



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

โดย รศ.ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ และคณะ

ตุลาคม 2553

สัญญาเลขที่ RDG5150047

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

คณะผู้วิจัย สังกัด

- รศ.ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
- นางสาวชัชพร เข้มอุ่ม วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Dynamic vulcanization of Fluoroelastomer and Natural Rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อหัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. รัตนวรรณ มกรพันธุ์

หน่วยงาน

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่

ช. จุฬาฯ 12 ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์/โทรสาร 02-2184117 / 02-2154459

E-mail Rathanawan.k@chula.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย น.ส. ชมัยพร เข้มอุ่น

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 7 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 7 เมษายน 2552

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

เนื่องจากความพยายามลดภาวะโลกร้อนและวิกฤตราคาน้ำมันแพง ทำให้ประเทศไทยให้ความสำคัญกับการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์มากขึ้นซึ่งมีทั้ง ชนิด gasohol 95, 91 E20 และในอนาคต E85 ทั้งนี้รัฐบาลมุ่งรณรงค์ให้ประชาชนหันมาใช้พลังงานทดแทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยไม่ได้ให้คำแนะนำในด้านวัสดุเครื่องยนต์ว่าจะใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเป็นขี้หรือมีความเป็นตัวทำลายมากขึ้นได้หรือไม่อย่างไร ปัญหานี้เราทราบดีว่าเครื่องยนต์จะรุนแรงมากขึ้นเมื่อปริมาณเอทานอลในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีมากขึ้นเช่นใน E 20 และวัสดุที่อ่อนแอที่สุดที่จะได้รับผลกระทบก่อนก็คือชิ้นส่วนยานยนต์ในระบบขนส่งน้ำมันที่ทำจากยาง

ปัญหาวิจัยก็คือการทำยางเพื่อเป็นวัสดุยานยนต์ที่ทนแก๊สโซฮอล์ได้มากขึ้น นั่นคือการทำใหยางทนสารเคมีมากขึ้นทั้งในภาวะปกติและภาวะอุณหภูมิสูง โดยมีการใช้ยางธรรมชาติร่วมด้วยเพื่อเพิ่มมูลค่ายางพารา (NR) และลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ได้ นั่นคือการเตรียมยางผสมระหว่างยางทนสารเคมีซึ่งก็คือยางฟลูออโร(FKM)และยางพาราที่ทนขี้ได้ดี เท่านั้นยังไม่พอ ยังต้องลดโอกาสยางผสมสัมผัสกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยตรงด้วยการฝังในเนื้อพอลิเมอร์ที่ละลายยาก ก็คือพลาสติกกึ่งผลึก พลาสติกยังช่วยให้สมบัติการไหลดีขึ้นรูปง่าย ในที่นี้จึงเลือก high density polyethylene (HDPE) ที่ทนความร้อนสูงและสามารถก่อโครงสร้างร่างแหเชื่อมขวางได้ในภาวะที่มิเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้มันเ็นใจมากขึ้นว่าโอกาสการละลายหรือเสีขรูปจะลดลงไปอีก แต่ก็ต้องเลือกสภาวะผสมที่ดีเพื่อให้การไหลขึ้นรูปเป็นไปได้ดีด้วย จึงนำไปสู่วิธีการผสมคงรูปแบบพลวัตโดยใช้สารคงรูปเป็นเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น thermoplastic elastomer (TPE) หรือthermoplastic vulcanizate (TPV) เท่านั้นยังไม่พอ ได้เพิ่มเติมการศึกษาการนำ organoclay ซึ่งปกติจะเพิ่มให้สารที่ผสมเข้าด้วยกันมี barrier property ที่ดี จึงคาดว่าน่าจะเสริมให้การต้านทานน้ำมันและเอทานอลของยางผสม TPV ดีขึ้นอีก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการคงรูปและการทนน้ำมันของยางฟลูออโรที่มีส่วนผสมของยางพาราที่สัดส่วนต่างๆ และเตรียมโดยการวัลคาไนซ์แบบพลวัต

ผลการดำเนินงาน

วิธีการ กำหนดสูตรผสมให้มี HDPE 30 wt% และปรับสัดส่วนยางฟลูออโรกับยางธรรมชาติ ในช่วง 10 15 20 35 wt% NR หาอุณหภูมิการผสมที่เหมาะสม เลือกยางฟลูออโรชนิดใช้สารเปอร์ออกไซด์เป็นสารคงรูป คือ Viton F600S หาอุณหภูมิการผสมที่เหมาะสมในช่วง 150-190°C โดยใช้รอบคงที่ 50 rpm แล้วจึงนำไปทดสอบการคงรูป นำยางผสม TPE ที่

เตรียมได้ไปอัดคงรูปเป็นแผ่นที่ 180 °C โดย compression molding แล้วนำแผ่นไปตัดชิ้นทดสอบทางกล และการทนน้ำมัน ชนิดต่างๆที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง(100 °C 7 วัน) นอกจากนี้ยังได้นำ organoclay ผสมในยางผสมทั้ง 4 สูตร และทดสอบเช่นเดียวกันทั้งหมดด้วย

ผลวิจัยและวิจารณ์ผลตามวัตถุประสงค์ พบว่าอุณหภูมิผสมสูตรยางในเครื่องผสมแบบภายในที่ดีคือ 150 °C ซึ่งผลของการคงรูปของยางผสมที่ได้นี้หากทำต่อไปที่ 150 °C จะต้องใช้เวลาคงรูปนานกว่าที่ 180 °C เป็น 10 เท่า จึงนำยางผสมไปอบขึ้นรูปที่ 180 °C แล้วทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าสูตร HDPE/FKM/NR 30/60/10 wt% มีความแข็งแรงดึง 11 MPa การทนการยืดจนขาด 150% ความแข็งแรงด้านการฉีกขาด 45 MPa ความแข็ง shore A 90 และสามารถทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95, 91 และ E20 ที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด (บวม 1.1% หรือบวมเพิ่มขึ้น 0.1%) และยังสามารถทนไปโอดีเซล B5 ได้พอๆกันด้วย เมื่อวัดการบวมที่ 10 °C แสดงการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 % เฉพาะใน E20 การบวมเพิ่มเป็น 0.45 % สูตรนี้สามารถลดต้นทุนได้ 25 % เมื่อผสม organoclay ลงในยางผสม ทำให้สมบัติเชิงกล(ความแข็งแรงดึงและการทนการยืดจนขาด)ลดลงราว 40% แต่ความแข็งและความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลงไม่เกิน 10% สามารถเพิ่มการทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และไปโอดีเซล B5 ได้ดีขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงและเมื่อมีปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณยางจนถึง 35 wt% สมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันด้อยลงคือความแข็งแรงดึงลดลงประมาณ 28 % ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลง 20% และความแข็งลดลงเล็กน้อยราว 5% แสดงการบวมในแก๊สโซฮอล์ E20 และ B5 ราว 0.5% แต่ที่อุณหภูมิสูงจะบวมเพิ่มเป็น 0.7% ส่วนการทนแรงยืดจนขาดเพิ่มขึ้น 33% โดยเฉพาะในกรณีที่เติม organoclay ยืดได้เพิ่มกว่า 2 เท่า และสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบลงได้ราว 50%

สรุปผลการวิจัย

สามารถใช้เทคนิคการผสมแบบพลวัตโดยการผสม FKM, NR กับ HDPE เพื่อให้ได้ยางผสม TPV ที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย โดยการผสมในเครื่องผสมแบบภายในที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิคงรูปที่เหมาะสมซึ่งจะใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูปพร้อมการคงรูปให้สมบูรณ์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางผสม TPV ที่มีความแข็งแรง และทนน้ำมันได้ทั้งแก๊สโซฮอล์ E20 และไปโอดีเซล โดยเฉพาะในสูตรที่มี NR น้อย (10 %) อย่างไรก็ตาม สูตรผสมที่มียางเพิ่มขึ้นจนถึง 35 wt% ก็ยังแสดงผลการบวมเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1% ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง และ organoclay ช่วยให้ทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 และ B5 ได้ดีขึ้น วิธีนี้ทำให้ลดต้นทุนได้ 25-50% ตามปริมาณ NR ที่เติมจนถึง 35 wt%

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

การทดลองใช้ยางมีข้อจำกัดอื่นเช่นยางคลอโรซัลไฟเนตพอลิเอทิลีนหรือ Hypalon® ซึ่งมีราคาถูกกว่ายางฟลูออโร อาจศึกษาเพิ่มเติมเรื่องชนิดและปริมาณสารคงรูปที่เหมาะสม และผลของสารตัวเติมเสริมแรงชนิดอื่นๆ วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถนำไปปฏิบัติจริงในภาคอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ปะเก็น ชิล ยางได้ โดยต้องมีเครื่องผสมในช่วงอุณหภูมิและรอบการหมุนสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการทางพาราแห่งชาติ ในวันที่ 5-6 มิถุนายน 52
การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการนานาชาติ 1 เรื่อง

บทคัดย่อ

การผสมแบบพลวัตของยางฟลูออโร ยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพร้อมสารคงรูปสามารถทำได้ในเครื่องผสมแบบภายในที่อุณหภูมิ 150 °C และ 50 รอบต่อนาที และนำยางผสมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปคงรูปและขึ้นรูปต่อในเครื่องอัดรีดที่ 180 °C จะได้ผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซตที่มีรูปอสัณฐานเข้ากันได้ดี มีอนุภาคยางขนาดเล็กราว 1 ไมครอนกระจายในเนื้อพลาสติก การเปลี่ยนปริมาณยางฟลูออโรและยางธรรมชาติในสูตรผสมยางเป็น 60/10 55/15 50/20 และ 35/35 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณพอลิเอทิลีนคงที่เป็น 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ผลการคงรูปแสดงการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติมากทำให้แรงบิดจะลดลงและอัตราการคงรูป เวลาคงรูปก็จะลดลง การเติม organoclay ทำให้การคงรูปมีอัตราเร็วขึ้นและมีแรงบิดสูงขึ้นด้วย การเพิ่มอุณหภูมิคงรูปจาก 150 °C เป็น 180 °C ทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้นถึง 10 เท่า โดยที่มีค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดใกล้เคียงกัน ยางเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซตแสดงสมบัติเชิงกลที่ดี สำหรับสูตร HDPE/FKM/NR 30/60/10 wt% มีความแข็งแรงดึง 11 MPa การทนการยืดจนขาด 150% ความแข็งแรงด้านการฉีกขาด 45 MPa ความแข็ง shore A เป็น 90 สามารถทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 , 91 และ E20 ที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด (บวม 1.1 % หรือบวมเพิ่มขึ้น 0.1 %) และสามารถทนไบโอดีเซล B5 ได้ดี เมื่อวัดการบวมที่ 10 0°C แสดงการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 0.25% แต่เฉพาะใน E20 การบวมเพิ่มเป็น 0.45% สูตรนี้สามารถลดต้นทุนได้ 25 % เมื่อผสม organoclay ลงในยางผสม ทำให้สมบัติเชิงกล(ความแข็งแรงดึงและการทนการยืดจนขาด)ลดลงราว 40 % แต่ความแข็งและความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลงไม่เกิน 10 % สามารถเพิ่มการทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 และไบโอดีเซล B5 ได้ดีขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงและเมื่อมีปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณยางในสูตรจนถึง 35 wt% สมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันด้อยลงคือความแข็งแรงดึงลดลงประมาณ 28 % ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลง 20% และความแข็งลดลงเล็กน้อยราว 5% แสดงการบวมในแก๊สโซฮอล์ E20 และ B5 เพิ่มขึ้นถึง 50 % แต่ที่อุณหภูมิสูงจะบวมเพิ่มจนถึง 70 % ส่วนการทนแรงยืดจนขาดเพิ่มขึ้น 33 % โดยเฉพาะในกรณีที่เติม organoclay ยืดได้เพิ่มกว่า 2 เท่า และสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบลงได้ราว 50% เมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมตามสูตรที่ไม่มีสารคงรูปก็พบว่าสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล สมบัติการต้านแรงฉีกขาด และการทนน้ำมันทั้ง 4 ชนิดดีกว่าการผสมแบบพลวัต และสูตรที่มียาง 10 wt% แสดงสมบัติทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และไบโอดีเซลใกล้เคียงกับสูตรยางฟลูออโร(อย่างเดียว) มากที่สุด

