าความแข็งของ TPE ที่ระดับการใช้ซิลิกาที่ปริมาณต่างๆ พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาจะส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งในการทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำ

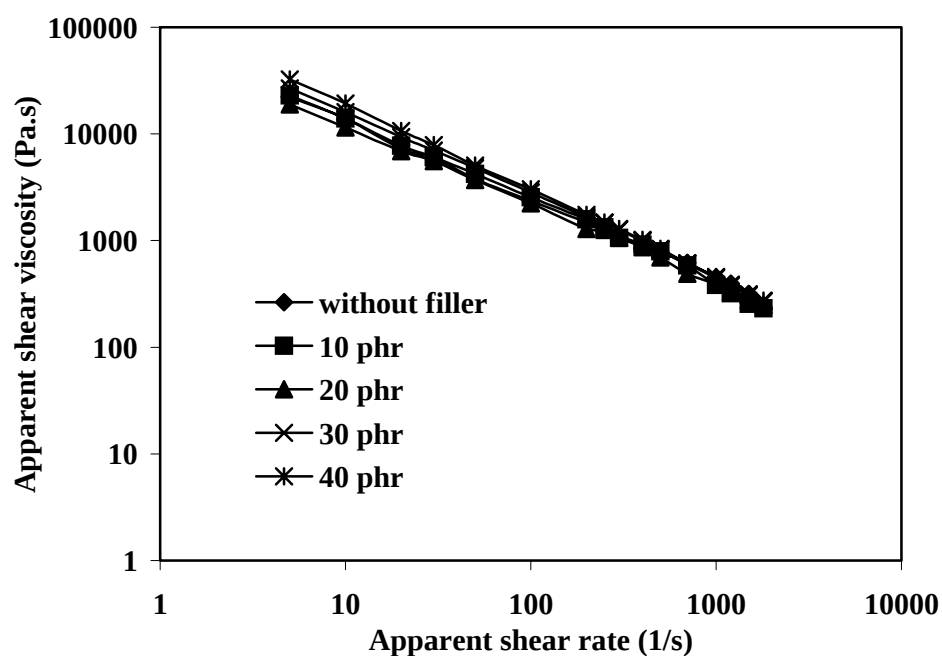


รูปที่ 34 ค่าความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากการเบลนด์แบบปกติของการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซีลิกา

สมบัติการไหลของ TPEs ที่แปรปริมาณซีลิกาในรูปแบบเส้นโค้งการไหลของ TPE (OENR/HDPE) และ TPE (OENR/LLDPE) แสดงดังในรูปที่ 35 และ 36 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มปริมาณซีลิกามีผลต่อการเพิ่มของความหนืดหรือเพิ่มการต่อต้านการไหลในทำนองเดียวกับการใช้เจมาค่า ดังนั้นจึงต้องพิจารณาการใช้ในปริมาณที่เหมาะสมในการเพิ่มสมบัติแต่จะต้องให้มีการไหลที่ดีหรือความหนืดต่ำพอที่จะแปรรูปได้



รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณซิลิกา

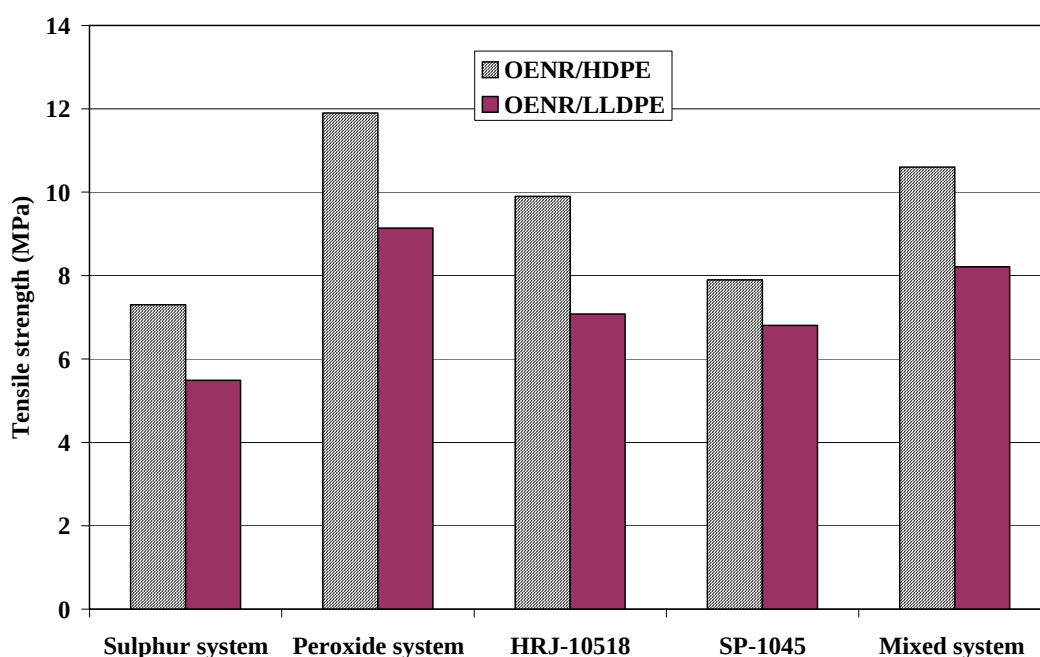


รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนดของ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณซิลิกา

2.5.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ โดยกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์

2.5.2.1 อิทธิพลของระบบการวัลคาไนซ์ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

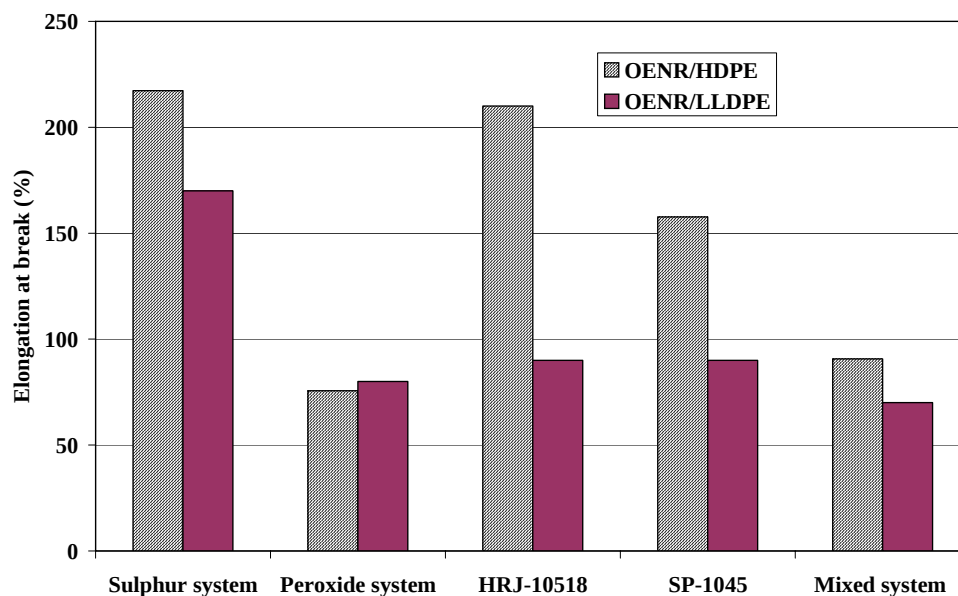
เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPVs) จากการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรระบบการวัลคาไนซ์ คือระบบกำมะถัน เปอร์ออกไซด์ ระบบฟีนอลิก (ใช้ SP-1045 และ HRJ-10518) และระบบผสมของกำมะถันกับเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ยางที่มีการผสม white oil 20 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความสามารถในการคืนรูป ได้ผลการทดลองความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดดังแสดงในรูปที่ 37 และ 38 ตามลำดับ



รูปที่ 37 ความความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ และแปรระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ

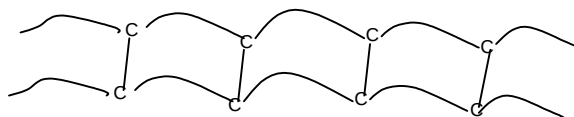
จากรูปที่ 37 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ โดยการวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์จะให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือระบบผสม ระบบฟีนอลิก (HRJ 10518) ระบบฟีนอลิก (SP-1045) และระบบกำมะถัน ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการการวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์จะเกิดการเชื่อมโยงแบบด้วยพันธะโควาเลนต์ของ $-C-C-$ เพียงอย่างเดียว (ดังตัวอย่างโครงสร้างแสดงในรูปที่ 39 (A) ในระบบกำมะถันจะมีการเชื่อมโยงที่มีพันธะเคมีซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบหลายรูปแบบ คือ monosulphedic linkage ($-C-S-C-$), disulphedic linkage ($-C-S-S-C-$) และ polysulphedic linkage ($-C-S_x-C-$) (รูปที่ 39 (B)) ซึ่งพันธะเหล่านี้มีพลังงานพันธะต่ำกว่า $-C-C-$ จึงทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าแต่มีสมบัติด้านการยืดหยุ่นดีกว่า (รูป

ที่ 38) ส่วนระบบผสมของกำมะถันและเปอร์ออกไซด์เกิดการเชื่อมโยงแบบผสมผสานระหว่าง – C-C- linkage และ sulphedic linkages (ดังแสดงในรูปที่ 39 (C)) จึงทำให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าระบบกำมะถันและมีระยะยืดที่จุดขาดสูงกว่าระบบเปอร์ออกไซด์และต่ำกว่าระบบเปอร์ออกไซด์เนื่องจากพันธะที่มีกำมะถันจะมีสมบัติด้านความยืดหยุ่นดีกว่า (รูปที่ 38)

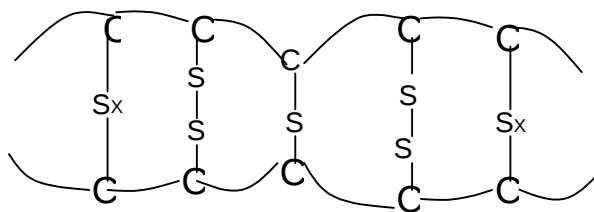


รูปที่ 38 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ และแปรรูปการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ

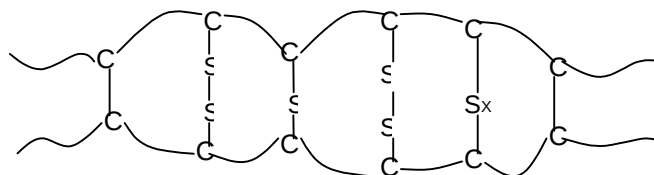
ในระบบการวัลคาไนเซชันระบบฟีนอลิกเรซิน (SP-1045 และ HRJ-10518) เกิดการเชื่อมกับโมเลกุลยางที่ตำแหน่งพันธะคู่ของโมเลกุลยางโดยเกิดปฏิกิริยากับหมู่เมทิลอล (-CH₂OH) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุล SP-1045 (รูปที่ 39 (D)) และ HRJ-10518 (รูปที่ 39 (E)) ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโมเลกุลของยาง ทำให้ได้ยางที่วัลคาไนซ์แล้วมีความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดดี



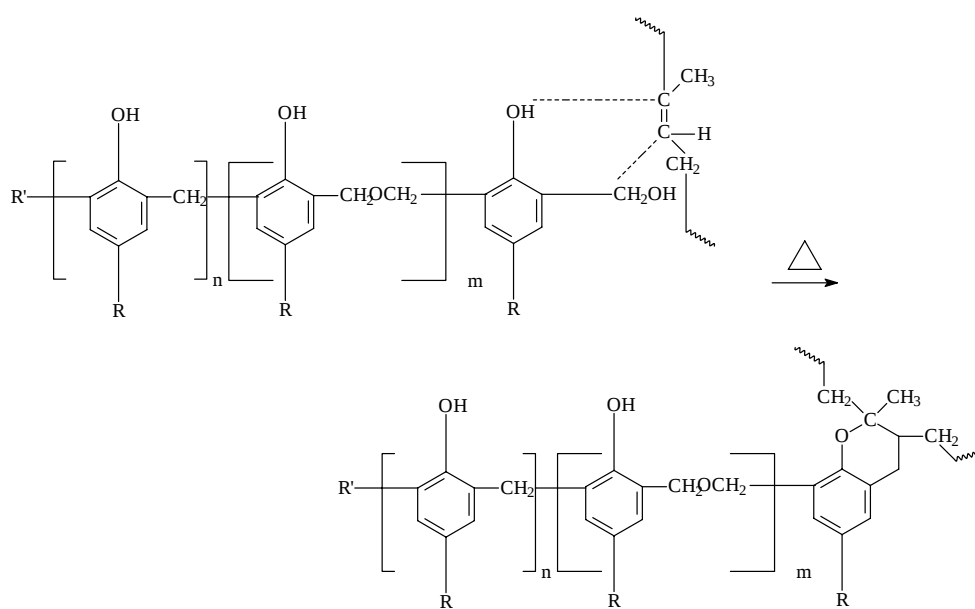
(A) Peroxide vulcanization system (DCP)



(B) Sulphur vulcanization system



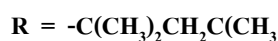
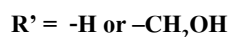
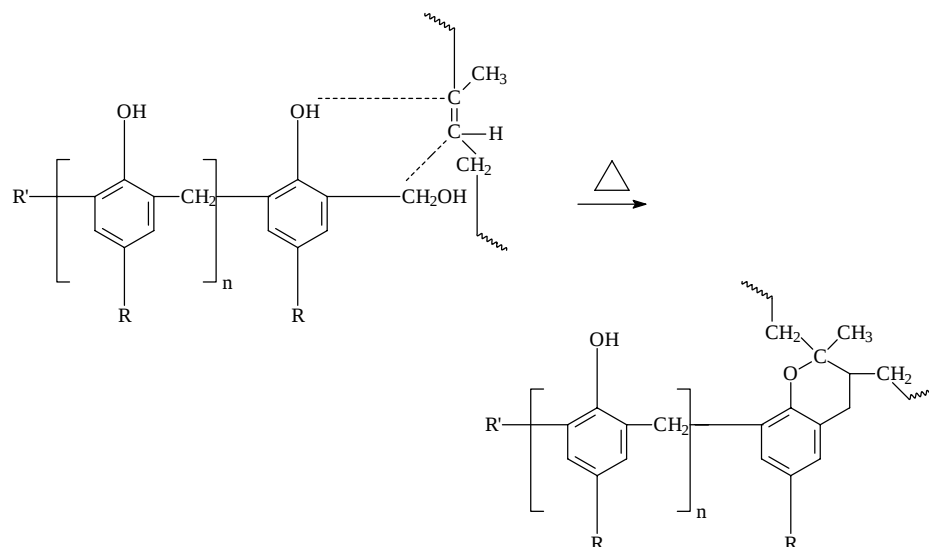
(C) Mixed (sulphur and peroxide) vulcanization system



$R' = -H \text{ or } -CH_2OH$

$R = -C(CH_3)_2CH_2C(CH_3)_3$

(D) Phenolic (SP-1045) vulcanization system

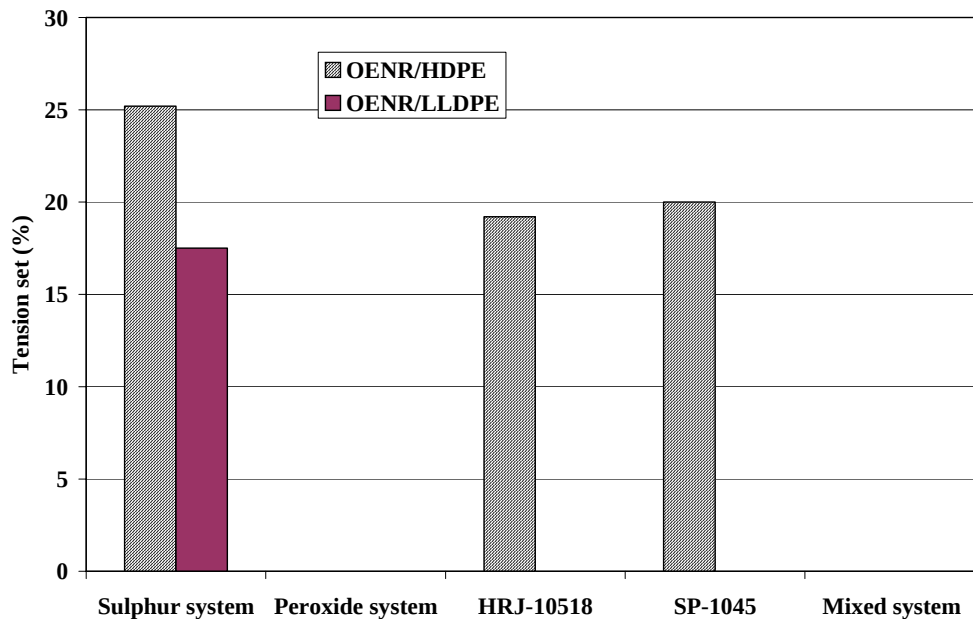


(E) Phenolic (HRJ 10518) vulcanization system

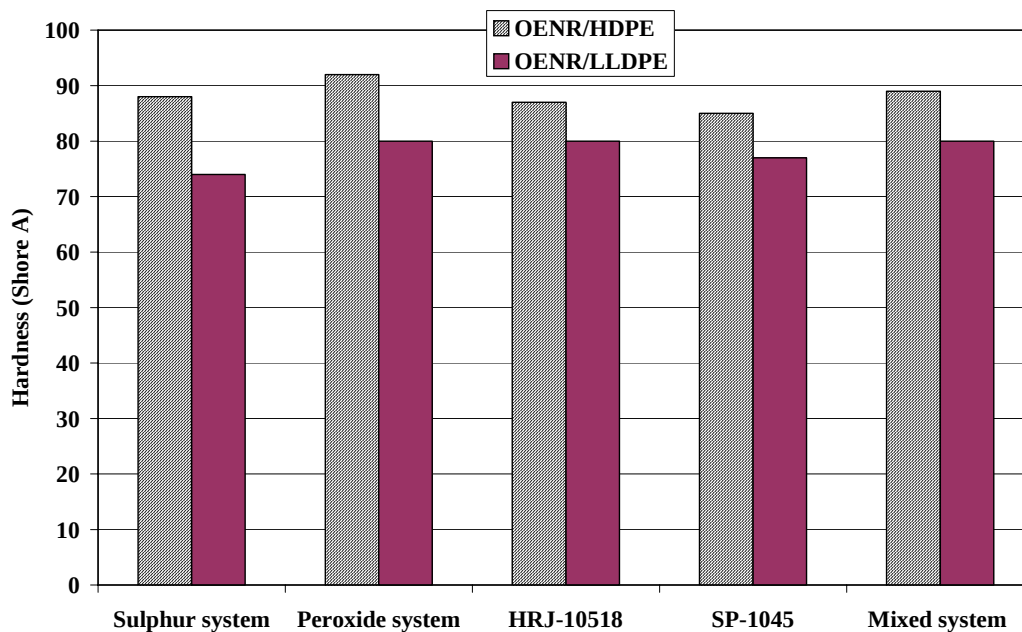
รูปที่ 39 ลักษณะการเชื่อมโยงโดยการวัลคาไนซ์ด้วยระบบต่างๆ (A)ระบบเปอร์ออกไซด์ (B)ระบบผสม (C)ระบบกำมะถัน (D)ระบบฟีนอลิก (SP-1045) และ (E)ระบบฟีนอลิก (HRJ 10518)

ค่าความสามารถในการคืนรูปของ TPVs ที่เตรียมจากการแปรระบบการวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆแสดงดังในรูปที่ 40 พบว่าค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ซึ่งที่เตรียมโดยใช้เปอร์ออกไซด์และระบบผสมของ TPVs ทั้งสองชนิดไม่สามารถหาได้เนื่องจากมีค่าความสามารถในการยืดต่ำกว่า 100% นอกจากนี้ TPV (OENR/LLDPE) สามารถวิเคราะห์ความสามารถในการยืดได้เพียงระบบกำมะถันเพียงระบบเดียว แต่ค่าความสามารถในการคืนรูป (tension set) ของทุกระบบที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่า 25% แสดงว่า TPVs ที่เตรียมได้มีสมบัติความเป็นยางดี

รูปที่ 41 แสดงความแข็งของ TPVs ที่เตรียมจากระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ พบว่าค่าความแข็งของ TPVs (OENR/LLDPE) มีค่าต่ำกว่าของ TPVs (OENR/HDPE) แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของการใช้ระบบการวัลคาไนซ์ระบบต่างๆ พบว่ามีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกันหรือกล่าวได้ว่าระบบการวัลคาไนซ์มีผลต่อความความแข็งของ TPVs น้อย



รูปที่ 40 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ และแปรรูประบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ

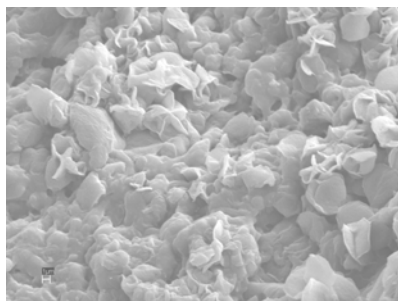


รูปที่ 41 ความแข็งเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ และแปรรูประบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ

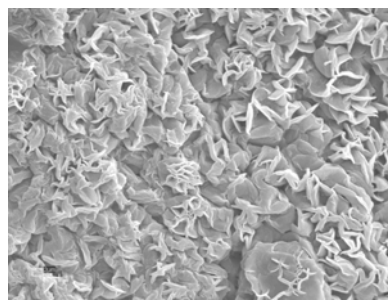
ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์จะพบว่าระบบผสม และระบบเปอร์ออกไซด์ แม้ว่าจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่สูงแต่ก็มีค่าความสามารถในการยืดต่ำกว่าคือ $< 100\%$ จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าความสามารถในการคืนรูปได้ ส่วนของระบบกำมะถัน แม้ว่าจะมีความสามารถในการยืดที่สูงที่สุดแต่ก็ให้ค่าความต้านทานต่อการดึงต่ำสุด ในขณะที่

ระบบฟีนอลิก (SP-1045) นั้นให้ค่าความต้านทานต่อการดึงที่มีค่าสูงกว่าระบบกำมะถันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ระบบฟีนอลิก (HRJ 10518) แม้ว่าจะมีค่าค่าความต้านทานต่อการดึงเป็นรองระบบผสม และระบบเปอร์ออกไซด์ แต่ก็มีความสามารถในการยืดที่สูงกว่าและมีความสามารถในการคืนรูปได้ดีที่สุด ดังนั้นระบบฟีนอลิก (HRJ 10518) จึงมีความเหมาะสมที่สุดที่จะเลือกใช้เป็นระบบวัลคาไนซ์ ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกลเป็นหลัก

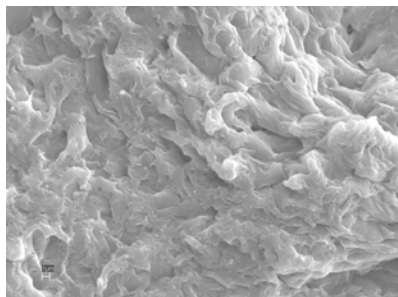
ถ้าพิจารณาสมบัติด้านสัณฐานวิทยาของ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE แสดงดังในรูปที่ 42 และ 43 ตามลำดับ พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของการใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบฟีนอลิก (HRJ-10518) จะให้ TPVs ที่มีขนาดเล็กและมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอกว่าระบบอื่นๆ และขนาดอนุภาคของยางวัลคาไนซ์มีขนาดประมาณ 1-2 ไมครอนจึงส่งผลต่อการได้ TPVs ที่มีสมบัติดี จึงเลือกใช้ระบบการวัลคาไนซ์ชนิดนี้ในการเตรียม TPVs ในการทดลองต่อไป



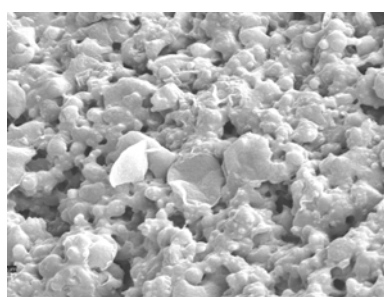
(A) Sulphur system



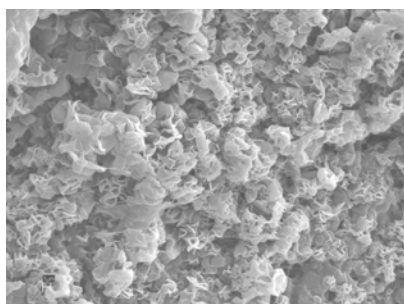
(B) Peroxide system



(C) Phenolic (SP-1045) system

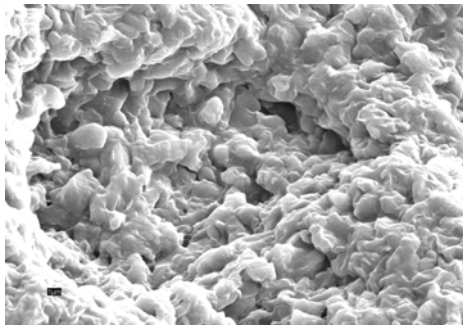


(D) Phenolic (HRJ-10518) system

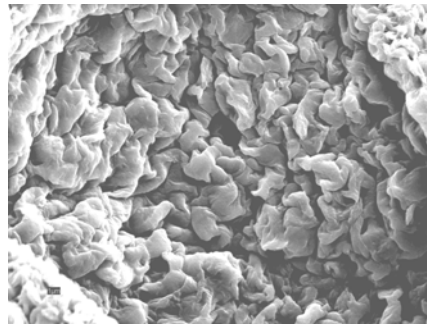


(E) Mixed (sulphur and peroxide) system

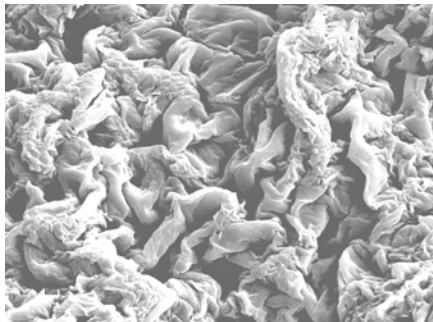
รูปที่ 42 SEM micrographs ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/HDPE ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ



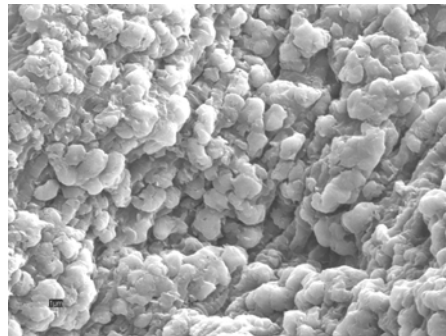
(A) Sulphur system



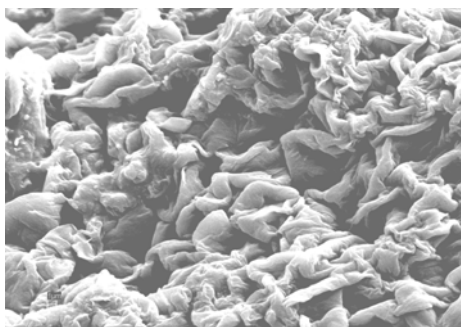
(B) Peroxide system



(C) Phenolic (SP-1045) system



(D) Phenolic (HRJ-10518) system

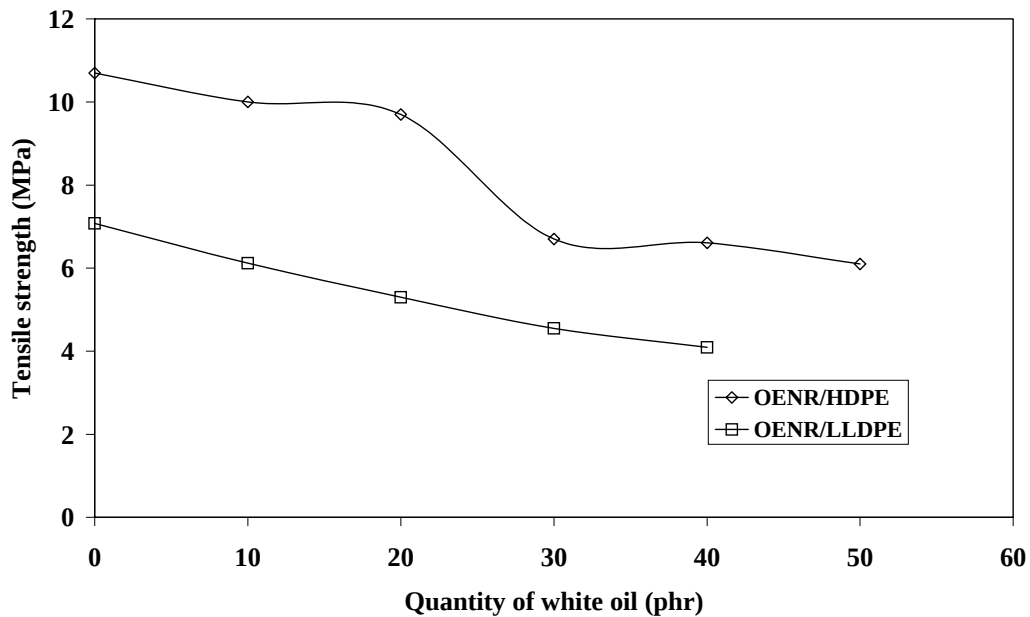


(E) Mixed (sulphur and peroxide) system

รูปที่ 43 SEM micrographs ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ OENR/LLDPE ที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ

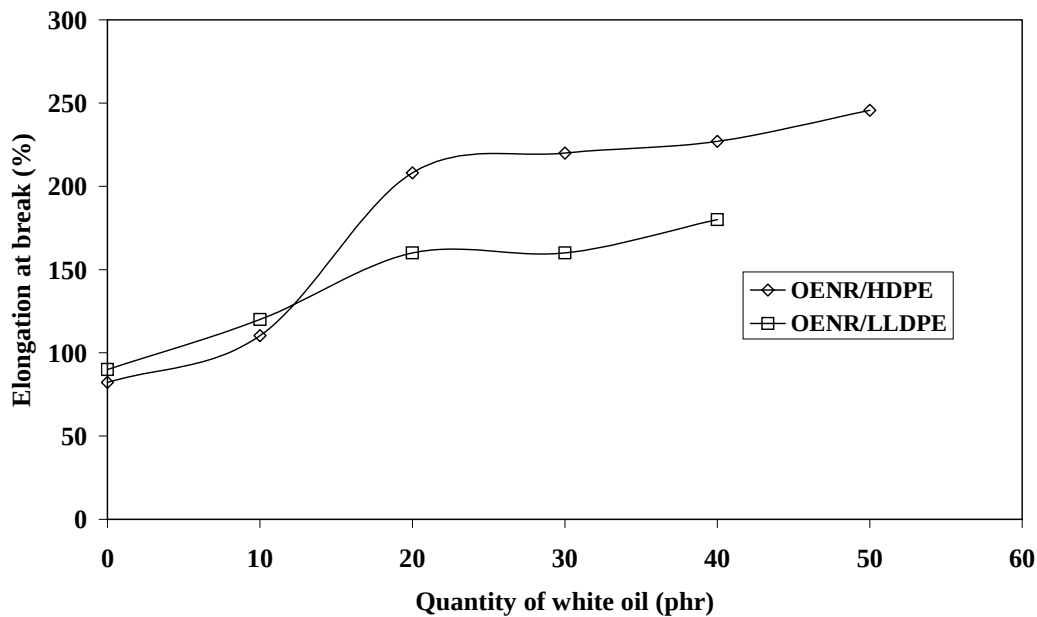
2.5.2.2 อิทธิพลปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบฟีนอลิก (HRJ-10518) และแปรปริมาณน้ำมัน white oil เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 phr แล้วนำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็งแรง และความสามารถในการคืนรูป ได้ผลการทดลองความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดแสดงดังในรูปที่ 44 และ 45 ตามลำดับ



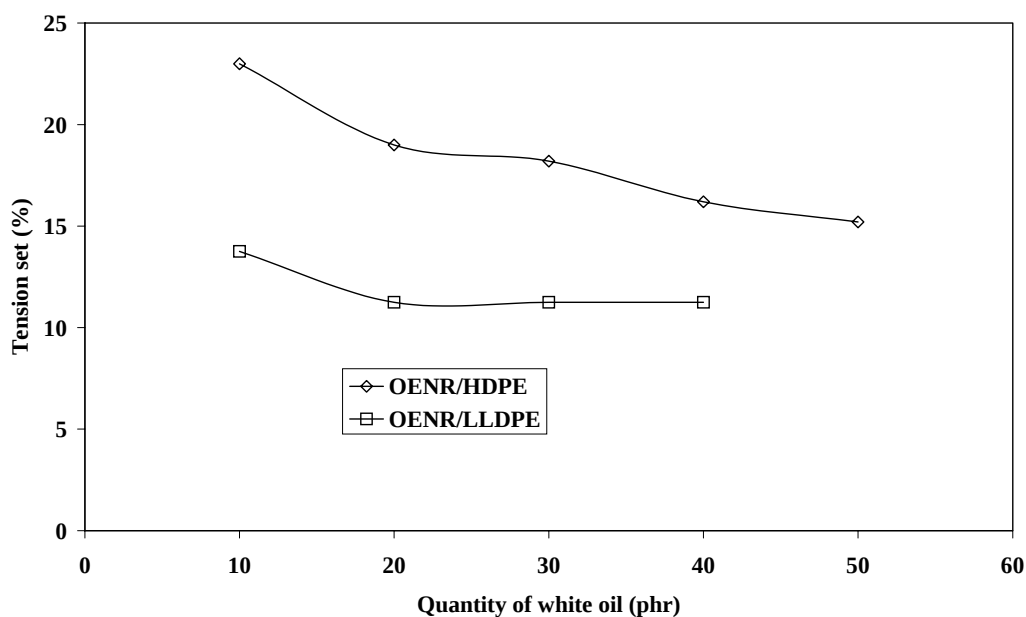
รูปที่ 44 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

จากรูปที่ 44 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลต่อแนวโน้มการลดลงของค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ในทำนองเดียวกับ TPE ในรูปที่ 17 ซึ่งเป็นผลมาจากการหล่อลื่นภายในโดยโมเลกุลน้ำมันซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้โมเลกุลของพลาสติกและยางวัลคาไนซ์มีโอกาสที่เลื่อนไถลผ่านกันได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ใช้แรงในการยืดน้อยลงแต่ทำให้มีความสามารถในการยืดออกได้ดีขึ้น ดังความสามารถในการยืดจนขาดในรูปที่ 45 โดยที่ TPVs ทั้งสองชนิดที่ไม่มีการผสมน้ำมันมีความสามารถในการยืดต่ำกว่า 100% และไม่สามารถทดสอบค่าความสามารถการคืนรูปตามมาตรฐานได้ แต่พอเพิ่มปริมาณน้ำมันประมาณ 10 phr ทำให้ TPVs ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการยืดจนขาดสูงกว่า 100% การเพิ่มปริมาณน้ำมันยังส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs



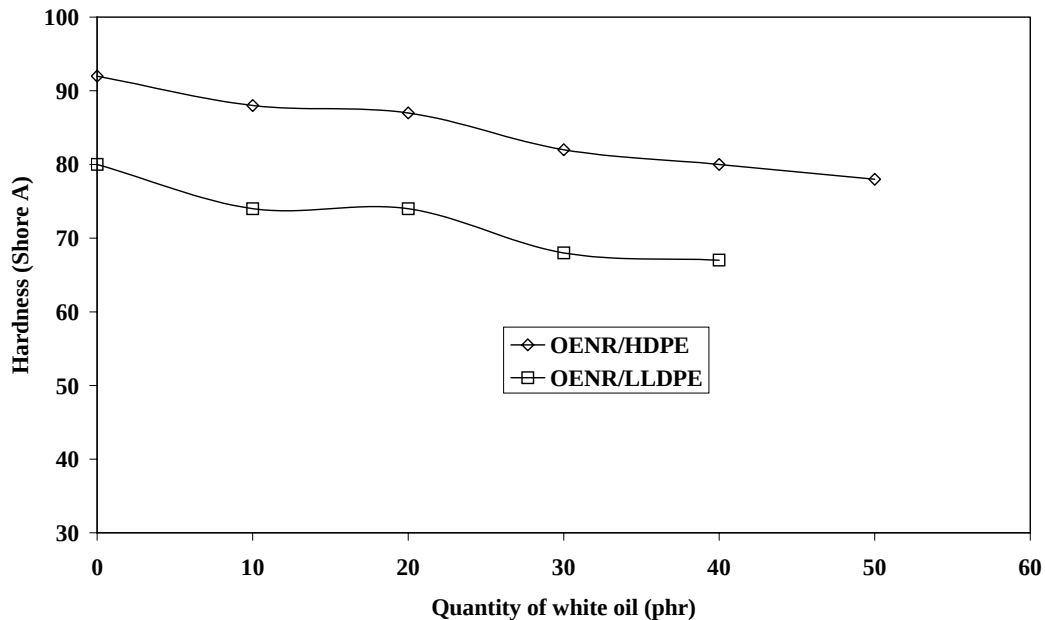
รูปที่ 45 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

ความสามารถในการคืนรูปของ TPVs ที่การใช้น้ำมันปริมาณต่างๆแสดงดังในรูปที่ 46 พบว่าค่าความสามารถในการคืนรูปมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำมัน ในทำนองเดียวกับกรณี TPE ในรูปที่ 19 ดังนั้นการผสมน้ำมันจะทำให้โมเลกุลของยางนั้นเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ยางมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ลดต่ำลงซึ่งจะทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีพฤติกรรมความเป็นยางมากขึ้น จึงทำให้ค่า tension set มีแนวโน้มลดลง



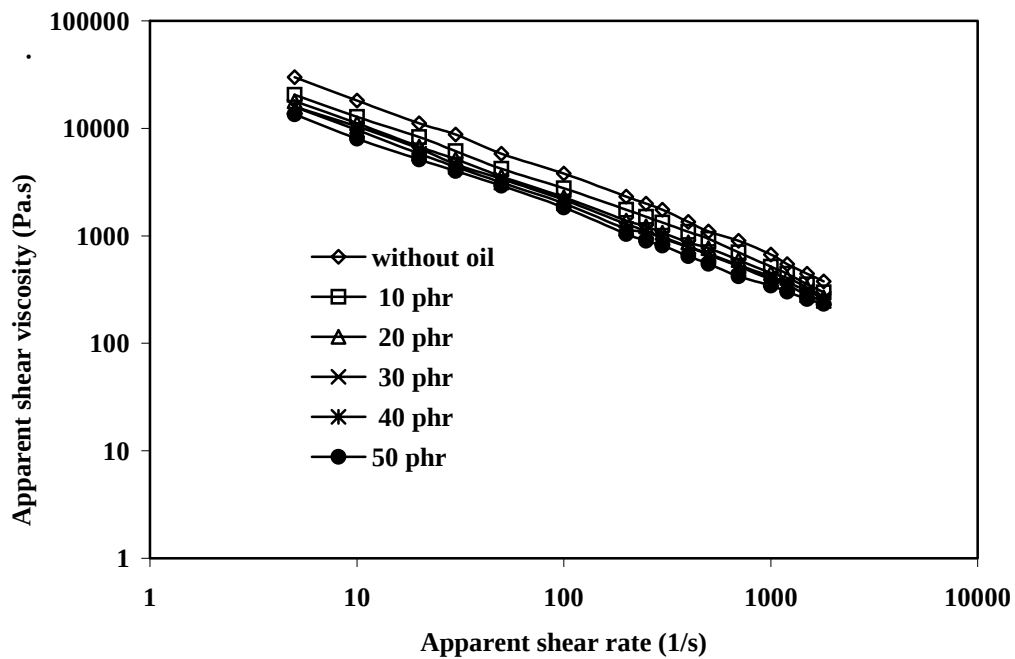
รูปที่ 47 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

ค่าความแข็งในรูปที่ 47 ก็มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณน้ำมัน ดังนั้นสามารถใช้ น้ำมันในการปรับความแข็ง และสมบัติอื่น เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และค่าโมดูลัสของ TPVs

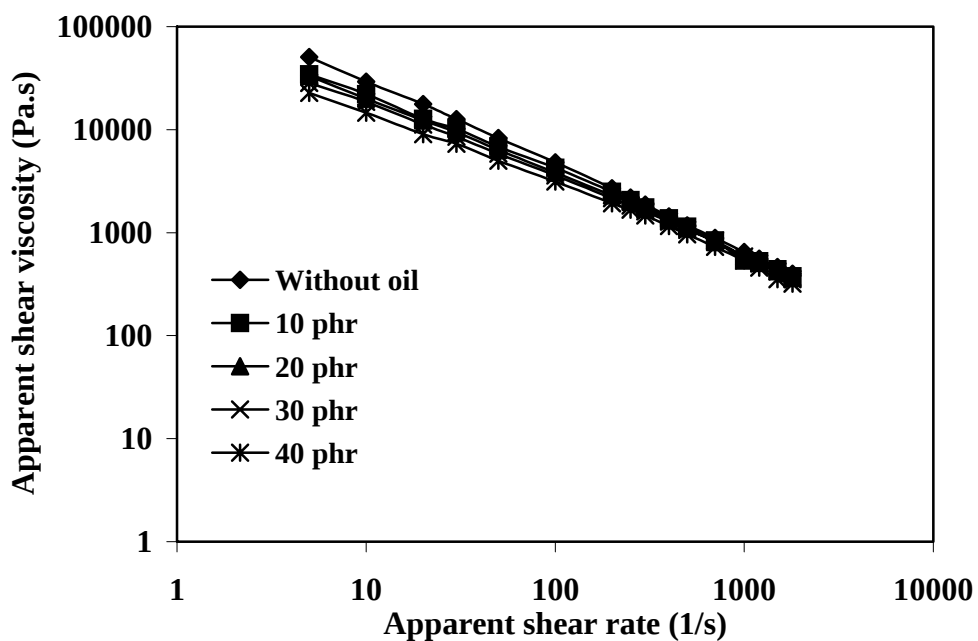


รูปที่ 47 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

รูปที่ 48 และ 49 แสดงเส้นโค้งการไหลของ TPV (OENR/HDPE) และ TPV(OENR/LLDPE) ตามลำดับ พบว่าการใช้น้ำมันทำให้ TPVs มีการต่อต้านการไหลลดลง และการเพิ่มปริมาณน้ำมันเป็นการเพิ่มความสะดวกในการไหลเนื่องจากอนุภาคยางวัลคาไนซ์และพลาสติกหลอมจะไหลผ่านช่องต่างๆในเครื่องแปรรูปได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการเตรียม TPVs จำเป็นต้องใช้น้ำมันในปริมาณเหมาะสมปริมาณหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดการไหลขณะหลอมได้ดีและเสริมสมบัติจำเป็นต่างๆของ TPVs



รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนดของ OENR/HDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