ABSTRACT

Dynamic vulcanization of fluoroelastomer (FKM), natural rubber (NR) and high density polyethylene (HDPE) with vulcanizing agent was carried out in the internal mixer at temperature of 150°C and 50 rpm. The obtained thermoplastic elastomer was cured and formed by compression molding at 180°C. As a result, the product “thermoplastic vulcanizate” was obtained with well compatibilized morphology; the plastic particles of 1 micron size were distributed in rubber matrix where NR phase was distributed in FKM major phase. The content of FKM and NR in the formular was altered as 60/10, 55/15, 50/20, and 35/35 %wt while the HDPE content is constant at 30 %wt. According to the cure results, as the NR content increased, torque tended to decrease as well as cure rate and cure time. Addition of organoclay brought about higher cure time and torque. Increasing cure temperature from 150°C to 180°C resulted in increasing cure time of about 10 times while having the similar maximum and minimum torques. Thermoplastic vulcanizate showed good mechanical properties. It was found that HDPE/FKM/NR 30/60/10 %wt had tensile strength of 11 MPa, elongation at break 150%, tear strength 5 MPa, Harness shore A 90, the best resistance to gasohol 91/95/E20 at room temperature (swelling of 1.1 times or increasing swell of 10%), and good resistance to biodiesel B5. When the swelling was measured at 100°C, the swelling increased by 25% except in E20 where the swelling was increased by 45% thus this formulae reduced the cost by 25%. When organoclay was added to the mixed rubber, the mechanical properties (tensile strength and elongation at break) reduced about 40% but the hardness and tear strength decreased not beyond 10% while the resistance to gasohol E20 and biodiesel B5 became better especially at higher temperature and higher NR content. When NR content increased to 35 %wt, the mechanical properties and resistance to oil were reduced; i.e. tensile strength reduced by 28%, tear strength reduced by 20%, and hardness slightly reduced about 5% while swelling in E20 and B5 was increased to 50% and 70% at high temperature. Moreover, elongation at break increased 33% and especially with organoclay, it was increased greater than twice and the cost was cut by 50%. When comparing to the formulae without curing agents, the mechanical properties, tear strength and resistance to all 4 oils were worse than those prepared by dynamic vulcanization. The formulae with 10 %wt showed the most similar resistances to gasohol and biodiesel like the cured FKM.

การวัดค่าในชั้นแบบพลวัตของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางธรรมชาติ

1. วิธีการ

วัสดุ

1. ยาง

- ยางฟลูออโร (FKM) เกรด GF600S จากบริษัท คูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด
- ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR5L จากบริษัท บ้านแพนริเลิร์ช แลบบอราทอรี จำกัด

2. พอลิเมอร์

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เกรด H5480S จากบริษัท ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด

3. สารเคมี

- Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) จาก Fluka reagent grades เป็น acid receptor
- Stearic acid จาก บริษัท นิโอพลาสติกโตเมอร์ จำกัด เป็น lubricant
- Triallyl isocyanate (TAIC) จาก บริษัท นิโอพลาสติกโตเมอร์ จำกัด เป็น Coagent ของสารคงรูป
- Dicumyl peroxide (DCP) จาก Fluka reagent grades เป็นสารคงรูป
- 2,5-Dimethyl-2,5-di(t-butyl peroxy) hexane (DBPH) จาก Fluka reagent grades เป็นสารคงรูป
- Methanol (CH_3OH) จากบริษัท เลปสแกน จำกัด ใช้เป็น ตัวทำละลาย

4. Clay Minerals

Bentonite จากบริษัท นิปปอน เคมิคัล จำกัด นำมาแลกเปลี่ยนประจุกับ Dodecylamine เพื่อใช้เป็น organoclay ในงานวิจัยนี้

5. สารลดแรงตึงผิว

Dodecylamine, $\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{N}$ จาก Aldrich

6. น้ำมัน

น้ำมันไบโอดีเซล (B5), น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20 (E20), น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95

เครื่องมือ

1. Differential Scanning Calorimeter (DSC)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใช้เครื่อง Perkin-Elmer DSC โดยชิ้นงานจะได้รับความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 0 – 200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้ความดันบรรยากาศไนโตรเจนด้วยอัตรา 10 มิลลิลิตรต่อนาที

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning electron microscopy โดยเครื่อง JEOL JSM-5410 LV Model ใช้ทำการตรวจสอบพื้นที่ผิวด้วยการนำชิ้นงานมาหักในไนโตรเจนเหลว แล้วเคลือบผิว (sputtering) ด้วยทองคำก่อนนำไปวัด

3. เครื่องผสมแบบภายใน (Internal mixer)

ผสมยางด้วยเครื่อง Brabender Plastograph ทำการผสมยางที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

4. เครื่องอัดรูปด้วยความร้อน Compression Molding

ทำการอัดชิ้นงานด้วยเครื่อง Wabash V50H Press ด้วยแรง 20 ตัน ใช้เวลาให้ความร้อน 5 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 25 นาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล Mechanical Testing (ตัดตัวอย่างและวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยยาง)

ทดสอบแรงดึง โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1)

ทดสอบแรงฉีกขาด โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1)

ทดสอบการทนต่อแรงยืดจนขาด โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1)

ทดสอบความแข็ง (shore A) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D2240

6. ทดสอบการทนน้ำมัน ศึกษาการบวมของยาง

ทดสอบการบวมของยางโดยใช้มาตรฐาน ASTM D471 ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และ 100 °C เป็นเวลา 7 วัน

$$\text{คำนวณด้วยสูตร } \text{Swelling Index} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

โดย w_1 = น้ำหนักของยางก่อนบวม w_2 = น้ำหนักของยางหลังบวม

7. ทดสอบสมบัติการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Moving disk rheometer (MDR)

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาเวลาที่ี่ยงเกิดการคงรูปหรือหาอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เซชัน โดยวัดค่าแรงบิดที่เพิ่มขึ้นของยางคอมพาวด์เมื่อยางเกิดการวัลคาไนซ์จากการสั่นของดิสก์ (Disc) ภายในห้องวัด (Chamber) เครื่อง MDR ยังช่วยบอกระยะเวลาก่อนที่ยางตายหรือที่เรียกในภาษาเทคนิคว่า scorch time แล้วเครื่องมือนี้ยังบอกระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบยางให้คงรูป (optimum cure time)

วิธีการทดลอง

- เตรียม โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง, ยางฟลูออโรและยางธรรมชาติ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้
ตารางที่ 1: สูตรที่ใช้ในการผสม

สูตรที่ผสม	HDPE (กรัม)	ยางฟลูออโร (กรัม)	ยางธรรมชาติ (กรัม)
สูตรที่ 1	30	60	10
สูตรที่ 2	30	55	15
สูตรที่ 3	30	50	20
สูตรที่ 4	30	35	35

- ผสมยางใน internal mixer ที่อุณหภูมิ 150°C และใช้ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที โดยนำยางเข้าไปผสมตามสูตรต่างๆและเติมสารเคมีลงไปในยาง ดังตารางที่ 2
- นำยางที่ผสมเสร็จแล้วออกจาก internal mixer แล้วลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นโดยใช้ two-roll mill ที่อุณหภูมิห้อง
- นำยางที่ได้เข้าเครื่อง compression-mold ที่อุณหภูมิ 180°C โดยใช้เวลาให้ความร้อน 5 นาที กำลังอัด 20 ตัน เวลาในการอัดขึ้นรูป 25 นาที หลังจากนั้นนำแผ่นชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 2: ขั้นตอนในการผสมยาง

เวลาในการผสม (นาที)	ขั้นตอนการผสม	
	การวัดค่าไนซ์แบบพลวัตของยางแบบไม่เติม Organo clay	การวัดค่าไนซ์แบบพลวัตของยางแบบเติม Organo clay
0	เติม HDPE	เติม HDPE
5	เติมยางฟลูออโร	เติมยางฟลูออโร
10	เติมยางธรรมชาติ	เติมยางธรรมชาติ
15	เติม Ca(OH)_2 3 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม Organo clay 3 ส่วน/100ส่วนยาง
18	เติมกรดสเตียริก 0.25 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม Ca(OH)_2 3 ส่วน/100ส่วนยาง
21	เติม TAIC 3 ส่วน/100ส่วนยาง	เติมกรดสเตียริก 0.25 ส่วน/100ส่วนยาง
24	เติม DCP หรือ DBPH 1 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม TAIC 3 ส่วน/100ส่วนยาง
27	นำยางออกจาก internal mixer	เติม DBPH 1 ส่วน/100ส่วนยาง
30		นำยางออกจาก internal mixer

2. ผลการวิจัย แสดงในตารางและกราฟต่อไปนี้

2.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน และปริมาณผลึก

ผลการทดลองนี้ได้จากการผสมยาง FKM, NR กับ HDPE ธรรมดา โดยไม่ใช้เปอร์ออกไซด์เพื่อคงรูป และการผสมที่มีเปอร์ออกไซด์คงรูป ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 3 โดยเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เป็นไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ที่ 0.1 phr (หากใช้ปริมาณเปอร์ออกไซด์สูงกว่านี้ ปฏิกิริยาเชื่อมขวางจะรุนแรงรวดเร็ว ทำให้ยางผสมกลายเป็นขุยเป็นผงไม่สามารถยัดรวมเป็นก้อนได้) เป็นการทดสอบเบื้องต้นว่าโครงสร้างผลึกใน HDPE จะเปลี่ยนแปลงเป็นลดลงเหลือปริมาณผลึกราว 50% โดยปริมาณยางที่เดิมไม่มีผลชัดเจนต่อปริมาณผลึกแต่มีแนวโน้มว่าอุณหภูมิหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางและการเกิดการคงรูป ทั้งนี้เพราะการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้น สามารถปกป้องผลึกให้หลอมเหลวยากขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงขึ้น การคงรูปมีผลทำให้ปริมาณผลึกลดลง 4-5 % (ในกรณี DBPH ไม่ได้ทดสอบ DSC เพราะแนวโน้มน่าจะเป็นในทำนองเดียวกัน)

ตารางที่ 3: แสดงอุณหภูมิหลอมเหลวและค่าความเป็นผลึก

HDPE/FKM/NR	System	T _m (°C)	Crystallinity (%)
30/60/10	with peroxide	130.17	47.154
30/55/15	with peroxide	132.51	53.480
30/50/20	with peroxide	130.83	49.984
30/35/35	with peroxide	133.51	51.021
30/60/10	without peroxide	131.17	53.276
30/55/15	without peroxide	130.83	54.807
30/50/20	without peroxide	130.50	55.589
30/35/35	without peroxide	131.17	54.314