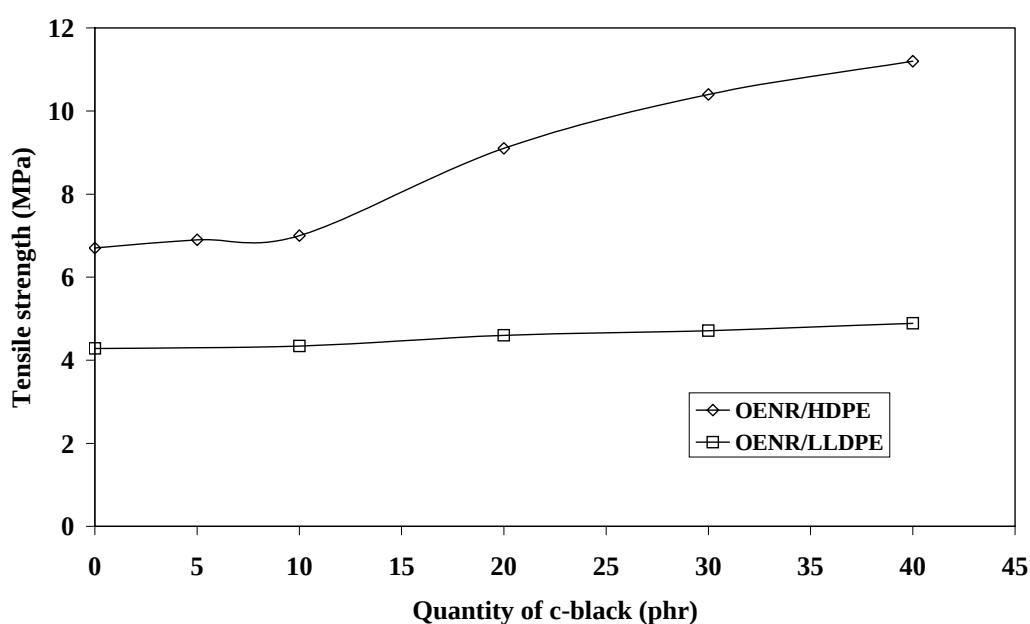


รูปที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนปรากฏของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนดของ OENR/LLDPE ที่อัตราส่วน NR/PE = 60/40 โดยแปรปริมาณน้ำมัน white oil

2.5.2.3 อิทธิพลของสารตัวเติมต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

2.5.2.3.1 เหมำดำ

เตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์โดยการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ใช้ white oil 20 phr และระบบการวัลคาไนซ์แบบฟีนอลิก (HRJ-10518) โดยแปรปริมาณเหมำดำที่ 5, 10, 20, 30 และ 40 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแล้วทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความสามารถในการคืนรูป ได้ผลการทดลองกราฟความสัมพันธ์ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดขนาดกับปริมาณเหมำดำ ความเคียดังแสดงในรูปที่ 50 และ 51 ตามลำดับ

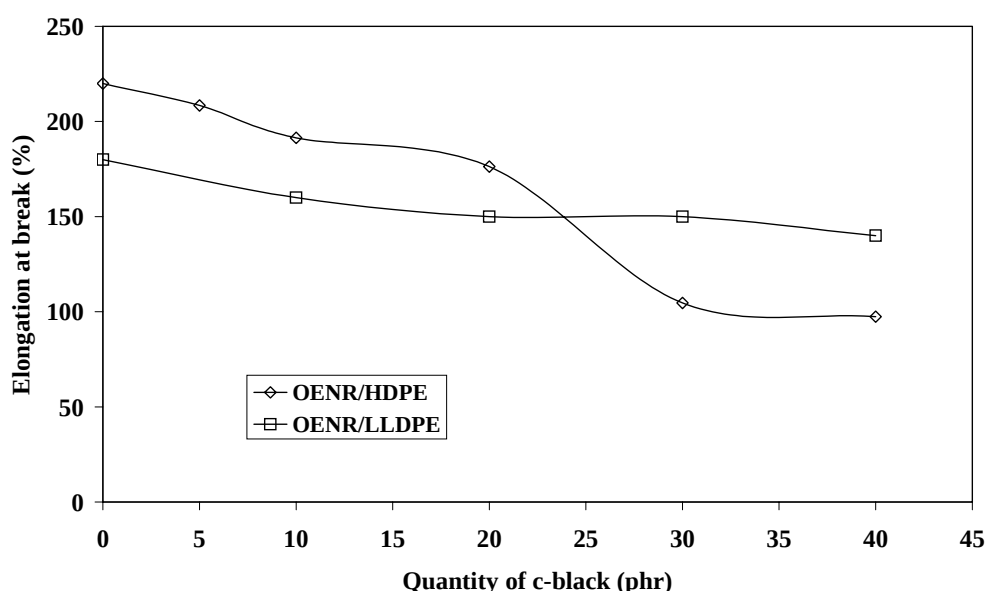


รูปที่ 50 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเหมำดำ

จากรูปที่ 50 พบว่าการเพิ่มปริมาณเหมำดำในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ส่งผลต่อการเพิ่มความต้านทานต่อแรงดึง โดย TPV (OENR/HDPE) มีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่า TPV(OENR/LLDPE) ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเหมำดำในกรณี TPE ที่เตรียมจากเทคนิคการเบลนด์แบบปกติ ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของเหมำดำสามารถกระจายตัวได้ทั้งในเฟสของยางธรรมชาติและพลาสติก ซึ่งหุ้มฟังก์ชันที่ผิวของอนุภาคเหมำดำสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยเฉพาะโมเลกุลยางที่มีพันธะคู่ได้ดี ดังนั้นการที่ปริมาณเหมำดำเพิ่มขึ้นจึงทำให้ระบบมีความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เหมำดำจัดเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (reinforcing filler) ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เกรด N-220 ซึ่งเป็นเหมำดำที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเหมำดำ

เกร็ดอื่นๆ จึงทำให้เกิดการเสริมแรงสูง เนื่องจากมีโอกาสที่จะเกิดพันธะโควาเลนต์และพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอมไฮโดรเจนในพอลิเมอร์ (ยางและพลาสติก) กับออกซิเจนที่เป็นหมู่ฟังก์ชันในเขม่าดำ เช่น หมู่ฟีนอลิก หมู่คาร์บอกซิลิก และคีโตน เป็นต้น

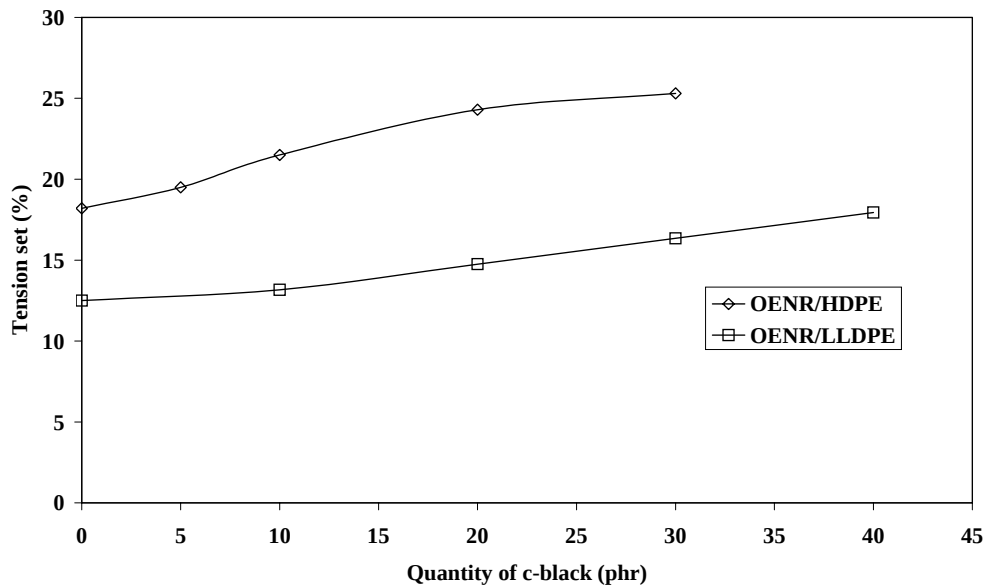
การเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างเนื่องจากการเพิ่มปริมาณเขม่าดำจะมีผลทำให้เกิดการลดความสามารถในการยืดของ TPVs (รูปที่ 51) แต่มีอัตราในการลดลงของความสามารถในการยืดต่ำกว่ากรณี TPE โดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณเขม่าดำ 5-10 phr ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของ TPVs มีสัณฐานวิทยาแบบอนุภาคยางวัลคาร์ไบซ์กระจายตัวในเฟสพลาสติกซึ่งเป็นเฟสใหญ่ (matrix) ในขณะที่ TPEs มีสัณฐานวิทยาแบบเฟสร่วม (co-continuous morphology) ซึ่งทั้งเฟสยางและพลาสติกเป็นเฟสต่อเนื่องโดยกระจายตัวสอดแทรกในซึ่งกันและกัน จึงทำให้โอกาสที่เขม่าดำเข้าไปมีผลต่อโมเลกุลยางที่เกิดการเชื่อมโยงแล้วใน TPVs ต่ำกว่าในกรณี TPEs การเพิ่มปริมาณเขม่าดำสูงกว่า 30 phr ทำให้ TPVs (OENR/HDPE) สูญเสียความสามารถในการยืดในอัตราที่สูง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้เขม่าดำในปริมาณที่สูงกว่านี้



รูปที่ 51 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาร์ไบซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์

NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

กราฟระหว่างค่าความสามารถในการคืนรูปกับปริมาณเขม่าดำของ TPVs แสดงดังในรูปที่ 52 พบว่าการเพิ่มอนุภาคเขม่าดำซึ่งเป็นของแข็งทำให้เกิดการเจือจางของอัตราส่วนของยางใน TPVs จึงมีผลทำให้ความเป็นอลาสติกมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณเขม่าดำ กล่าวคือ ค่า tension set มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ในทำนองเดียวกับการเพิ่มเขม่าดำใน TPE ในรูปที่ 27

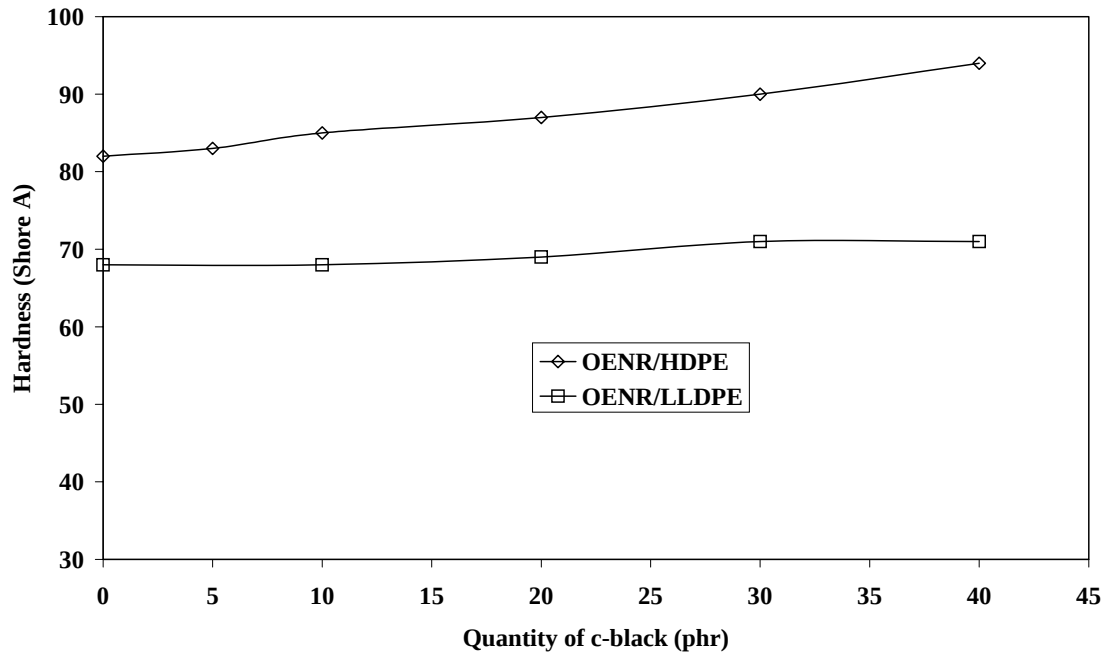


รูปที่ 52 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากการเบลนด์

NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

กราฟระหว่างค่าความแข็งที่ปริมาณเขม่าดำต่างๆแสดงดังในรูป 52 พบว่าการเพิ่มปริมาณเขม่าดำมีผลต่อแนวโน้มการเพิ่มความแข็งในทำนองเดียวกับกรณี TPE ในรูปที่