2.2 ผลทดสอบการคงรูปด้วย DBPH

การเกิดปฏิกิริยาคัดลอกในเซชันที่อุณหภูมิ 150°C และ 180°C แสดงในรูปที่ 1 ตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคัดลอกในเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนแรงบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของยางฟลูออโรคลดลงในขณะที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ซึ่งยางที่ผสม organo clay และไม่ผสม organo clay มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ส่วน ระยะเวลาที่ยาวเริ่มจะเกิดการคงรูป (Scorch time) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของยางฟลูออโรคลดลงและยางธรรมชาติเพิ่ม แต่เมื่อเติม organoclay 3 phr scorch time ก็ยาวขึ้น แต่เวลาคงรูปลดลง แรงบิดต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น แรงบิดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มยางธรรมชาติส่งผลให้การคงรูปเกิดได้ช้าลง อัตราการเชื่อมขวางลดลง และปริมาณ

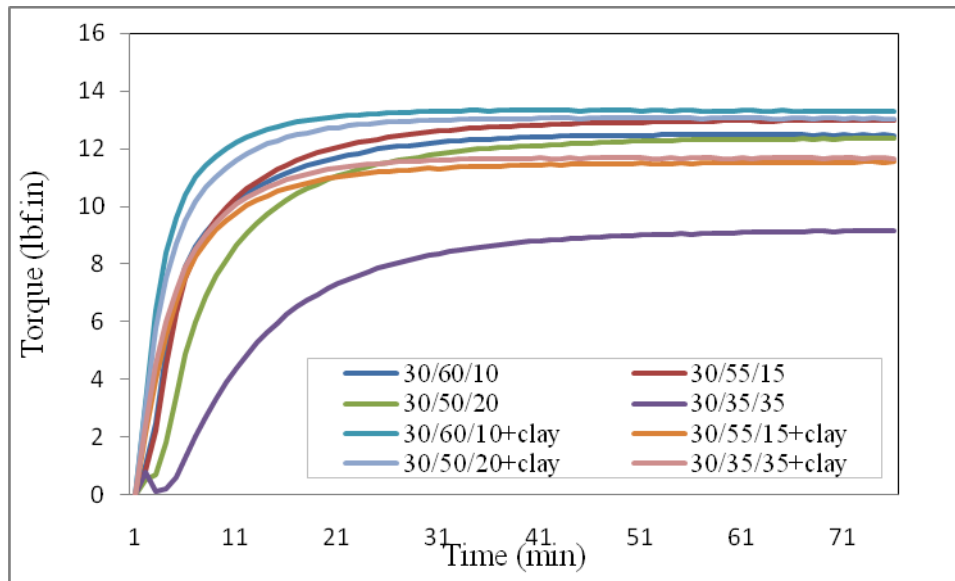
การเชื่อมขวางก็มีแนวโน้มลดลงด้วย เนื่องจาก DBPH ทำงานได้ดีกับ FKM มากกว่า NR สำหรับ organoclay ช่วยเร่งการคงรูป(แม้จะหน่วงเวลา scorch time ออกไปเล็กน้อย) และทำให้เกิดการเสริมแรง กรณี 30/60/10+ clay เป็นสูตรมีปริมาณยางธรรมชาติน้อยที่จะไปหน่วงปฏิกิริยาเชื่อมขวาง อีกทั้งยังมี organoclay ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการคงรูป ปัจจัยทั้งสองจึงเสริมกัน ได้ชัดเจนที่สุดทำให้เวลาคงรูปที่ tc50 และ tc90 จึงลดลงมาก

ตารางที่ 4: แสดงเวลาที่ี่ยงเกิดการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C โดยเครื่อง MDR

อุณหภูมิ 150°C					
HDPE/FKM/NR (wt%)	tc50 (min)	tc90 (min)	ts2 (min)	MH (lbf.in)	ML (lbf.in)
30/60/10	17.30	55.43	7.19	12.34	1.37
30/55/15	19.41	67.49	8.11	13.51	0.94
30/50/20	18.48	66.14	8.07	12.02	1.08
30/35/35	24.43	66.54	11.55	10.06	0.31
30/60/10+clay	15.17	46.27	8.33	13.18	2.49
30/55/15+clay	21.30	56.10	9.40	12.24	2.18
30/50/20+clay	23.19	61.20	10.06	12.75	2.62
30/35/35+clay	25.06	67.10	10.41	12.09	2.91

ตารางที่ 5: แสดงเวลาที่ี่ยงเกิดการคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C โดยเครื่อง MDR

อุณหภูมิ 180°C					
HDPE/FKM/NR (wt%)	tc50 (min)	tc90 (min)	ts2 (min)	MH (lbf.in)	ML (lbf.in)
30/60/10	1.18	4.33	0.51	12.50	1.04
30/55/15	1.26	4.46	0.51	13.00	0.84
30/50/20	1.43	5.31	0.55	12.39	0.54
30/35/35	2.33	7.20	1.25	9.21	0.22
30/60/10+clay	1.35	4.37	1.03	13.34	3.19
30/55/15+clay	1.41	5.11	1.05	11.58	2.42
30/50/20+clay	1.47	5.21	1.06	13.07	3.05
30/35/35+clay	2.00	5.53	1.11	11.69	2.41

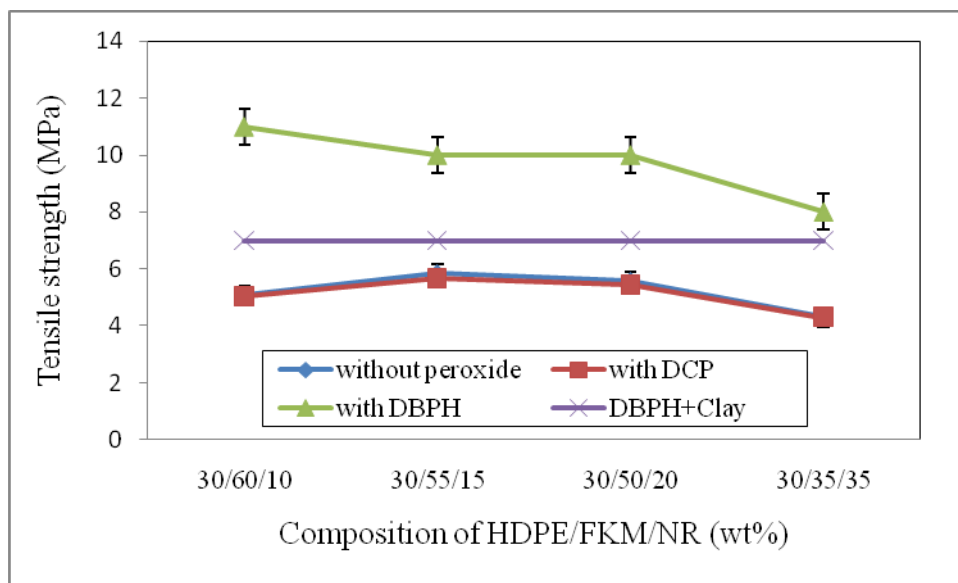


รูปที่ 1: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด(ปอนด์.นิ้ว)กับเวลา(นาที) ที่อุณหภูมิ 180°C

พบว่าที่อุณหภูมิ 180°C จะได้เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันและระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูปเร็วขึ้นเป็น 10 เท่าที่ อุณหภูมิ 150°C ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุดและสูงสุดที่อุณหภูมิ 150°C และ 180°C จะได้ค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อเทียบกันระหว่างอัตราส่วนสูตรยางที่ผสม organo clay และไม่ผสม organo clay ค่าแรงบิดก็มีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมขวางให้เร็วขึ้น อุณหภูมิ 180°C จึงเหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางของ DBPH มากกว่าที่ 150°C

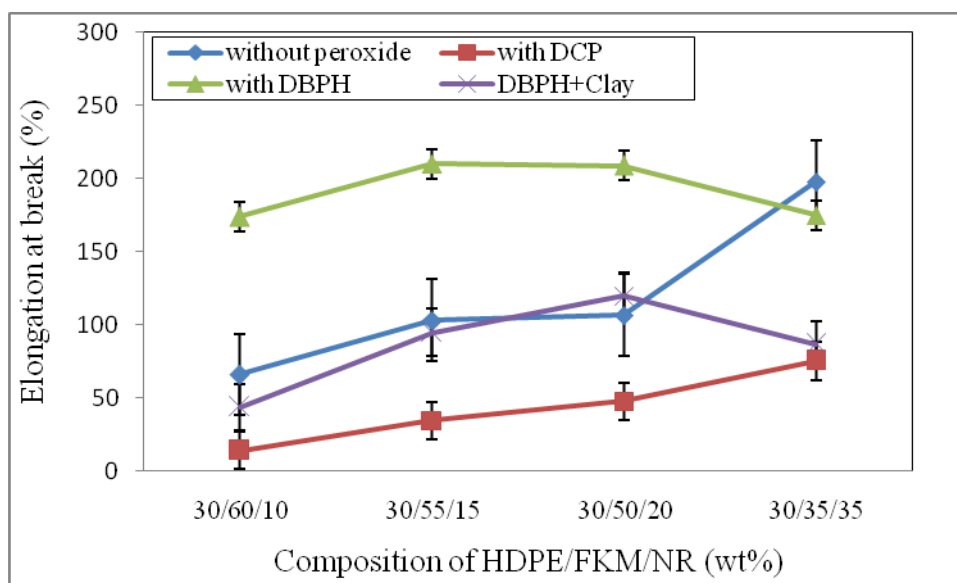
2.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

การต้านแรงดึงแสดงดังรูปที่ 2 จะพบว่าสูตรยางที่มีปริมาณยางฟลูออโรลดลงแต่ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการต้านแรงดึงมีแนวโน้มค่าลดลง สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการต้านแรงดึงสูงที่สุดส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH+organo clay จะให้ค่าการต้านแรงดึงรองลงมา ในขณะที่สูตรยางที่ผสมด้วย DCP จะให้ค่าการต้านแรงดึงน้อยที่สุดอันเนื่องจาก DCP สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิ 150 °C มีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางอย่างรวดเร็ว ทำให้ขาดความยืดหยุ่น ดึงขาดได้ง่ายโดยใช้แรงดึงต่ำ ในทำนองเดียวกันกับ DBPH+organoclay ซึ่งมีปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ดีขึ้นเนื่องจาก organoclay สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ ยางจึงมีความดึงตัวขาดความยืดหยุ่น การยืดลดลงและขาดที่แรงดึงไม่มากนัก ดังนั้น DBPH จึงเป็นตัว curing agent ที่เหมาะสมมากกว่า DCP ซึ่งสาร DBPH และ DCP เป็นสารจำพวก peroxide เหมือนกันแต่มีสถานะในการทำงานที่ต่างกันโดย DCP เหมาะกับสถานะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า ในขณะที่ DBPH เหมาะกับสถานะการทำงานที่อุณหภูมิ 150-180 °C ซึ่งยางฟลูออโรจะสามารถไหลได้ที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้ DBPH เหมาะสมกับสูตรยางที่ใช้ในการทดลอง