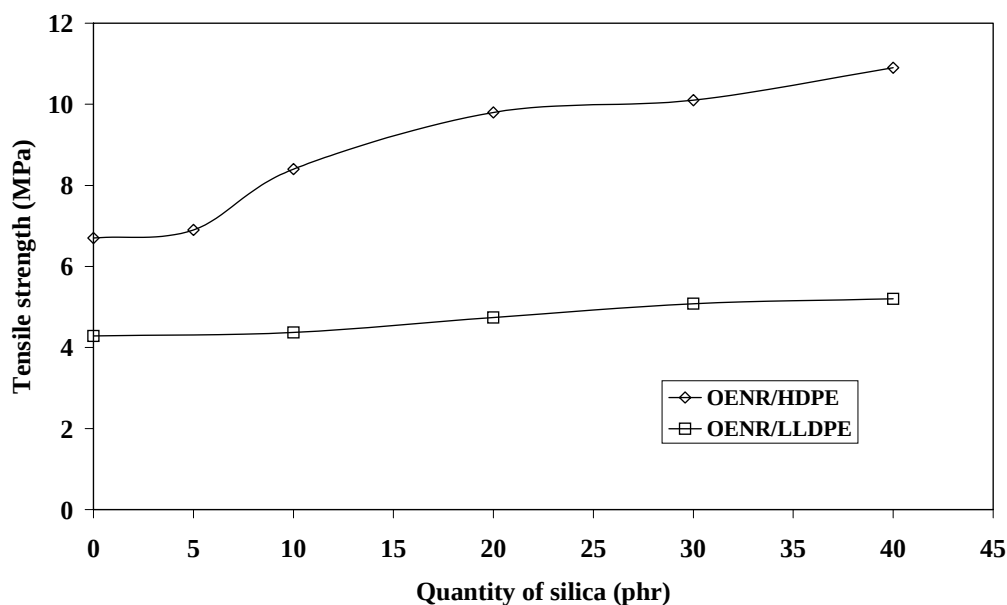
27



รูปที่ 53 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณเขม่าดำ

2.5.2.3.2 ซิลิกา

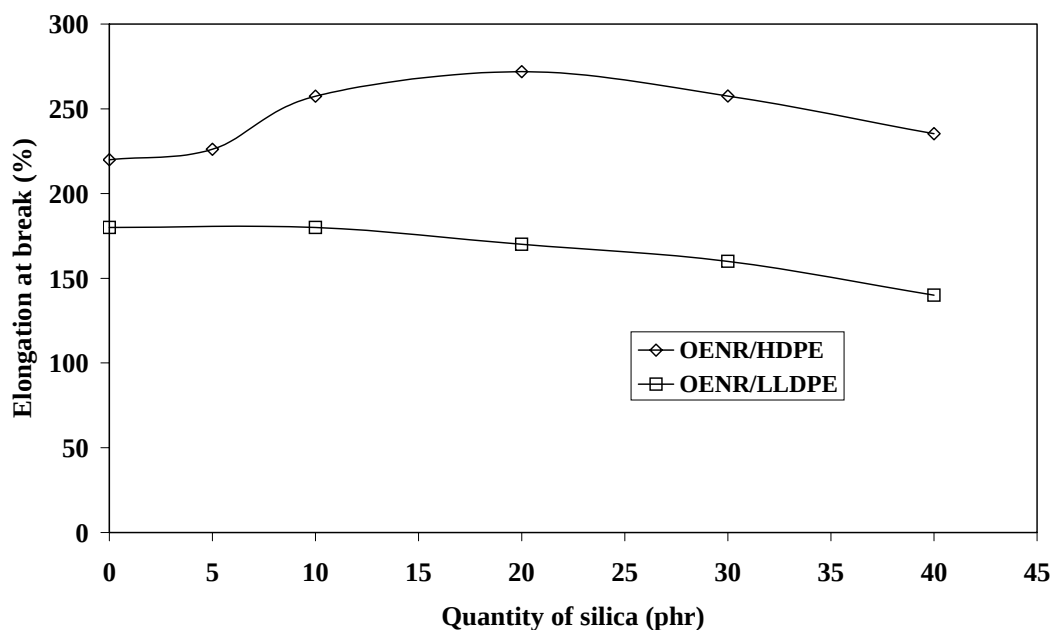
การทดลองในตอนนี้ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาโดยการไนซ์โดยกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ระบบฟีนอลิก และ white oil 20 phr โดยแปรปริมาณซิลิกาที่ปริมาณ 5, 10, 20, 30 และ 40 phr หลังจากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้ไปฉีดขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และความสามารถในการคืนรูป ได้ผลการทดลองกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดกับปริมาณซิลิกาของ TPVs แสดงดังในรูปที่ 54 และ 55 ตามลำดับ พบว่าเมื่อการเพิ่มปริมาณซิลิกาในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ จะส่งผลให้เพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึง ในทำนองเดียวกับเขม่าดำในรูปที่ 49 และในกรณีของการใช้ซิลิกาใน TPE ในรูปที่ 31 ด้วยเหตุผลของความสามารถในการประสานของซิลิกากับโมเลกุลพอลิเมอร์โดยมีสารไซเลนเป็นตัวประสานผ่านหมู่ไซลานอน ดังได้อธิบายไปแล้ว



รูปที่ 54 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซิลิกา

จากรูปที่ 55 พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกา ส่งผลให้ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นในช่วงที่ใช้ซิลิกาปริมาณ 0 phr ถึง 20 phr โดยให้ค่าความสามารถในการยืดสูงสุดที่ 20 phr (เฉพาะกรณี OENR/HDPE) ที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุมาจากการลื่นไถลของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์กับผิวของอนุภาคซิลิกา (Datta *et al.*, 1996) เมื่อผสมซิลิกาที่ปริมาณมากกว่า 20 phr จะทำให้ไม่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว ส่วนในกรณี OENR/LLDPE ค่าความสามารถ

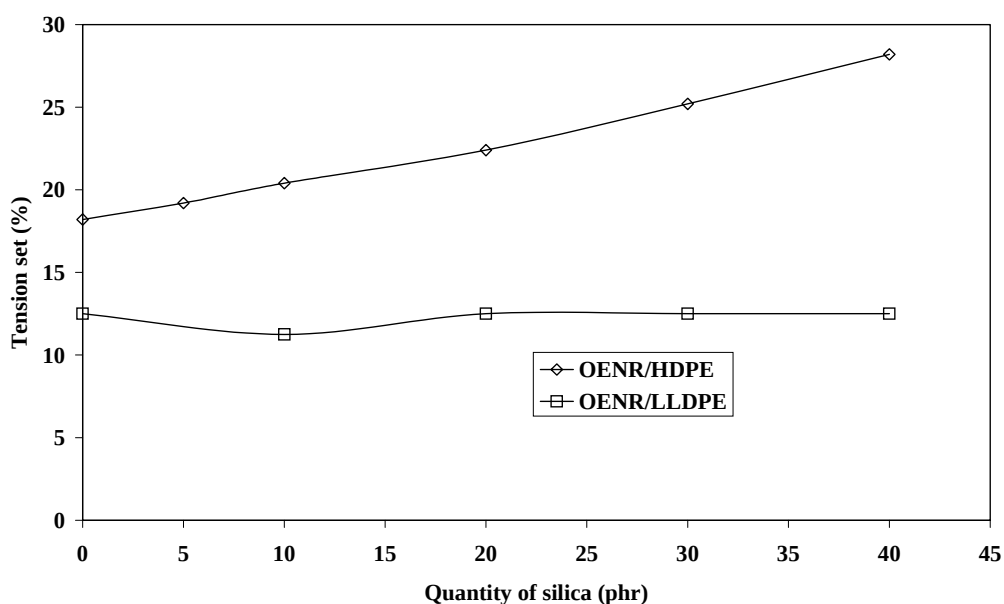
ในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณซิลิกา ในทำนองเดียวกับเขม่าดำในรูปที่ 51 และ TPE ที่ใช้ซิลิกาในรูปที่ 32



รูปที่ 55 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์

NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซิลิกา

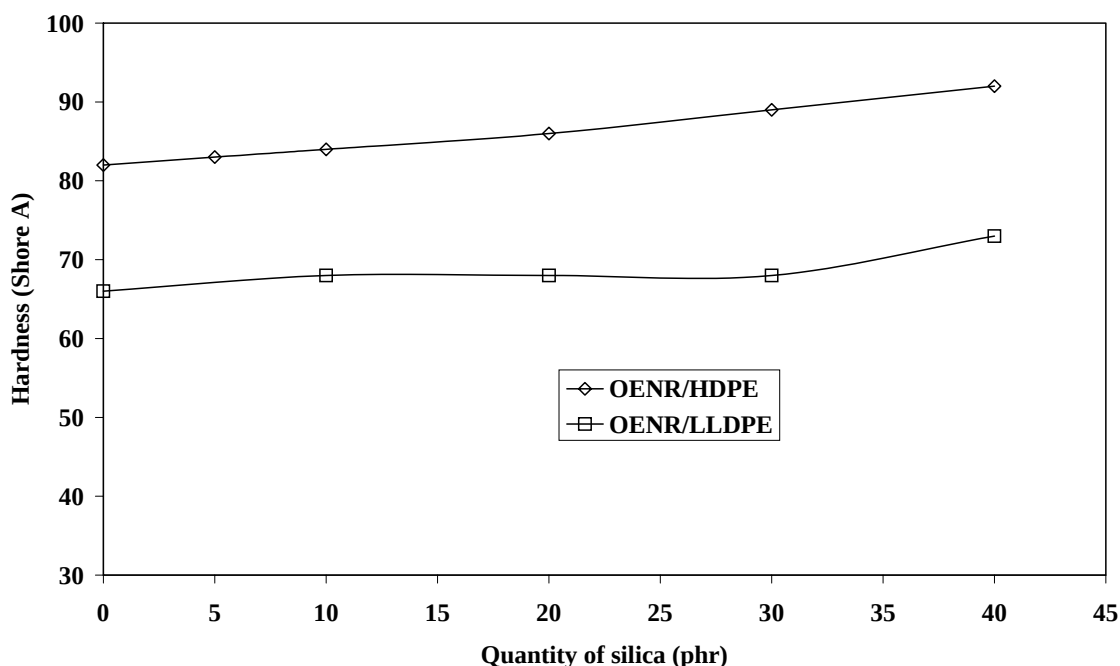
รูปที่ 56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการคืนรูปกับปริมาณซิลิกาของ TPVs พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกา จะมีผลต่อการเพิ่มค่า tension set กล่าวคือลดความเป็นอีลาสติคของ TPVs ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำในรูปที่ 51 แต่ในกรณีการเพิ่มปริมาณซิลิกาจะมีผลต่อสมบัติด้านความเป็นอีลาสติคของ TPVs (OENR/LLDPE) น้อยกว่า TPVs (OENR/HDPE)



รูปที่ 56 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์

NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซิลิกา

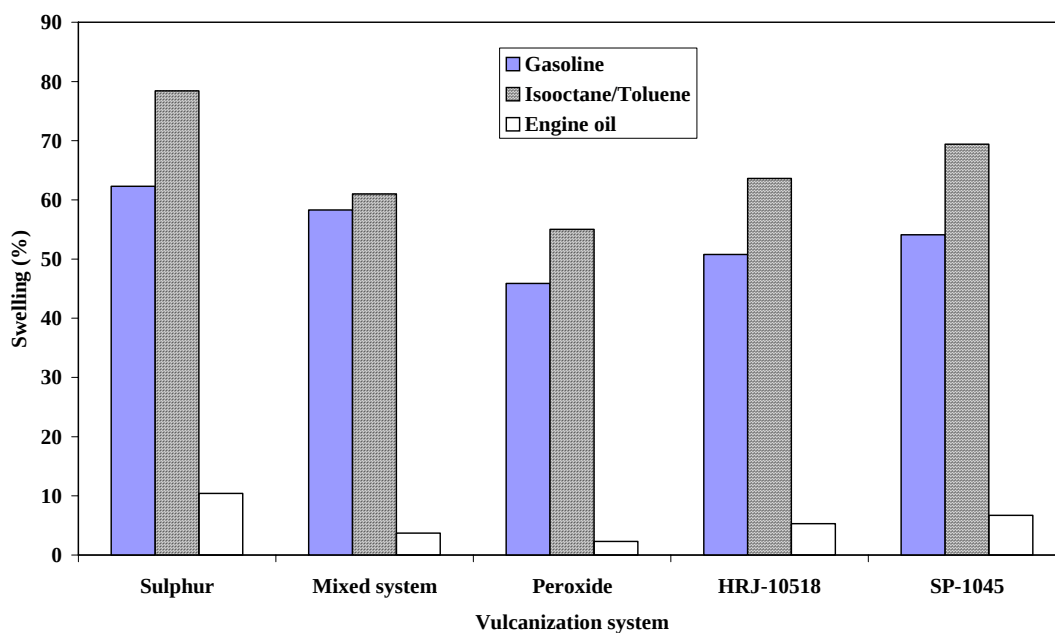
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณซิลิกาใน TPV แสดงดังในรูปที่ 57 โดยพบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกามีผลต่อการเพิ่มความแข็งของ TPVs ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำในรูปที่ 53 ดังนั้นจึงสามารถใช้สารตัวเติมทั้งสองชนิดนี้ในการปรับความแข็งและสมบัติเชิงกลอื่นๆของ TPVs ได้



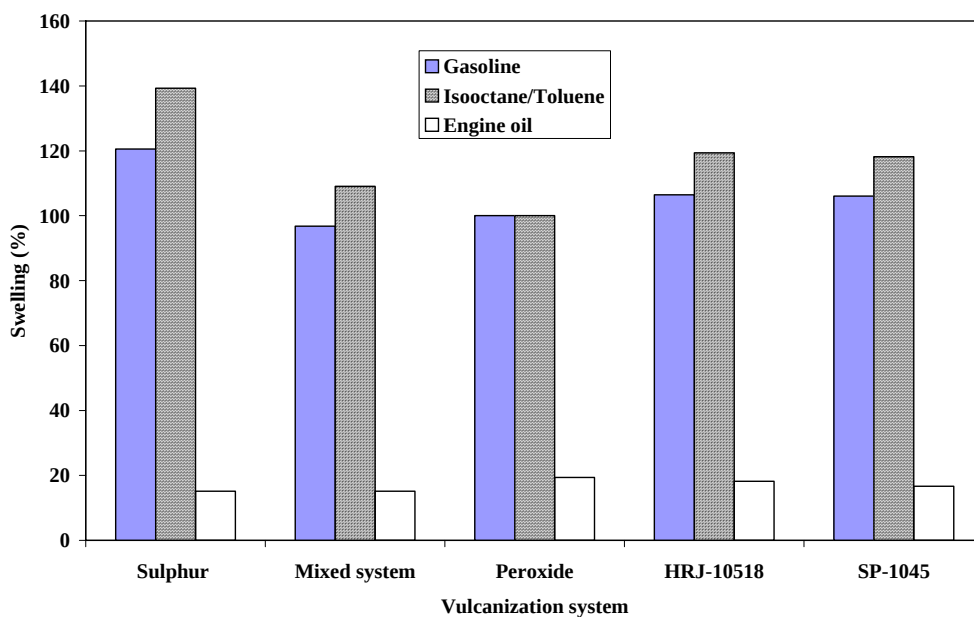
รูปที่ 57 ค่าความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยการแปรปริมาณซิลิกา

2.5.2.4 สมบัติความต้านทานต่อตัวทำละลาย

ทำการศึกษาความต้านทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistant) ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วน 60/40 ที่ผสม White oil ปริมาณ 20 phr ศึกษาโดยใช้ TPV ที่ได้จากการแปรระบบการวัลคาไนซ์ระบบต่างๆ โดยศึกษาระดับการบวมพอง (swelling degree) ตามวิธีการในมาตรฐาน ASTM D471 (2000) แต่ดัดแปลงโดยเลือกใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 น้ำมันเบนซิน (gasoline) และน้ำมันเครื่อง 4 จังหวะ (engine oil) ตามวิธีการทดลองที่ 3.6.5 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 58 ในกรณี TPV(OENR/HDPE) และรูปที่ 59 กรณี TPV (OENR/LLDPE)



รูปที่ 58 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 ร่วมกับ White oil ที่ปริมาณ 20 phr โดยแปรรูประบบการวัลคาไนซ์