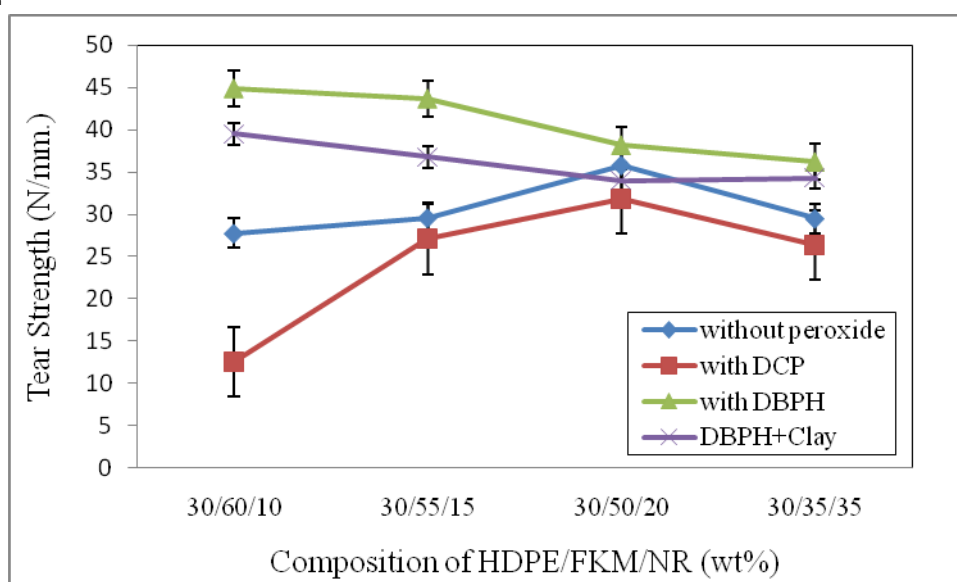
รูปที่ 2: แสดงความสัมพันธ์ของการต้านแรงดึง (MPa)

การทนต่อแรงยืดจนขาดแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการทนต่อแรงยืดจนขาดมากที่สุด ในขณะที่สูตรยางที่ผสมด้วย DCP จะให้ค่าการทนต่อแรงยืดจนขาดน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณยางแล้ว สารคงรูปทั้งสองแสดงแนวโน้มตรงกันข้ามคือสำหรับ DBPH เมื่อยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นระยะยืดจนขาดจะเพิ่มสูงสุดแล้วลดลง ส่วนกรณี DCP ระยะยืดจนขาดเพิ่มตามปริมาณยางธรรมชาติ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับยางผสม HDPE เนื่องจากระยะยืดจนขาดมีความสัมพันธ์ผกผันกับความแข็งหรือปริมาณการเชื่อมขวางของชิ้นงานแสดงว่า DBPH ทำงานได้ดีในยางฟูลโอโรดีกว่าในยางธรรมชาติ และปริมาณสารเชื่อมขวางที่จำกัด การเพิ่มยางธรรมชาติในช่วงแรกจึงเสมือนไปเพิ่มส่วนที่ไม่เกิดการเชื่อมขวาง แต่ถ้ายางทั้งสองมีปริมาณเท่าๆกัน การยืดเหนียวระหว่างเฟสลดลง ระยะยืดจนขาดจึงลดลง เมื่อเติมแร่ดินออร์กาโนเคลย์พบว่าระยะยืดจนขาดลดลงราวครึ่งหนึ่ง เนื่องจากแร่ดินช่วยเร่งการเชื่อมขวาง ส่วน DCP ทำงานได้ดีในยางธรรมชาติมากกว่ายางฟูลโอโรแต่เนื่องจากการผสมใช้อุณหภูมิ 150 C ทำให้ DCP จำนวนจำกัด 1 phr ทำงานและเสื่อมสลายไป ระยะยืดเพิ่มขึ้นแสดงถึงการเชื่อมขวางที่น้อยลง นั่นคือแม้ปริมาณยางธรรมชาติจะเพิ่มแต่ DCP มีปริมาณจำกัด จึงทำให้ปริมาณการเชื่อมขวางไม่เพิ่มขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติ จึงเกิดการยืดได้มากขึ้น



รูปที่ 3: แสดงความสัมพันธ์ของการทนต่อแรงยืดจนขาด (%)

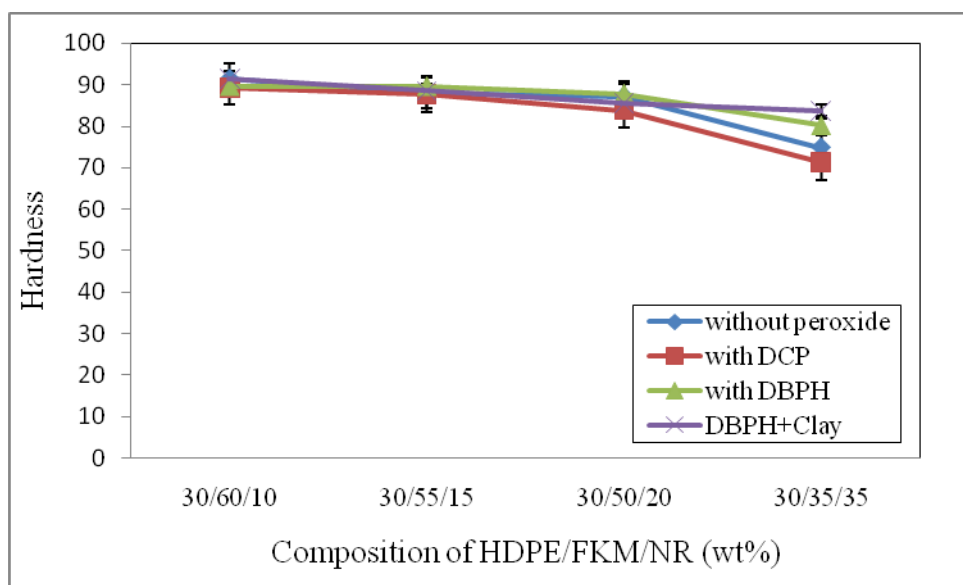
ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH+organo clay ทั้งสองสูตรนี้มีแนวโน้มความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลงเมื่อสูตรยางมีปริมาณยางฟลูออโรลดลงและยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DCP และไม่ผสม peroxide จะให้ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดน้อย แต่ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดมากขึ้นเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีผลมาจากตัว curing agent ที่ทำให้การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์มีประสิทธิภาพต่างกัน นั่นคือเมื่อปริมาณยางธรรมชาติน้อย การเชื่อมขวาง



รูปที่ 4: แสดงความสัมพันธ์ของการฉีกขาด (N/mm)

ด้วย DBPH จะเกิดขึ้นได้มากที่สุด การออกแรงบิดดึงให้ฉีกขาดจะทำให้ยากเนื่องจากมีจำนวนการเชื่อมขวางมากที่จะต้านการฉีกขาดได้ดี เมื่อยางเพิ่มขึ้นปริมาณการเชื่อมขวางลดลง หรือแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวสัมผัสจะน้อยลง การต้านแรงฉีกขาดก็จะลดลง สำหรับ DCP การเชื่อมขวางเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติ ในลักษณะเดียวกับยางผสม HDPE ทั้งนี้ยางผสม HDPE มีความแข็งแรงต้านการฉีกขาดสูงกว่ากรณีเชื่อมขวางด้วย DCP ซึ่งในที่นี้กลไกการเพิ่มความต้านทานแรงฉีกขาดอาจไม่ได้มาจากการเชื่อมขวางอย่างเดียว การต้านแรงฉีกขาดสามารถที่จะมาจากผลึกของ HDPE และการตกผลึกของยางธรรมชาติเหนียวนำโดยการดึงยึดด้วย

ความแข็งแรงแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH, DBPH+organo clay, DCP และไม่เติม peroxide จะให้ค่าความแข็งแรงสูงใกล้เคียงกัน



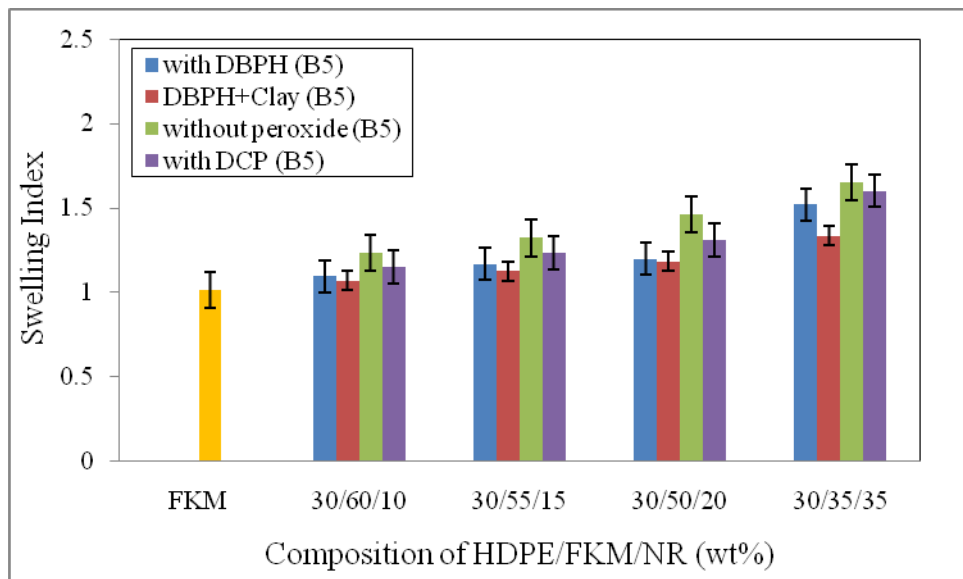
รูปที่ 5: แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรง

2.4 ผลการทดสอบการทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 91 E20 และไบโอดีเซล B5

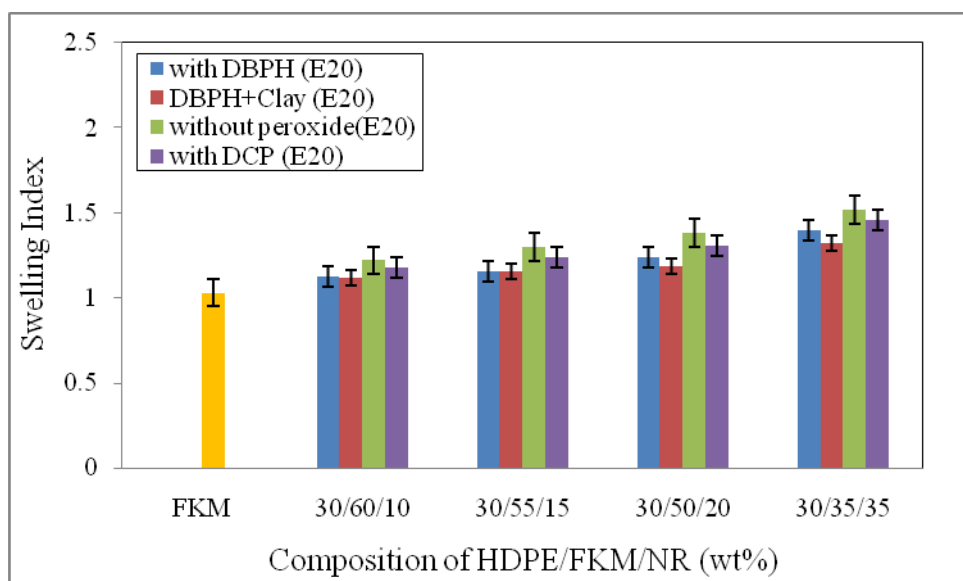
การบวมของยางในน้ำมันแสดงดังรูปที่ 6-13 เป็นการศึกษาผลการบวมในน้ำมันชีวภาพ 4 ชนิดที่มีปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น(หรือยางฟูลโอโรลดลง) มีการคงรูปด้วยสารคงรูปต่างกัน มีแร่ดินและไม่มีแร่ดิน และอุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิสูง

พบว่าสูตรยางที่มีปริมาณของยางฟูลโอโรลดลงและปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆเพิ่มขึ้น โดยยางที่มีสูตร30/60/10 จะให้ค่าการบวมของยางในน้ำมันน้อยกว่าสูตรอื่นๆ การคงรูปช่วยลดการบวมของขึ้นยางตัวอย่างทุกสูตร การคงรูปด้วย DBPH ช่วยลดการบวมให้ต่ำกว่าที่คงรูปด้วย DCP ซึ่งเมื่อมีการเติม organo clay ลงไปในสูตรยางจะทำให้มีค่าการบวมของยางลดลงกว่าชนิดที่ไม่เติม organo clay (เห็นได้ชัดโดยเฉพาะในสูตรที่มียางธรรมชาติมาก เนื่องจากการบวมเกิดจากเฟส

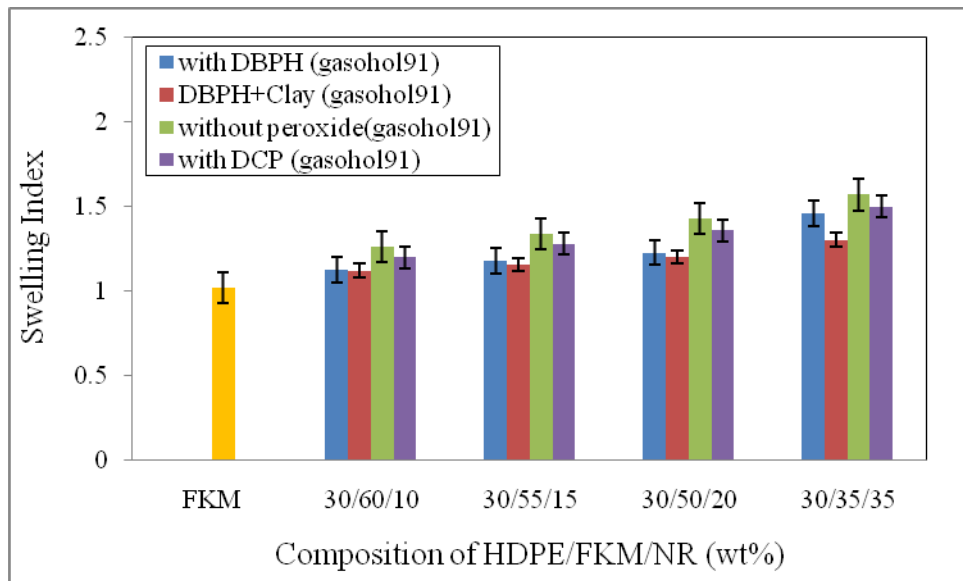
ยางธรรมชาติ) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของ organo clay ที่กระจายตัวอยู่ในยางมีส่วนช่วยให้ยางมีความทนทานต่อน้ำมันมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6-9 แสดงการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆที่อุณหภูมิห้องพบว่ายางเกิดการบวมไม่เกิน 50% เมื่อเทียบกับยางฟลูออโร GF600S โดยเฉพาะสูตร 30/60/10 + organo clay จะได้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S การบวมในไบโอดีเซลเกิดมากกว่าในน้ำมัน E20 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทั้งสองชนิด เนื่องจากในไบโอดีเซลมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว 95%wt ซึ่งจะทำให้ยางบวมได้ดี



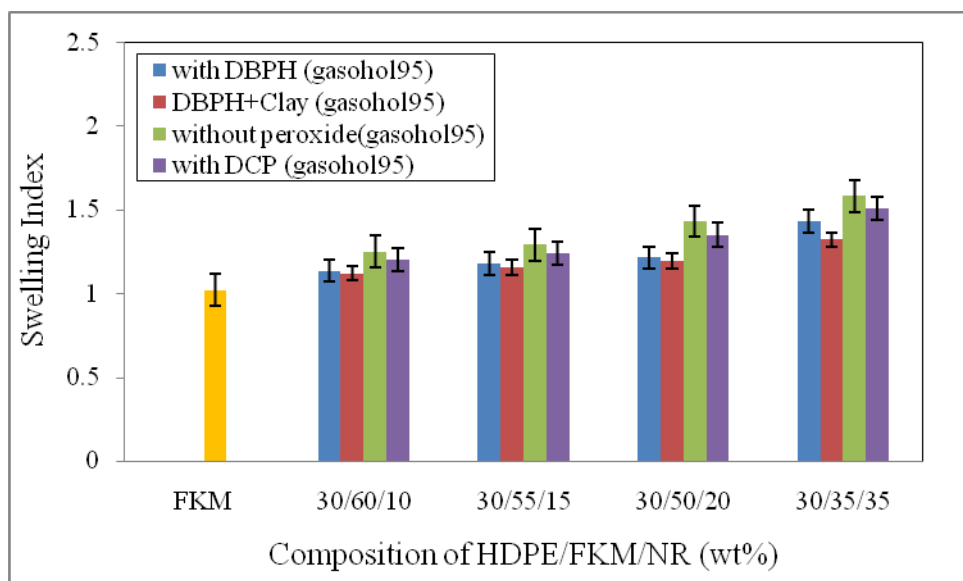
รูปที่ 6: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 7: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20



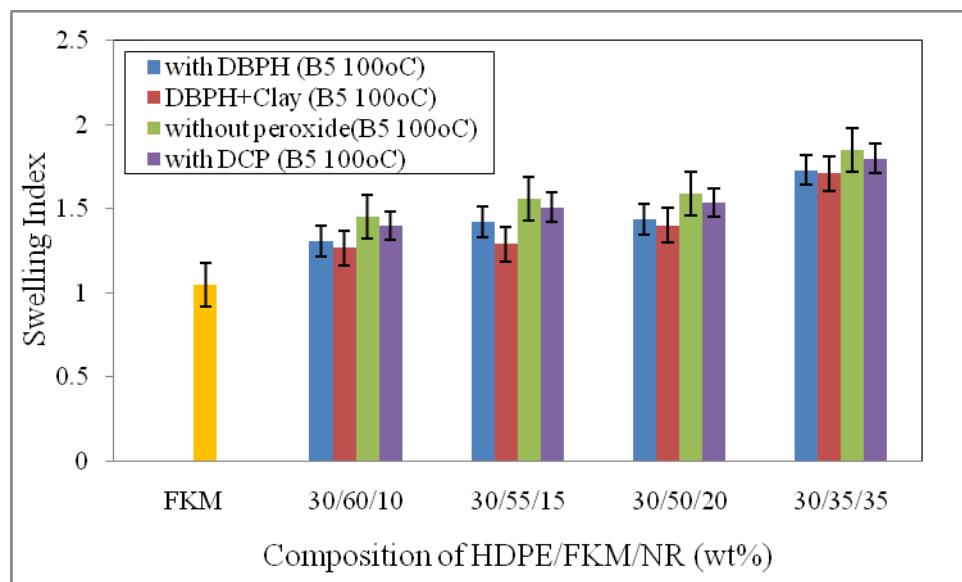
รูปที่ 8: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์91



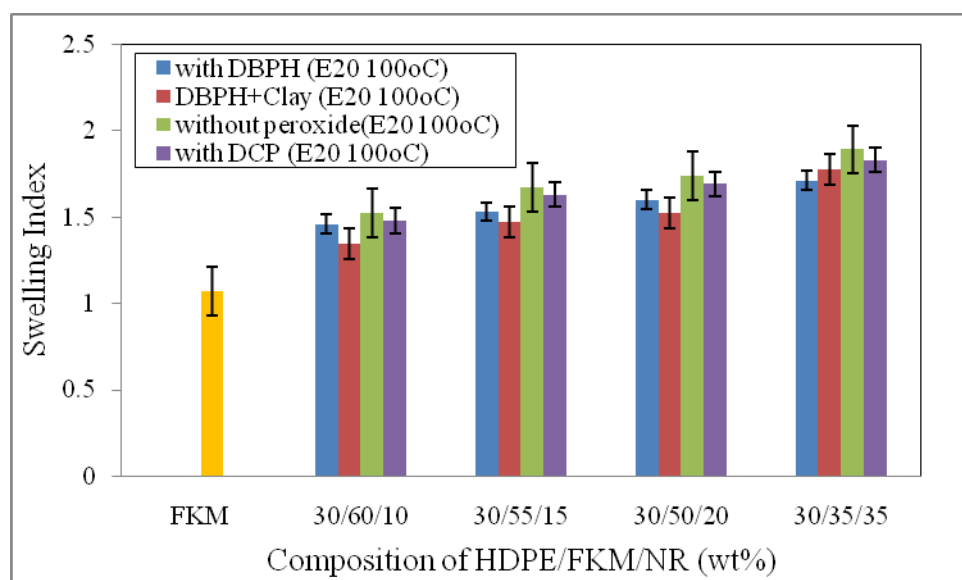
รูปที่ 9: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์95

รูปที่ 10-13 แสดงการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 100°C ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการแช่ยางที่อุณหภูมิห้องแต่จะให้ค่าการบวมของยางเพิ่มขึ้นโดยสูตร 30/60/10 และ 30/55/15 จะให้ค่าการบวมของยางไม่เกิน 50% ส่วนยางสูตร 30/50/20 และ 30/35/35 จะให้ค่าการบวมของยางไม่เกิน 70% จาก

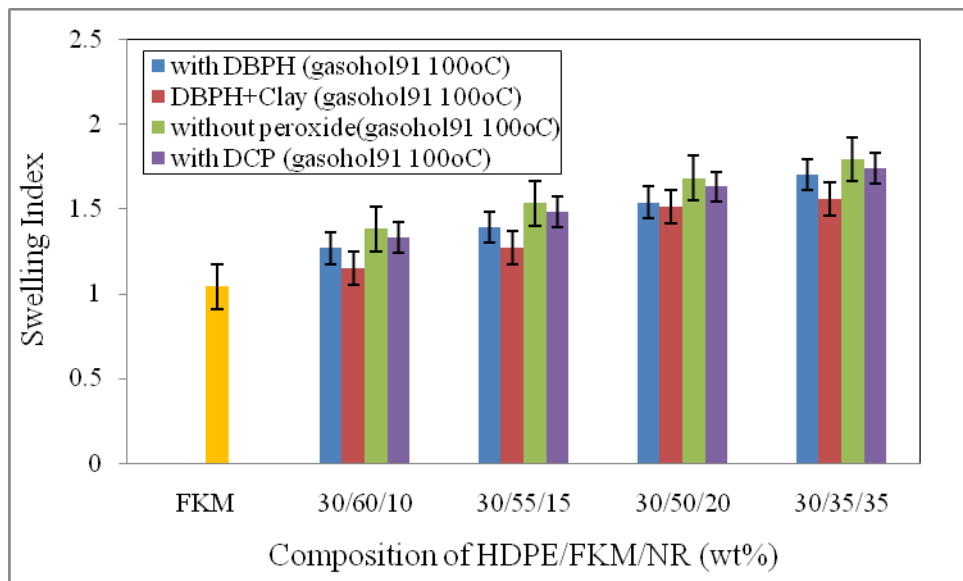
ผลการบวมของยางจะพบว่ายางสูตร 30/60/10 + organo clay จะให้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S มากที่สุด อีกประการหนึ่ง organo clay ช่วยลดการบวมที่อุณหภูมิสูงได้อย่างเด่นชัดกว่าที่อุณหภูมิห้อง อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายในน้ำมันก็จะดีขึ้นทำให้การบวมเพิ่มขึ้น และ organo clay ช่วยเพิ่มเสถียรภาพการทนความร้อนให้กับชิ้นงานและด้านการแพร่ของน้ำมันเข้าไปละลายยาง จึงทำให้การบวมลดลง