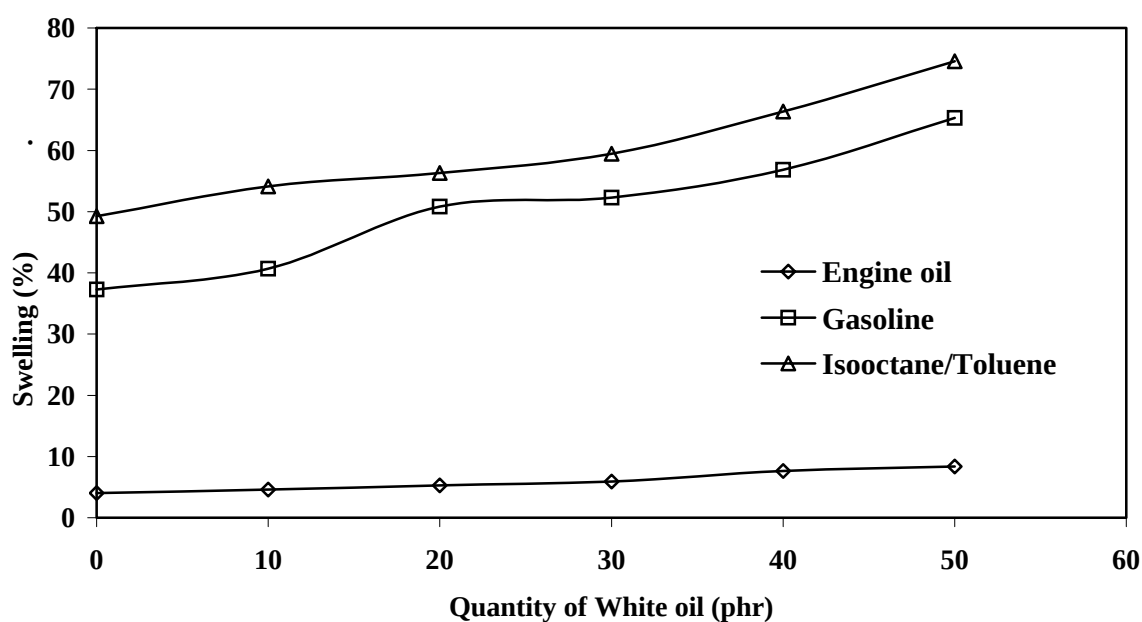


รูปที่ 59 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/LLDPE ที่อัตราส่วน 60/40 ร่วมกับ White oil ที่ปริมาณ 20 phr โดยแปรรูประบบการวัลคาไนซ์

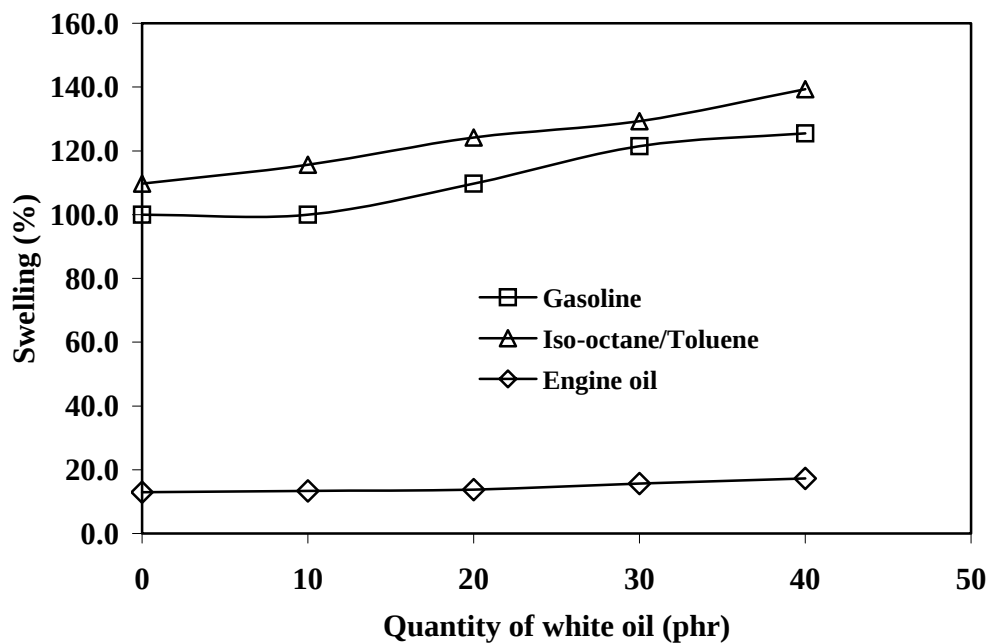
จากรูปที่ 58 และ 59 พบว่า TPVs ทั้งสองชนิดมีระดับการบวมพองในสารละลายผสมของ ไอโซออกเทน/โทลูอินสูงที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันเบนซิน และมีการบวมพองในน้ำมันเครื่อง

ต่ำที่สุดแสดงว่า TPVs ทั้งสองชนิดมีสมบัติด้านทนต่อน้ำมันเครื่องดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากระบบเปอร์ออกไซด์ จะมีระดับการบวมพองต่ำที่สุด คือมีความต้านทานต่อตัวทำละลายได้ดีที่สุดในตัวทำละลายทั้งสามชนิด ที่ทำการทดสอบ รองลงมาคือระบบผสม ระบบฟีนอลิก (HRJ-10518) ระบบฟีนอลิก (SP-1045) และระบบกำมะถัน ตามลำดับ ดังนั้นระบบกำมะถันจะมีสมบัติด้านความต้านทานต่อตัวทำละลายที่แย่ที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากลักษณะของพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบการวัลคาไนซ์ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว โดยระบบเปอร์ออกไซด์จะมีความแข็งแรงของพันธะสูงสุดจึงเกิดการบวมพองได้น้อยกว่า ส่วนระบบกำมะถันนั้นมีความแข็งแรงของพันธะน้อยสุดจึงทำให้มีความต้านทานต่อตัวทำละลายได้น้อยสุด นอกจากนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลายของตัวทำละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน เนื่องจากการที่ยางธรรมชาติมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วนจึงทำให้ยางธรรมชาติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียม โดยพบว่าน้ำมันเครื่องสี่จังหวะจะให้ค่าการบวมพองน้อยสุดและค่าการบวมพองจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันน้ำมันเบนซินและสารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 ตามลำดับ

ศึกษาความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/PE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณ White oil ที่ปริมาณต่างๆ โดยวัดระดับการบวมพอง โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเครื่อง 4 จังหวะ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 60 ในกรณี TPV(OENR/HDPE) และรูปที่ 61 กรณี TPV (OENR/LLDPE)



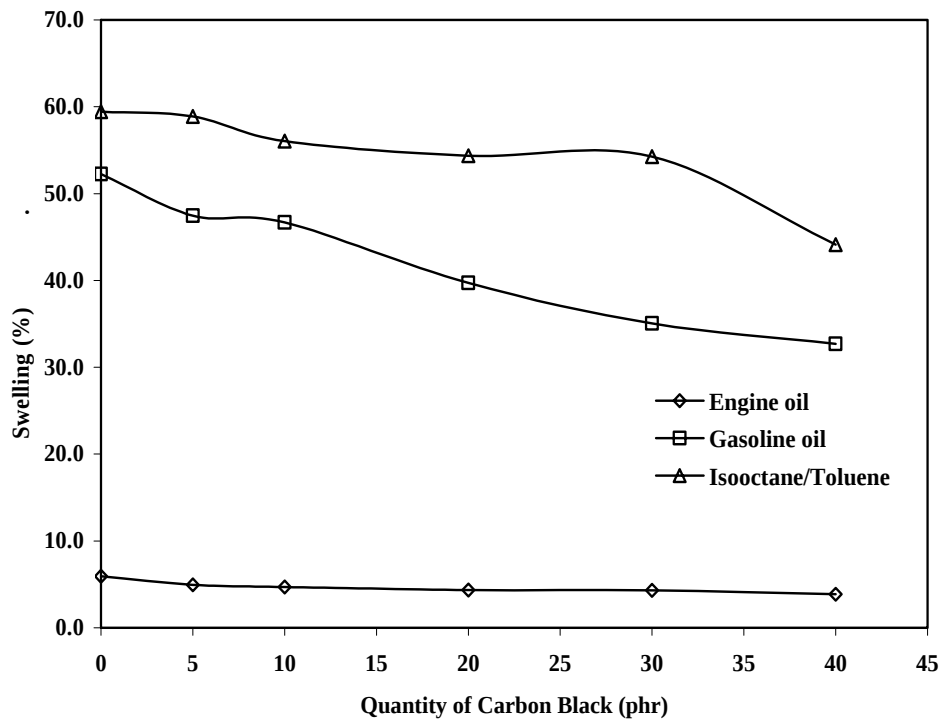
รูปที่ 60 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณ White oil



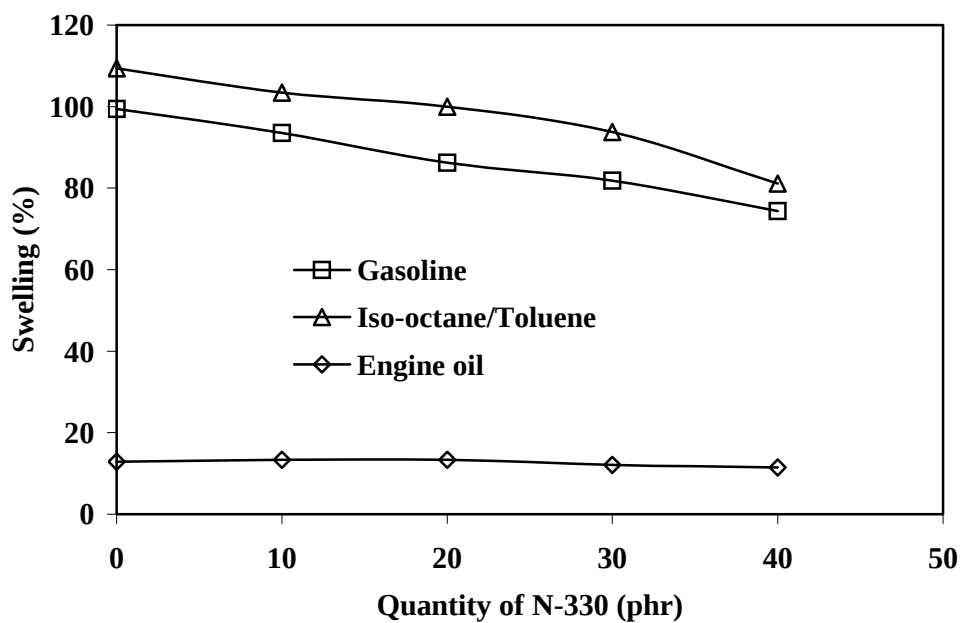
รูปที่ 61 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ NR/LLDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์เท่ากับ 60/40 โดยใช้การเบลนด์แบบปกติ โดยแปรปริมาณของน้ำมัน white oil ที่ปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 60 และ 61 พบว่าความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะลดลง (การบวมพองเพิ่มขึ้น) ตามการเพิ่มปริมาณน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันที่อยู่ใน TPVs สามารถถูกสกัดออกโดยตัวทำละลายทำให้ TPVs สูญเสียสมบัติ และแนวโน้มความต้านทานต่อตัวทำละลายของตัวทำละลายยังเหมือนเดิม คือ มีความต้านทานต่อน้ำมันเครื่องดีที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันเบนซินและสารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ตามลำดับ หากเปรียบเทียบความต้านทานต่อตัวทำละลายระหว่าง TPVs ที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนทั้งสองชนิด พบว่า HDPE จะให้สมบัติด้านความต้านทานต่อตัวทำละลายที่ดีกว่า

ความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณส่วนผสมที่ปริมาณต่างๆ ในรูปแบบระดับการบวมพอง ในตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเครื่อง 4 จังหวะ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 62 ในกรณี TPV(OENR/HDPE) และรูปที่ 63 กรณี TPV (OENR/LLDPE) พบว่าความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (มีการบวมพองน้อยลง) เมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสม เนื่องจาก การผสมส่วนผสมจะส่งผลให้ความเป็นขั้วของระบบเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้มีความทนทานต่อตัวทำละลายไม่มีขั้วจะดีขึ้น โดยพบว่าน้ำมันเครื่องสี่จังหวะจะให้ค่าการบวมพองน้อยสุดและค่าการบวมพองจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันน้ำมันเบนซินและสารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 ตามลำดับ

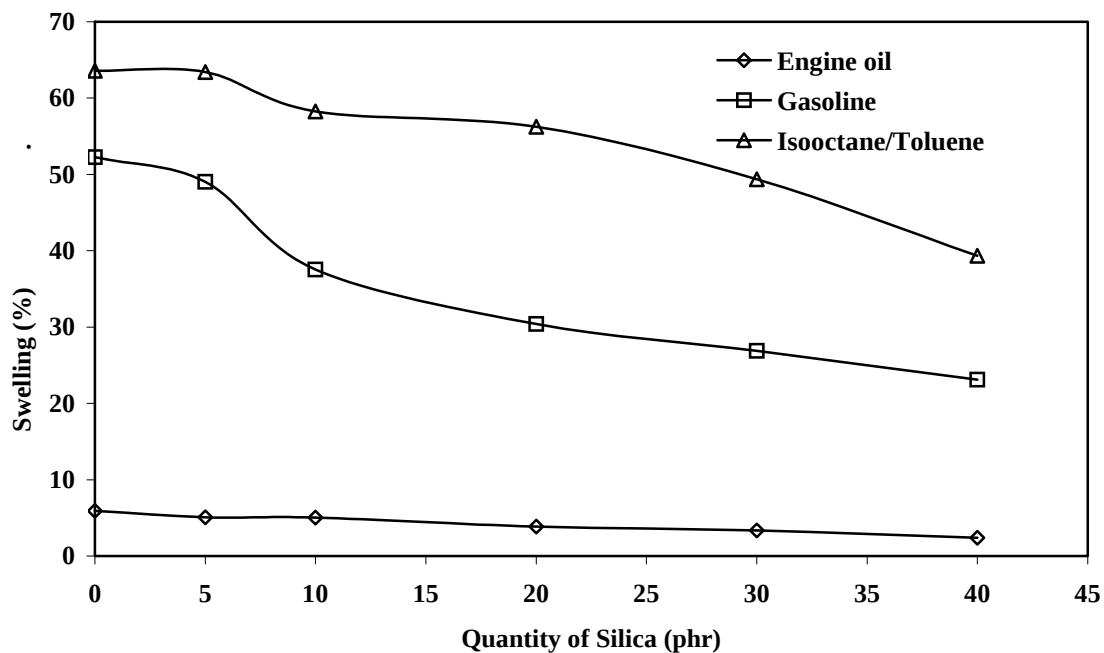


รูปที่ 62 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณเขม่าดำ ที่ปริมาณต่างๆ