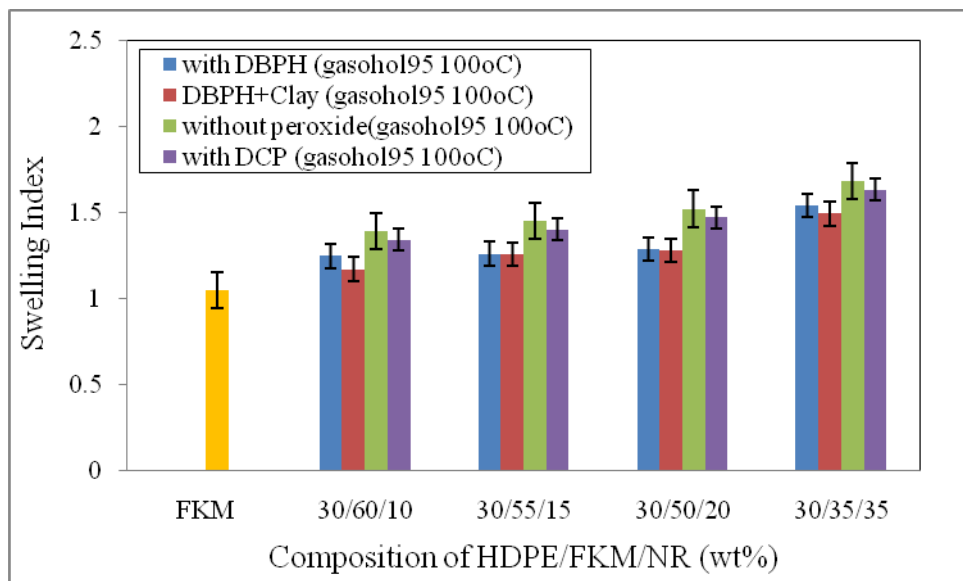
รูปที่ 10: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 11: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์20 ที่อุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 12: แสดงความสัมพัทธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์91 ที่อุณหภูมิ 100°C

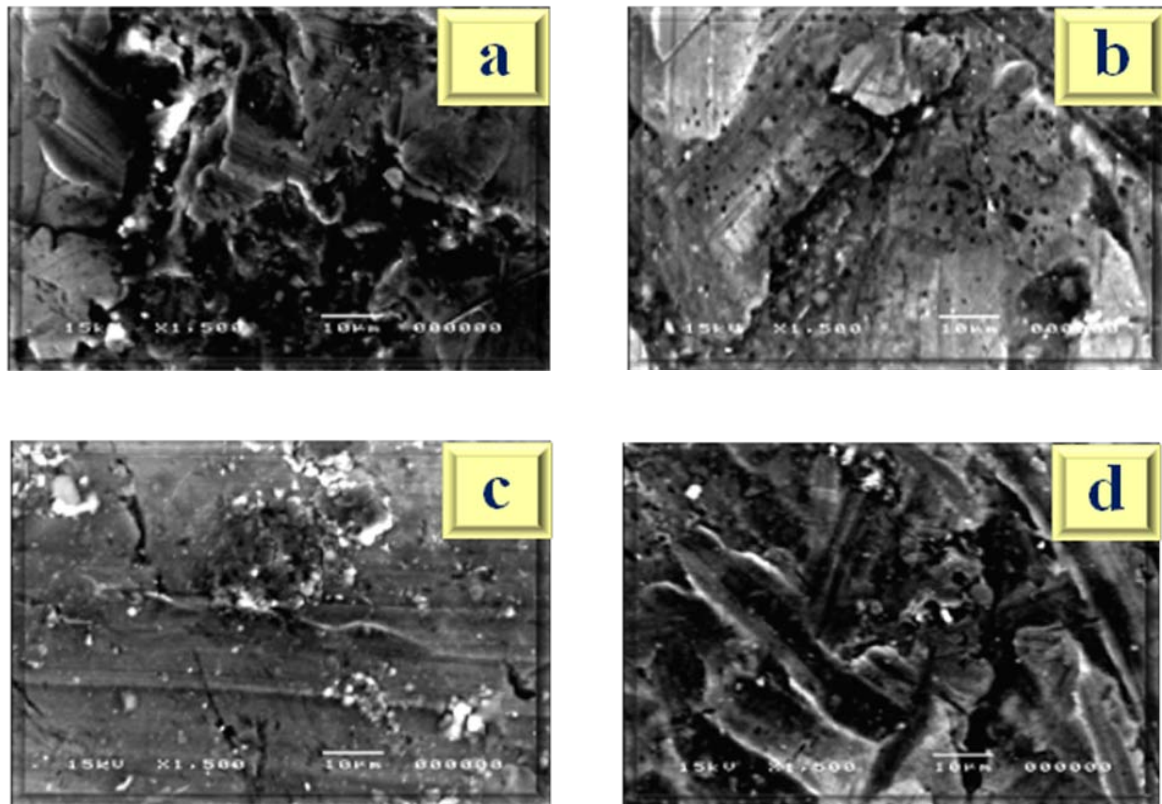


รูปที่ 13: แสดงความสัมพัทธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์95 ที่อุณหภูมิ 100°C

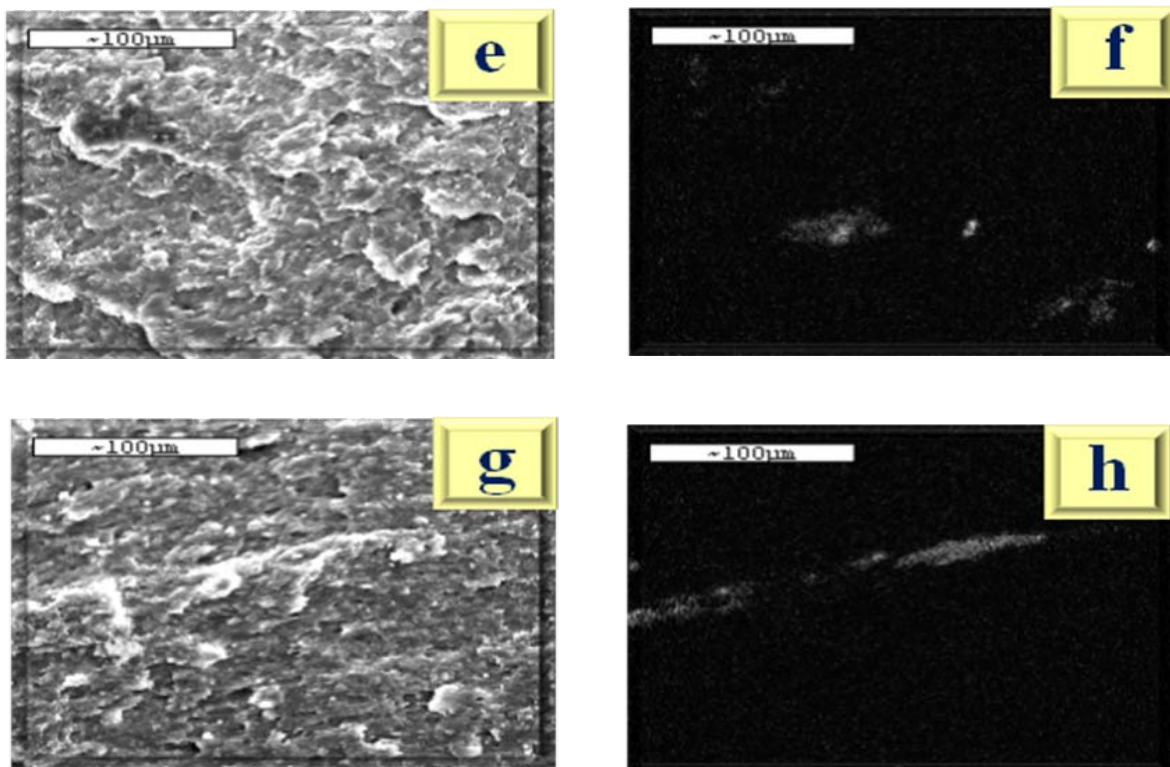
2.5 ผลการศึกษาอุปสรรคฐาน โดย SEM

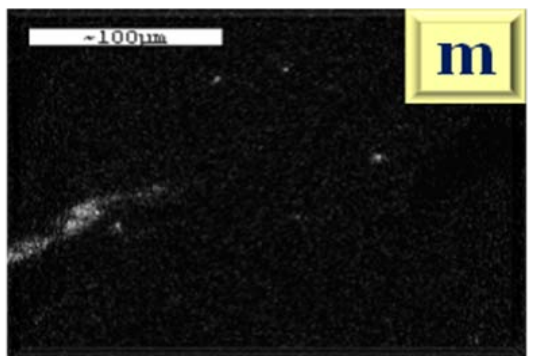
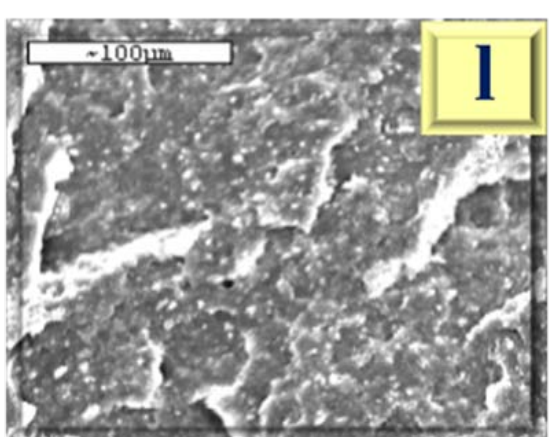
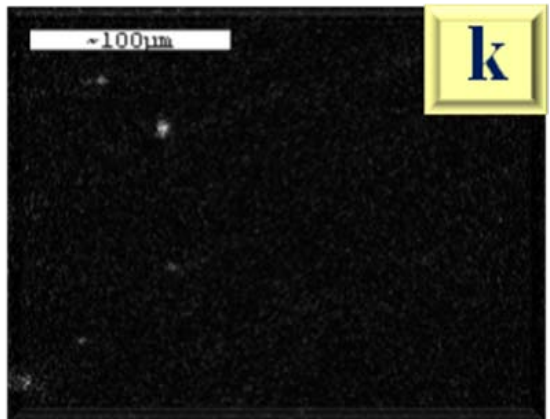
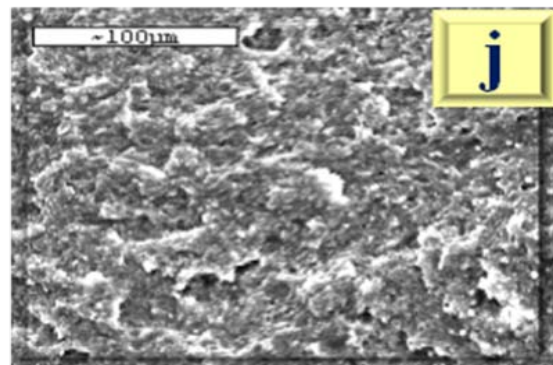
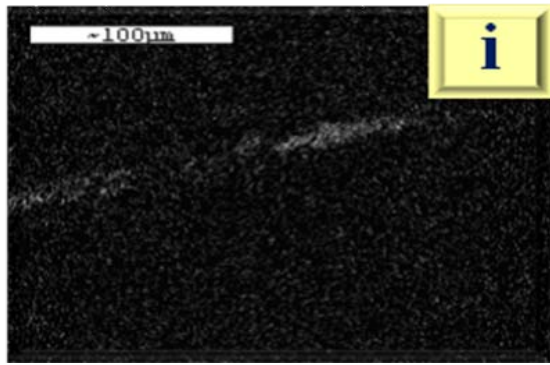
โครงสร้างของ การวัดคาไนซ์แบบพลวัตของยาง แสดงดังรูปที่ 14 พบว่าอนุภาคของยางขนาดประมาณ 1 ไมครอนกระจายตัวอยู่ในเฟสเมตริกซ์ของพลาสติก (HDPE mitrix) ที่แสดงพื้นแตกหักมีลักษณะของขอบข่ายในบางจุดที่บ่งบอกลักษณะของ plastic deformation อีกทั้งที่พื้นผิวก็ปรากฏแนวผลึก

อนุภาคขนาดใหญ่จะยึดติดดีกับเมทริกซ์ ยกเว้นในรูป b ที่อนุภาคหลุดออกมา โครงสร้างของสูตรยางที่มีการเติม organo clay แสดงดังรูปที่ 15 จากผล EDX จะพบว่า มี Si และ Al ซึ่งเป็นธาตุประกอบหลักของ organo clay กระจายอยู่ทั่วแผ่นยาง แม้ว่าบางส่วนของ organo clay จะเกาะกลุ่มกระจุกตัวอยู่บ้าง



รูปที่ 14: แสดงโครงสร้างของยางที่ผสมด้วย HDPE/FKM/NR ในอัตราส่วนต่างๆ
ชนิดเติมDBPH (a) 30/60/10 (b) 30/55/15 (c) 30/50/20 (d) 30/35/35





รูปที่ 15: แสดงโครงสร้างของยางที่ผสมด้วย HDPE/FKM/NR ในอัตราส่วนต่างๆ ชนิดเดิม DBPH+Organo clay (e) 30/60/10 (f) Si mapping of 30/60/10 (g) 30/55/15 (h) Si mapping of 30/55/15 (i) Al mapping of 30/55/15 (j) 30/50/20 (k) Si mapping of 30/50/20 (l) 30/35/35 (m) Si mapping of 30/35/35

2.5 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ

ราคาของสูตรยางชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่ 6 และ 8 จากการคำนวณราคาขายและสารเคมีที่ใช้ในสูตรยางเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับยางฟลูออโร GF600S จะพบว่าราคาของสูตรยางที่ใช้ในการทดลองมีราคาถูกกว่ายางฟลูออโร GF600S ประมาณ 10-35%

ตารางที่ 6: แสดงราคาสารเคมีของสูตรยางชนิดต่างๆ

Composition 30/60/10							
HDPE	FKM	NR	Ca(OH) ₂	Stearic	TAIC	DBPH	clay

11.70	1380	10	57.60	1.50	57	179	21.2
Composition 30/55/15							
HDPE	FKM	NR	Ca(OH) ₂	Stearic	TAIC	DBPH	clay
11.70	1265	15	57.60	1.50	57	179	21.2
Composition 30/50/20							
HDPE	FKM	NR	Ca(OH) ₂	Stearic	TAIC	DBPH	clay
11.70	1150	20	57.60	1.50	57	179	21.2
Composition 30/35/35							
HDPE	FKM	NR	Ca(OH) ₂	Stearic	TAIC	DBPH	clay
11.70	805	35	57.60	1.50	57	179	21.2

ตารางที่ 7: แสดงการเปรียบเทียบราคาของยางฟลูออโร GF600S กับสูตรยางชนิดต่างๆ

Composition	Cost
FKM(GF600S)	2300 bath/ 1 kg
30/60/10	1696.80 bath/ 1 kg
30/55/15	1586.80 bath/ 1 kg
30/50/20	1476.80 bath/ 1 kg
30/35/35	1146.80 bath/ 1 kg
30/60/10+clay	1718 bath/ 1 kg
30/55/15+clay	1608 bath/ 1 kg
30/50/20+clay	1498 bath/ 1 kg
30/35/35+clay	1168 bath/ 1kg

5. สรุป

เวลาที่สูตรยางชนิดต่างๆ ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันที่อุณหภูมิ 180°C จะใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 150°C จึงทำให้ระยะเวลาที่ยาวเริ่มจะเกิดการคงรูปเร็วกว่า สมบัติการต้านแรงดึง, การทนต่อแรงยืดจนขาด และการฉีกขาดของ สูตรยางชนิดต่างๆมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH+organo clay จะให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DCP จะให้

สมบัติเชิงกลแย่ที่สุดเนื่องมาจากปริมาณการเติม DCP มีปริมาณจำกัดซึ่งหากใส่ในปริมาณที่มากจะทำให้ยางถูกตัด การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ จนกลายเป็นผง สมบัติด้านความแข็งแรงของสูตรยางชนิดต่างๆ ให้สมบัติใกล้เคียงกัน และการตรวจสอบการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางด้วย peroxide โดยการวัดการบวมของยาง (swelling index) พบว่าการบวมของยางในน้ำมันที่อุณหภูมิต่างๆ สูตร 30/60/10 + organo clay จะให้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S มากที่สุดและค่าความเป็นผลึกของ HDPE ที่ผสมในยางมีค่าประมาณ 47-55% โครงสร้างของการวัดคาไนซ์แบบพลวัตของยาง พบว่าอนุภาคของยางกระจายตัวอยู่ในเฟสของพลาสติก (HDPE matrix) และเมื่อเปรียบเทียบด้านราคาของสูตรยางที่ใช้ในการทดลองจะมีราคาถูกกว่ายางฟลูออโร GF600S ประมาณ 10-35%

บรรณานุกรม

1. Shuhong Wang and John M. Legare, *Journal of Fluorine Chemistry*, 122 (2003), pp.113-119.
2. David Sunday Ogunniyi and Claude Hepburn, *Iranian Polymer Journal*, 12 (2003), pp. 367-371.
3. P. Punnarak, S. Tantayanon, and V. Tangpasuthadol, *Polymer Degradation and Stability*. 91(2006), pp.3456-3462.
4. C. Nakason, K. Nuansomsri, A. Kaesaman, and S. Kiatkamjornwong, *Polymer Testing*. 25(2006), pp. 782-796.
5. H. Ismail, Supri, and A.M.M. Yusof, *Polymer Testing*. 23(2004), pp. 675-683.
6. Seong-Je Huang, Jin-Kook Lee and Chang-Sik Ha, *Colloid & Polymer Science*, 282(2004), pp.575-582.
7. Akitoshi Kaeriyama, Katsumichi Ono, Kenkichi Murakami, *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 16 (1978), pp. 2063 – 2075.
8. T. Bremner, and A. Rudin, *Journal of Applied Polymer Science*. 49(1993), pp.785-798.
9. H. Huang, J. Yang, X. Liu, and Y. Zhang, *European Polymer Journal*, 38(2002), pp. 857-861.
10. D.K. Setua, C. Soman, A.K. Bhowmick, G.N. Mathur, *Polymer Engineering and Science*, 42(2002), pp.10-18.

การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางธรรมชาติ (Dynamic vulcanization of Fluoroelastomer and Natural Rubber)

รัตนาวรรณ มกรพันธ์* และ ชมัยพร แยม่อุ่น

หน่วยวิจัยกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์และวัสดุนาโนพอลิเมอร์

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

Email: Rathanawan.k@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การผสมแบบพลวัตของยางฟลูออโร ยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพร้อมสารคงรูปสามารถทำได้ในเครื่องผสมแบบภายในที่อุณหภูมิ 150 °C และ 50 รอบต่อนาที และนำยางผสมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้ไปคงรูปและขึ้นรูปต่อในเครื่องอัดรีดที่ 180 °C จะได้ผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ในเซตที่มีรูปอสัณฐานเข้ากันได้ดี มีอนุภาคยางขนาดเล็กราว 1 ไมครอนกระจายในเนื้อพลาสติก ได้มีการปรับสูตรผสมยางโดยการเปลี่ยนปริมาณยางฟลูออโรและยางธรรมชาติในช่วง 60/10 55/15 50/20 และ 35/35 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณพอลิเอทิลีนคงที่เป็น 30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ผลการคงรูปแสดงว่ายิ่งมียางธรรมชาติมาก มีแนวโน้มว่าแรงบิดจะลดลงและอัตราการคงรูป เวลาคงรูปก็จะลดลง การเติม organoclay ทำให้การคงรูปมีอัตราเร็วขึ้นและมีแรงบิดสูงขึ้นด้วย การเพิ่มอุณหภูมิคงรูปจาก 150°C เป็น 180°C ทำให้เวลาในการคงรูปเร็วขึ้นถึง 10 เท่า โดยที่มีค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุดใกล้เคียงกัน ยางเทอร์โมพลาสติกไวกาไนซ์แสดงสมบัติเชิงกลที่ดี พบว่าสูตร HDPE/FKM/NR 30/60/10 wt% มีความแข็งแรงดึง 11 MPa การทนการยืดจนขาด 150% ความแข็งแรงด้านการฉีกขาด 45 MPa ความแข็ง shore A เป็น 90 สามารถทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95, 91 และ E20 ที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด (บวม 1.1 % หรือบวมเพิ่มขึ้น 0.1 %) และยังสามารถทนไบโอดีเซล B5 ได้พอๆกันด้วย เมื่อวัดการบวมที่ 100 °C แสดงการบวมเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 % แต่เฉพาะใน E20 การบวมเพิ่มเป็น 0.45 % สูตรนี้สามารถลดต้นทุนได้ 25 % เมื่อผสม organoclay ลงในยางผสม ทำให้สมบัติเชิงกล(ความแข็งแรงดึงและการทนการยืดจนขาด)ลดลงราว 40 % แต่ความแข็งแรงและความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลงไม่เกิน 10 % สามารถเพิ่มการทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 และไบโอดีเซล B5 ได้ดีขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงและเมื่อมีปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณยางในสูตรจนถึง 35 wt% สมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันด้อยลงคือความแข็งแรงดึงลดลงประมาณ 28 % ความแข็งแรงด้านการฉีกขาดลดลง 20% และความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยราว 5 % แสดงการบวมในแก๊สโซฮอล์ E20 และ B5 เพิ่มขึ้นถึง 0.5 % แต่ที่อุณหภูมิสูงจะบวมเพิ่มขึ้นถึง 0.7 % ส่วนการทนแรงยืดจนขาดเพิ่มขึ้น 33% โดยเฉพาะในกรณีที่เติม organoclay ยึดได้เพิ่มกว่า 2 เท่า และสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบลงได้ราว 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตตามสูตรที่ไม่มีสารคงรูปก็พบว่าสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล สมบัติการต้านแรงฉีกขาด และการทนน้ำมันทั้ง 4 ชนิดดีกว่าการผลิตแบบพลวัต และสูตรที่มียาง 10 wt% แสดงสมบัติทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์และไบโอดีเซลใกล้เคียงกับสูตรยางฟลูออโร(อย่างเดี่ยว) มากที่สุด