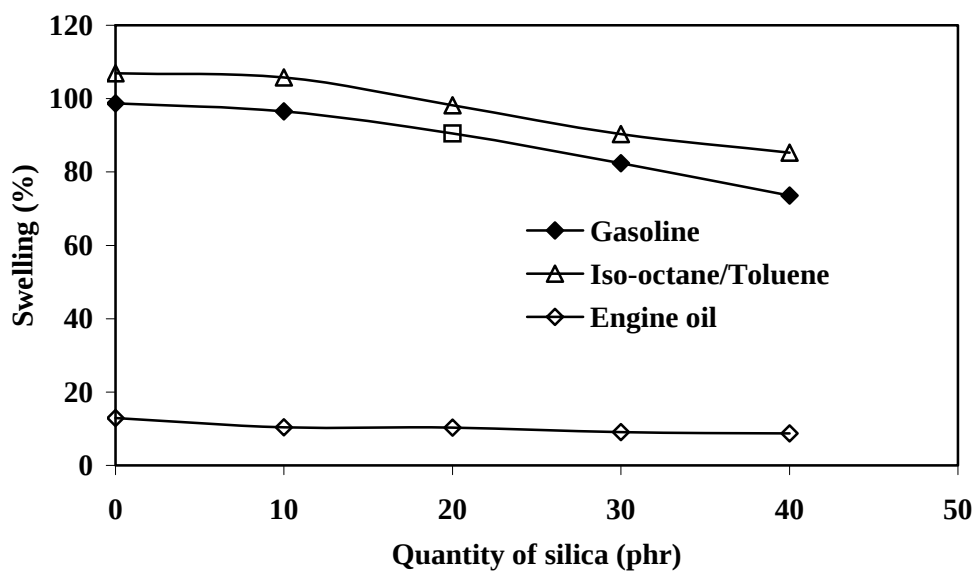
รูปที่ 63 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/LLDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณเขม่าดำ ที่ปริมาณต่างๆ

ความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณซิลิกาในรูปแบบระดับการบวมพอง ในตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ สารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน ในอัตราส่วน 50:50 น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเครื่อง 4 จังหวะ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 64 ในกรณี TPV(OENR/HDPE) และรูปที่ 65 กรณี TPV (OENR/LLDPE)



รูปที่ 64 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณซิลิกาที่ปริมาณต่างๆ

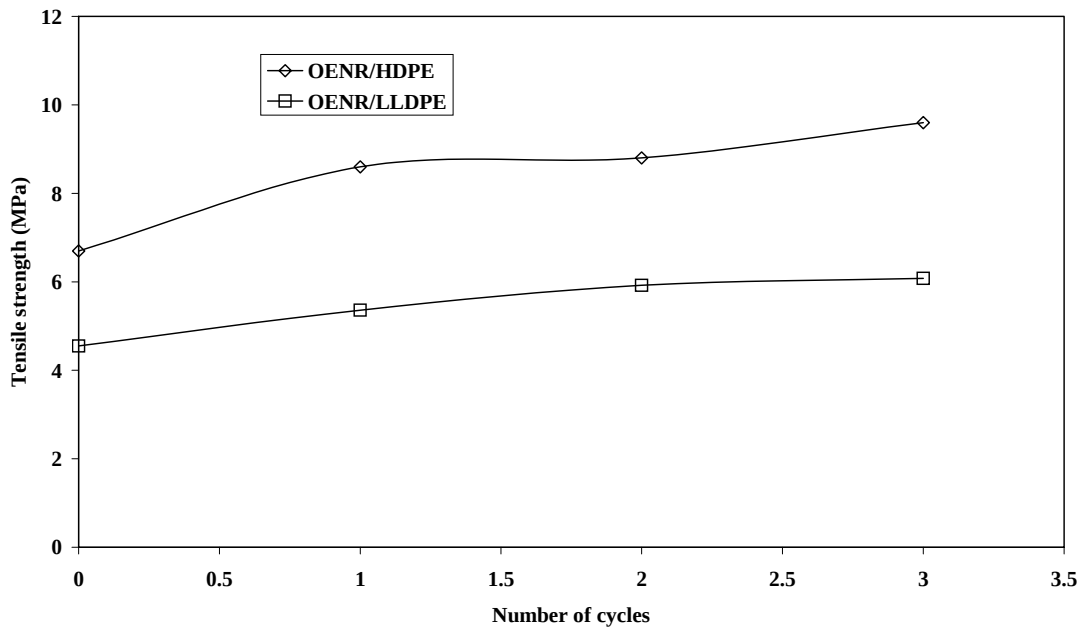
จากรูป 64 และ 65 พบว่าความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (มีการบวมพองน้อยลง) เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณเขม่าดำ ซึ่งซิลิกาเป็นสารที่มีสภาพขั้วจึงส่งผลให้มีความทนทานต่อตัวทำละลายไม่มีขั้วจะดีขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 65 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เตรียมจากการเบลนด์ NR/LLDPE ที่อัตราส่วน 60/40 โดยแปรปริมาณซิลิกาที่ปริมาณต่างๆ

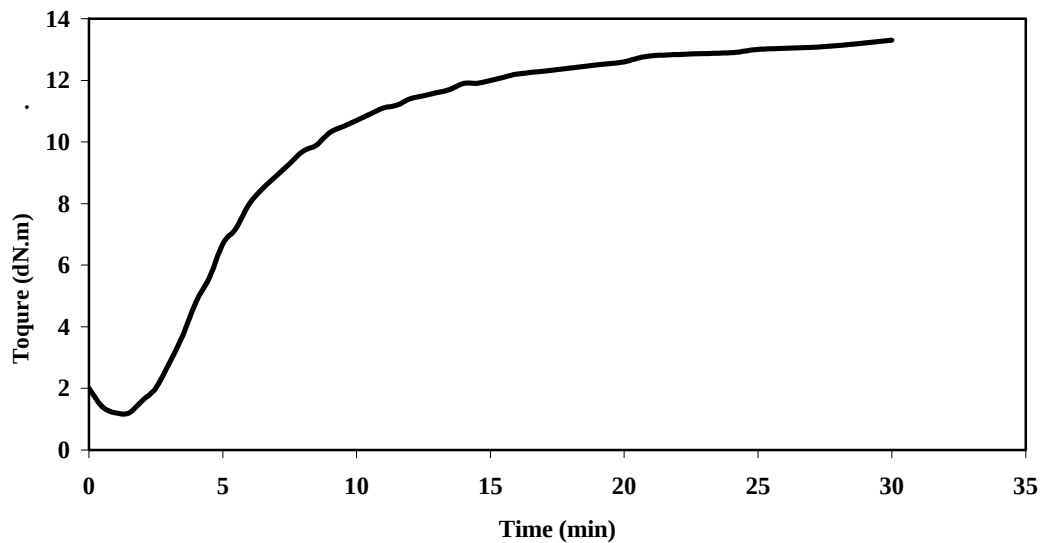
2.5.2.5 การศึกษาการรีไซเคิลของ TPVs

นำชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการฉีดเข้าเบ้า ที่ใช้ปริมาณน้ำมัน white oil = 20 phr ทำการบดด้วยเครื่องบดพลาสติก แล้วทำการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็งและความสามารถในการคืนรูป โดยทำการบดและฉีดใหม่จำนวน 3 รอบ ได้ผลการทดลองค่าความต้านทานต่อแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 66



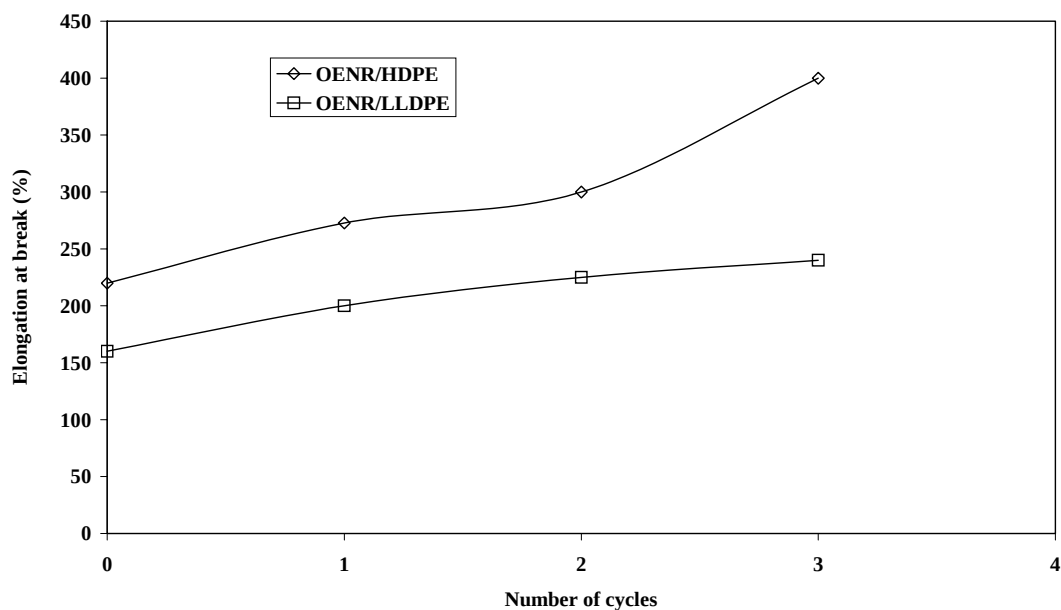
รูปที่ 66 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 3 รอบ

จากรูปที่ 66 จะเห็นได้ว่าสมบัติค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มตามจำนวนรอบของการแปรรูปใหม่ ซึ่งความเป็นจริงควรจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการบดแล้วหลอมใหม่เป็นการทำลายโครงสร้างพอลิเมอร์ เมื่อจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น สมบัติด้านความแข็งแรงของโครงสร้างควรจะมีแนวโน้มลดลง แต่ในการทดลองนี้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าอาจจะมีผลมาจากการเกิดการวัลคาไนส์ต่อจากการแปรรูปในแต่ละรอบที่ใช้อุณหภูมิ 190°C เนื่องจากถ้าสังเกตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลา (ODR curves) ของยางธรรมชาติ (ADS) ที่วัลคาไนส์ด้วยระบบฟีนอลิก (HRJ-10518) พบว่าสารวัลคาไนส์ชนิดนี้จะให้การวัลคาไนส์ที่มีลักษณะที่เป็นมาซซิง (Marching) ดังแสดงในรูปที่ 67 ดังนั้นการให้ความร้อนต่อจึงมีผลให้เกิดปฏิกิริยาต่อ พร้อมๆกับการทำลายโครงสร้างเนื่องจากความร้อนและแรงเฉือน แต่ในกรณีนี้การเกิดการเชื่อมโยงต่อมีอิทธิพลสูงกว่าการทำลายโครงสร้างจึงพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มจำนวนรอบของการแปรรูปใหม่



รูปที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางธรรมชาติ (ADS) ซึ่งผสม white oil ที่ปริมาณ 20 phr จากการทดสอบด้วยเครื่อง ODR-100S ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้ระบบการวัดคาบในเชิงแบบพินอเล็ก (HRJ-10518)

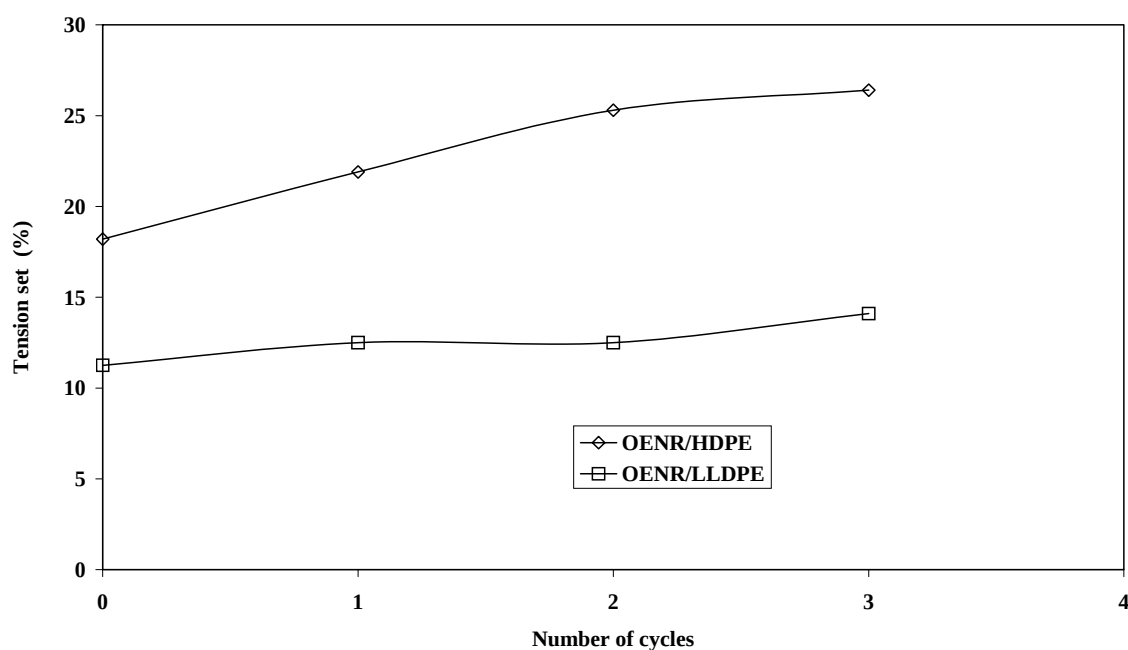
รูปที่ 68 แสดงความสามารถในการยืดของ TPVs ที่ผ่านการรีไซเคิล 3 รอบ



รูปที่ 68 ค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัดคาบในเชิงแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 3 รอบ

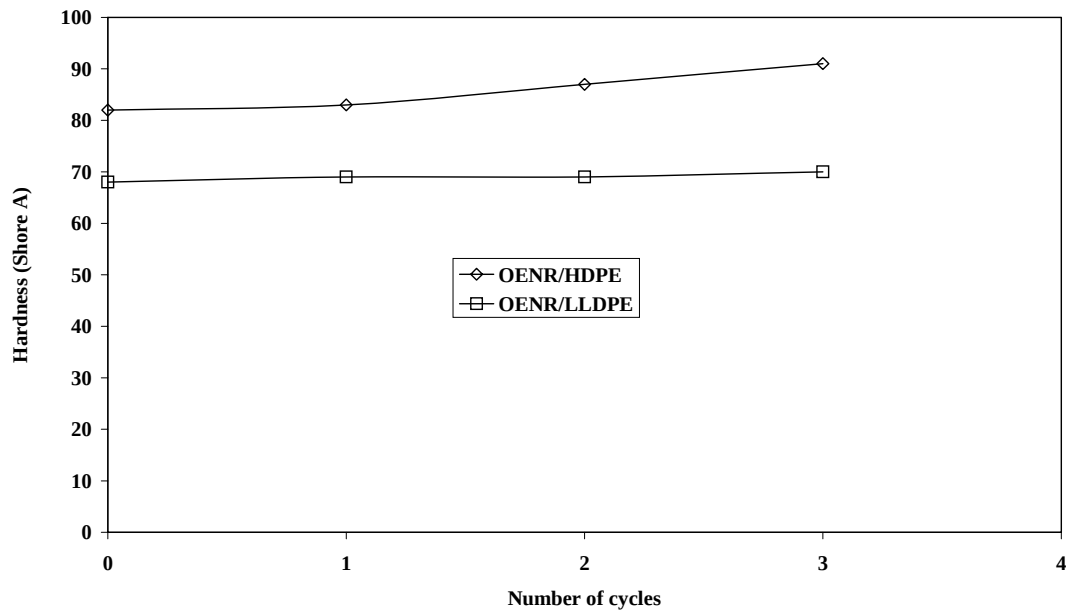
จากรูปที่ 68 พบว่าความสามารถในการยืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดการวัลคาไนซ์ต่อ ซึ่งน่าจะมีอิทธิพลเหนือการเสื่อมเนื่องจากความร้อนและแรงเฉือนเชิงกล

รูปที่ 69 แสดงความสามารถในการคืนรูปของ TPVs ที่ผ่านการแปรรูป 3 รอบ พบว่าค่าความสามารถในการคืนรูปมีแนวโน้มลดลง (กล่าวคือ ค่า tension set มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น) แม้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้น แต่การขาดของโซ่โมเลกุลเนื่องจากการผ่านกระบวนการบดแล้วแปรรูปใหม่ทำให้ TPVs สูญเสียสมบัติการเป็นอีลาสติคไปเล็กน้อย



รูปที่ 69 ค่าความสามารถในการคืนรูปของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกซ์ของการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่จำนวน 3 รอบ

กราฟระหว่างค่าความแข็งกับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังรูปที่ 70 พบว่าความแข็งของ TPVs ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นในขณะแปรรูปเพิ่มเติม



รูปที่ 70 ค่าความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ของการเบลนด์ NR/HDPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 3 รอบ

2.6 สรุปผลการทดลอง

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์อย่างธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน 2 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยใช้เทคนิคการเบลนด์ 2 เทคนิค คือ เทคนิคการเบลนด์แบบปกติ และการเบลนด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

1. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยวิธีการเบลนด์แบบปกติ จากการเบลนด์ OENR/HDPE และ OENR/LLDPE
 - แปรอัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 และ 70/40 พบว่าที่อัตราส่วน 60/40 ให้ลักษณะวิทยาแบบเฟสรวม (co-continuous phase morphology) ดังนั้นจึงโดยใช้อัตราส่วน NR/PE = 60/40 ตลอดงานวิจัยนี้
 - ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากัน 3 ชนิด คือ Ph-HDPE, SP-1045 และ HRJ-10518 พบว่าการใช้ฟีนอลิกเรซิน (HRJ-10518) จะให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติดีที่สุด
 - ศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำมันโดยการแปรน้ำมันชนิดต่างๆ โดยเตรียม TPE ที่อัตราส่วนการเบลนด์ PE/NR = 60/40 โดยใช้ HRJ-10518 เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ใช้ในปริมาณเท่ากัน 20 phr ชนิดน้ำมันที่ศึกษา คือ white oil น้ำมันพาราฟินิก

น้ำมันเนฟทานิก น้ำมันอพอกซีไคซ์ และไดออกทิลพระทาเลต พบว่า white oil ให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีสมบัติดีที่สุดจึงเลือกใช้ตลอดงานวิจัยนี้

- หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของปริมาณ white oil ต่อสมบัติเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืด ความแข็งมีแนวโน้มลดลง แต่ให้ความสามารถในการยืดและความเป็นอีลาสโตเมอร์สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณน้ำมันที่ 20 phr คือปริมาณที่ให้ TPE ที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุด
- ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิดคือ เชม่าดำ และซิลิกา พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเหนียว และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดและความเป็นอีลาสโตเมอร์ลดลง

2. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์โดยการเบลนด้วยธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนที่

อัตราส่วนการเบลนด์ NR/PE = 60/40 โดยใช้กระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์

- ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการวัลคาไนเซชัน โดยแปรระบบ คือระบบกัมมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ ระบบผสม (กัมมะถันและเปอร์ออกไซด์) และระบบฟีนอลิก (SP-1045 และ HRJ-10518) พบว่าระบบฟีนอลิก (HRJ-10518) ให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติดีที่สุด
- หลังจากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลปริมาณน้ำมัน white oil ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ เนื่องจากการมีฐานวิทยาที่แตกต่างจาก TPE แต่ผลการทดลองพบว่า จะให้ผลในทำนองเดียวกับกรณีเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยเทคนิคจากการเบลนด์แบบปกติ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันจะส่งผลต่อแนวโน้มการลดความต้านทานต่อแรงดึง ความหนืดเหนียว และความแข็ง
- อิทธิพลของสารตัวเติมสองชนิด คือซิลิกาและเชม่าดำ ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมทั้งสองจะส่งผลให้เพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความเหนียว ความหนืดเหนียว และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ลดค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์
- TPVs ทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อน้ำมันเครื่องดี แต่ไม่ทนทานต่อสารละลายผสมของโทลูอีนกับไอโซออกเทน และน้ำมันเบนซิน
- การบดแล้วแปรรูปใหม่ จำนวน 3 รอบ มีผลทำให้ TPVs มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดการวัลคาไนซ์ต่อจากการที่ระบบฟีนอลิกมีกราฟการวัลคาไนซ์แบบมาซซิง ที่ใช้มีการเชื่อมโยงเพิ่มเติมที่อุณหภูมิการแปรรูป แต่ TPVs ที่ได้มีความสามารถในการคืนรูปลดลง

2.7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นับเป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติเป็นยางที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิการใช้งานและสามารถแปรรูปโดยใช้กระบวนการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก โดยใช้ยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบที่ให้สมบัติความเป็นยาง ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุในกลุ่มนี้จะใช้ยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆเป็นตัวให้สมบัติความเป็นยาง จากผลการวิจัยพบว่า TPE และ TPV ที่ได้จากการเบลนด์ NR/PE จากงานวิจัยนี้ มีสมบัติเชิงกล ความต้านทานต่อตัวทำละลาย และสมบัติการไหลดี โดยเฉพาะที่เตรียมจาก NR/HDPE ดังนั้นจึงน่าที่จะมีศักยภาพในการต่อยอดในการผลิตชิ้นส่วนยางในอุตสาหกรรมรถยนต์ เช่น ข้อต่อ ท่อต่างๆ เช่น ท่อไอดี และท่อครอบสปริงกันสะเทือน นอกจากนี้สามารถผลิตของใช้ประจำวัน เช่น ค้ำแปลงสีฟัน ที่จับค้ำปากกา หรืออุปกรณ์กีฬา เช่น ลูกตะกร้อ เป็นต้น หากอุตสาหกรรมสนใจที่จะต่อยอดการผลิตวัสดุในกลุ่มนี้ ทีมวิจัยก็มีความพร้อมในการพัฒนากระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และกระบวนการของโรงงานนั้นๆได้

2.8. เอกสารอ้างอิง

- กรุงจิตต์ นวลสมศรี. (2548). เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ยางธรรมชาติกับ LLDPE และ HDPE. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2526. โพลีเมอร์เชิงพาณิชย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- พรพรรณ นิธิอุทัย.(2528). สารเคมีสำหรับยาง.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภูริพงศ์ วรรณวิไล. (2548). การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เบลนด์กับพอลิโพรไพลีน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุกัลญา แจมจินโน. (2548). การเบลนด์ยางธรรมชาติกับ LLDPE และ HDPE . วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Annual Book of ASTM D412-98a. 2000. *Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer-Tension*. Section 9: Rubber. Volume 09:01. Rubber, Natural and Synthetic General Test Method, Carbon Black.
- Annual Book of ASTM D 471-98. 2000. *Standard Test Method for Rubber Property-Effect of Liquids*. Section 9: Rubber. Volume 09:01. Rubber, Natural and Synthetic General Test method; Carbon black.
- Annual Book of ASTM D2240-97. 2000. *Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness*. Section 9: Rubber. Volume 09:01. Rubber, Natural and Synthetic General Test Method, Carbon Black.
- Annual Book of ASTM D3184-89. 2000. *Standard Test Method for Rubber Evaluation of Natural Rubber*. Section 9: Rubber. Volume 09:01. Rubber, Natural and Synthetic General Test Method, Carbon Black.
- Choudhury, N.R. and Bhowmick, A.K. 1989. *Compatibilization of Natural Rubber-Polyolefin Thermoplastic Elastomeric Blends by Phase Modification*. J. Appl. Polym. Sci. 38, 1091-1109.
- Chandra, R., Mishra, S. and Parida, T.R. 1995. *Studies on Dynamic Behaviour and Flow Properties of HDPE/EPDM Blends by Torque Rheometer*. Polym. Int. 37, 141-147.
- Datta, S., Bhattacharya, A.K. and Mohd. Ishak, Z.A. 1996 . Reinforcement of EPDM-based ionic thermoplastic elastomer by precipitated silica filler. Polymer , 12: 2581-2585.
- D'orazio, L., Mancarella, C., Martuscelli, E., Sticotti, G. and Ghisellini, R. 1994. *Thermoplastic Elastomers from iPP/EPR Blends: Crystallization and Phase Structure Development*. J. Appl. Polym. Sci. 53, 387-404.
- George, J., Joseph, R., Thomas, S. and Varughese, K.T. 1995a. *High Density Polyethylene/Acrylonitrile Butadiene Rubber Blends: Morphology, Mechanical Properties, and Compatibilization*. J. Appl. Polym. Sci. 57, 449-465.
- George, S., Joseph, R., Thomas, S. and Varughese, K.T. 1995b. *Blends of Isotactic Polypropylene and Nitrile Rubber: Morphology, Mechanical Properties and Compatibilization*. Polymer. 36, 4405-4416.
- George, S., Joseph, R. and Thomas, S., 1999. *Blends of Isotactic Polypropylene and Nitrile Rubber: Morphology, Mechanical Properties and Compatibilization*. Polymer. 36, 4405-4416.

- Goharpey F., Katbab A.A. and Nazockdast H, 2001. *Mechanism of Morphology Development in Dynamically Cured EPDM/PP TPEs. I. Effect of State of Cure*. J. Appl. Polym. Sci. 81, 2531-2544.
- Hofmann, (1989). Rubber Technology Handbook. Hanser Puliusschers.Munich. p21.
- Holden, G. 2000. *Understanding Thermoplastic Elastomers*. Hanser Publishers, Munich, 9-72
- Ishiaku, U.S., Shaharum, A., Ismail, H. and Mohd. Ishak, Z.A. 1997. The Eeffect of an Epoxidized Plasticizer on the thermo-oxidative Ageing of Poly(vinyl chloride)/Epoxidized Natural Rubber Thermoplastic Elastomer. Polymer International, 45: 83-91.
- Ismail, H., Salmah. and Nasir, M. 2001. *Dynamic Vulcanization of Rubberwood-Filled Poypropylene/Natural Rubber Blends*. Polym. Test. 20, 819-823.
- John, B., Varughese, K.T., Oommen, Z., Potscke, P. and Thomas, S. 2003. *Dynamic Mechanical Behaviour of High-Density Polyethylene/Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Blends: The Effects of the Blend Ratio, Reactive Compatibilization, and Dynamic Vulcanization*. J. Appl. Polym. Sci. 87, 2083-2099.
- Katbab , A.A., Nazockdast, H. and Bazgir, S. 1999. Carbon Black-Reinforced Dynamically Cured EPDM/PP Thermoplastic Elastomers. I. Morphology, Rheology, and Dynamic Mechanical Properties. J . Appl.polym. Sci., 75:1127-1137.
- Moly, K.A., Oommen, Z., Bhagawan, S.S., Groeninckx, G. and Thomas, S. 2002. *Melt Rheology and Morphology of LLDPE/EVA Blends: Effect of Blend Ratio, Compatibilization, and Dynamic Crosslinking*. J. Appl. Polym. Sci. 86, 3210-3225.
- Nakason, C., Nuansomsri, K., Kaesaman, A. and Kiatkamjornwong, S. 2006a. *Dynamic Vulcanization of Natural Rubber/High-Density Polyethylene Blends: Effect of Compatibilization, Blend Ratio and Curing System*. Polym. Test. 25, 782-796.
- Sahrim, A., Ibrahim, A., Sulaiman, C.S., Kohjiya, S. and Yoon, J.R. 1994. *Natural Rubber-HDPE Blends with Liquid Natural Rubber as a Compatibilizer. I. Thermal and Mechanical Properties*. J. Appl. Polym. Sci. 51, 1357-1363.
- Sengers , W.G.F., Wubbenhorst, M., Picken , S.J. and Gotsis , A.D. 2005. Distribution of oil in olefinic thermoplastic elastomer blends. Polymer, 46: 6391-6401.
- Winters, R., Lugtenburg, J., Litvinov, V.M., van Duin, M. and de Groot, H.J.M. 2001. Solid state ^{13}C NMR spectroscopy on EPDM/PP/oil based thermoplastic vulcanizates in the melt. Polymer, 43:9745-9752.
- Yamauchia, K., Akasakaa, S., Hasegawaa, H., Koizumib, S., Deeprasertkulc, C., Laokijcharoend, P., Chamchange, J. and Kornduangkaeoe, A., 2005. Structural study of natural rubber thermoplastic elastomers and their composites with carbon black by small-angle neutron scattering and transmission electron microscopy, Composites, 34:423-429