คำนำ

เนื่องจากวิกฤตน้ำมันแพงและปัญหาโลกร้อนได้รับความสนใจมากขึ้น ทำให้มุ่งเน้นให้ลดการปล่อยมลพิษ การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและการหาแหล่งพลังงานทางเลือก(นอกเหนือจากแหล่งเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม) กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (fatty acid methyl esters) จากไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เมล็ดเรพ (rape seed, เป็นพืชน้ำมันมีมากแถวยุโรปและอเมริกาให้เป็น rapeseed methyl ester, RME) ถั่วเหลือง (ให้ soy methyl ester, SME ใช้มากในสหรัฐอเมริกา) ทานตะวัน งา ผ้าย ถั่วลิสง ละหุ่ง สนุดดำ มะพร้าว ปาล์ม (พืชน้ำมันที่มีมากในเอเชีย) เป็นต้น เป็นทางเลือกสู่การดัดแปรเป็นเชื้อเพลิงที่เรียกว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel) ที่อาจใช้จากกรดไขมันล้วน หรือผสมกับดีเซลในสัดส่วนต่างๆ เช่น 2 % 5% ซึ่งก็จะเรียกย่อๆว่า B100, B2, B5 (ตัวเลขท้ายแสดงปริมาณกรดไขมันที่ผสม) เป็นต้น หรือเอทานอลที่ได้จากการหมักวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่นกากน้ำตาล นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซิน (gasoline) โดยนิยมผสมเอทานอลกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนต่างๆ เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (gasohol) เรียกย่อๆว่า E5, E20, E85, E95หรือE100 ซึ่งตัวเลขท้ายแสดงปริมาณของเอทานอลที่ผสม ทั้งนี้รัฐบาลมุ่งรณรงค์ให้ประชาชนหันมาใช้พลังงานทดแทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยไม่ได้ให้คำแนะนำในด้านวัสดุเครื่องยนต์ว่าจะใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเป็นขี้หรือมีความเป็นตัวทำลายมากขึ้นได้หรือไม่อย่างไร เชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาใหม่นำไปสู่ข้อกำหนดการใช้งานของชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับเชื้อเพลิงทางเลือกหรือระบบส่งกำลัง ซึ่งได้แก่ การทนสารเคมีที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นเวลานานๆ หรือมีความต้านทานต่อการซึมผ่าน (Permeation resistance) ของทั้งไบโอดีเซลและแก๊สโซฮอล์ มีรายงานว่าอุปกรณ์เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอมากขึ้นเพราะมีแรงดันจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น¹ การที่มีแอลกอฮอล์ ทำให้มีน้ำหรือเกลือแร่ปะปนในน้ำมันเบนซินจึงเพิ่มความกัดกร่อนแบบกัลวานิก (galvanic corrosion)² ทำให้ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ(ยกเว้นอลูมิเนียม) เช่นทองแดง ทองเหลือง สังกะสีและเหล็กถูกกัดกร่อนรุนแรง ส่วนวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ได้แก่วัสดุพอลิเมอร์ทั้งยางและพลาสติกที่เคยเคยใช้กับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้ดีนั้นอาจใช้ไม่ได้กับเชื้อเพลิงทางเลือก เช่นพอลิยูรีเทนและยาง Buna-N (Nitrile rubber, NBR) ที่ทนน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ก็ยังได้รับความเสียหายมาก

Yeager et al. (1991)³ ทำการทดลองความทนทานของพลาสติกคอมโพสิตกับน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งที่เติมเอทานอล (15%) เมทานอล (15-85%) และน้ำมันหล่อลื่น พบว่าการเติมแอลกอฮอล์มากกว่า 20 % ในน้ำมันเบนซินจะทำให้วัสดุในล่อนทุกชนิดมีความแข็งแรงลดลง 35 % เพราะแอลกอฮอล์ทำหน้าที่เป็น plasticizer เมทานอลเป็น plasticizer ได้ดีมากกว่าเอทานอล และมีผลกระทบรุนแรงที่สุดที่สัดส่วนเติม 35% Pierce และ Marshall (1991)⁴ ทดสอบพลาสติกพอลิยูรีเทน Isoplast กับเบนซิน ที่ 60 °C พบว่ามีผลกระทบ

¹ Nautiyal, P.C., Gondal, A.K., Kumar, D. (1989) Wear and lubrication characteristics of a methanol-fuelled compression ignition engine. A comparison with pure diesel and bifuel operation, *Wear* 135 (1), pp. 67-78

² Foulkes, F.R., Kalia, R.K., Kirk, D.W. (1980) Preliminary study of the corrosiveness of methyl fuel/gasoline blends on materials used in automotive fuel systems, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 58(5), 654-659

³ Yeager, C., Carreno, C., Zellock, C. (1991) Effects of alternate fuels and automotive fluids on engineering thermoplastic composites, *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings* 37, pp. 1515-1521

⁴ Pierce, R.J., Marshall, G.L. (1991) Effects of elevated temperature exposure to automotive fuel blends of rigid thermoplastic polyurethanes, *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings* 37, pp. 1512-1514

เล็กน้อย แต่เมื่อเติม 15% เอทานอลหรือเมทานอลพบว่าเกิด plasticizing effect ทำให้ความแข็งแรงดิ่งลดลง จาก 47% เป็น 72% และความทนแรงกระแทกแบบ Izod ลดลงจาก 26% เป็น 83%

Kathios *et al.* (1992)⁵ รายงานว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เคยใช้เป็นวัสดุทำถังน้ำมันเพราะต้านทานน้ำมันเบนซินได้ดี แต่เมื่อมีเอทานอลทำให้การต้านทานการซึมผ่านลดลง

Kubo (2002)⁶ รายงานว่าถังน้ำมันเบนซินที่ทำจากพลาสติกไนลอนและพอลิอะซิทัล (polyacetal) ทนทานต่อน้ำมันเบนซินได้ดีเยี่ยมแต่ไม่ทนทานต่อแก๊สโซฮอล์

สำหรับชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยาง เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ เมทานอลจะเป็นตัวสร้างความเสียหายให้กับชิ้นส่วนยางมากที่สุด⁷ อุตสาหกรรมจึงให้ความสนใจกับชิ้นส่วนยางที่มีการใช้งานที่สัมผัสแก๊สโซฮอล์เป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าความเสียหายจากการบวมและการลดลงของสมบัติเชิงกลของยางชนิดต่างๆ ยกเว้นยางฟลูออโร (Fluoroelastomer หรือ FKM) จากการสัมผัสเบนซินหรือแอลกอฮอล์ล้วนๆ อย่างใดอย่างหนึ่งจะน้อยกว่าการสัมผัสกับน้ำมันผสมของเบนซินและแอลกอฮอล์มากๆ ซึ่งอธิบายได้จากความสามารถในการละลายที่ดีขึ้น และสามารถทำนายค่าความแข็งแรงดิ่งและระยะยืดจนขาดได้จากการบวมโดยตรง⁸ ชิ้นส่วนยางที่ใช้ในระบบลำเลียงน้ำมันนิยมทำจากยาง NBR ซึ่งถือว่าไม่ทนแก๊สโซฮอล์ไม่ว่าระยะเวลาใดๆ ก็ตาม⁹ จึงต้องหาวัสดุทดแทนจึงได้มีการศึกษาการทนน้ำมันต่างๆ Gasoline, Diesel oil, jet fuel, methanol, ethanol และ gasohol ตามวิธี ISO R 1817 and DIN 51604-A โดยใช้ยาง NBR ยางฟลูออโร ยางพอลิซัลไฟด์ (polysulphide rubber) และยางฟลูออโรซิลิโคน (Fluorosilicone rubber)¹⁰ ยางที่เหมาะสมคือยางฟลูออโรที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าทนทานต่อเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ได้ดี เพราะมีพันธะคาร์บอนกับฟลูออรีน (C-F) ที่เพิ่มความทนทานน้ำมันได้สูง ยางฟลูออโรจึงเป็นยางชนิดเดียวที่ทนทานต่อเชื้อเพลิงต่างๆ ได้ดีที่สุด โดยทั่วไปยางฟลูออโรใช้งานได้ดีในช่วง -68 °C ถึง 232 °C ยางฟลูออโรซิลิโคน¹¹ เป็นอีกตัวหนึ่งที่เริ่มใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นเนื่องจากมีทั้งฟลูออรีนและซิลิโคนในโครงสร้างเคมี สามารถนำไปใช้เป็นข้อต่อ ปะเก็น และแผ่นไดอะแฟรมหมุนเวียนไอเสีย (exhaust gas recirculating (EGR) diaphragms) ทำให้แผ่นไดอะแฟรมคงรูปได้จากการยับยั้งเคลื่อนไหวและทนทานต่อน้ำมันและไอแก๊สโซฮอล์ ทำงานได้ดีในช่วง -57 °C ถึง 175 °C ถ้ามีไอ และถึง 225 °C เมื่อมีแต่ความร้อน

ปัญหาวิจัยก็คือการทำยางเพื่อเป็นวัสดุยานยนต์ที่ทนแก๊สโซฮอล์ได้มากขึ้น นั่นคือการทำยางทนสารเคมีมากขึ้นทั้งในภาวะปกติและภาวะอุณหภูมิสูง โดยมีการใช้ยางธรรมชาติร่วมด้วยเพื่อเพิ่มมูลค่า ยางพารา(NR)และลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ได้ นั่นคือการเตรียมยางผสมระหว่างยางทนสารเคมีซึ่งก็คือยางฟลูออโรและยางพาราที่ทนขั้วได้ดี เเท่านี้ยังไม่พอ ยังต้องลดโอกาสยางผสมสัมผัสน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยตรง ด้วยการฝังในเนื้อพอลิเมอร์ที่ละลายยาก ก็คือพลาสติกกึ่งผลึก พลาสติกยังช่วยให้สมบัติการไหลดีขึ้นง่าย

⁵ Kathios, Daniel J., Ziff, Robert M., Petrulis, Algis A., Bonczyk, John C. (1992) Permeation of gasoline-alcohol fuel blends through high-density polyethylene fuel tanks with different barrier technologies, *SAE Technical Paper Series*, pp. 1-14

⁶ Kubo, K., Masamoto, J. (2002) Application of elastomer-toughened poly(phenylene sulfide) to gasohol material, *Kobunshi Ronbunshu* 59 (2), pp. 88-92

⁷ Thomas, Eric (1981) WILL GASOHOL AFFECT THE RUBBER IN YOUR CAR?, *Materials engineering* 93 (3), pp. 46-50

⁸ Abu-Isa, Ismat A. (1984) Effects of methanol/gasoline mixtures on elastomers, *SAE Special Publications*, pp. 71-86

⁹ Cheng, C.W., Bayer, K. (1982) Compatibility of gasohol and alcohols with elastomers, *KAUTSCH GUMMI KUNSTST V* 35 (N 10), pp. 837-842

¹⁰ Nagdi, K. (1980) Effects of fuels on sealing materials, *MASCHINE* 34, Nov. 1980, pp. 41-42

¹¹ Monroe, Carl (1983) Fluorosilicone rubber performance in fuels, *Automotive Engineer (London)* 8 (1), pp. 40-41

ในที่นี้จึงเลือก high density polyethylene (HDPE) ที่ทนความร้อนสูงและสามารถก่อโครงสร้างร่างแหเชื่อมขวางได้ในภาวะที่มีเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้น้ำมันไขมันมากขึ้นว่าโอกาสการละลายหรือเสีयरูปจะลดลงไปอีก แต่ก็ต้องเลือกสภาวะผสมที่ดีเพื่อให้การไหลขึ้นรูปเป็นไปได้ด้วย จึงนำไปสู่วิธีการผสมแบบพลาสต์โดยใช้สารคงรูปเป็นเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น thermoplastic elastomer (TPE) หรือ thermoplastic vulcanizate (TPV) เท่านั้นยังไม่พอ ได้เพิ่มเติมการศึกษาการนำ organoclay ซึ่งปกติจะเพิ่มให้สารที่ผสมเข้าด้วยกันมี barrier property ที่ดี จึงคาดว่าน่าจะเสริมให้การต้านทานน้ำมันและเอทานอลของยางผสม TPV ดีขึ้นอีก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการคงรูปและการทนน้ำมันของยางพลาสต์ที่มีส่วนผสมของยางพาราที่สัดส่วนต่างๆ และเตรียมโดยการวัลคาไนซ์แบบพลาสต์

วิธีการวิจัย

วัสดุ

ยางฟลูออโร (FKM) เกรด GF600S จากบริษัท ดูปองท์ (ประเทศไทย) จำกัด ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR5L จากบริษัท บ้านแพนรีเสิร์ช แลบบอราทอรี จำกัด พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เกรด H5480S จากบริษัท ปีโตรเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด สารเคมีอื่นๆ ได้แก่ Calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จาก Fluka (reagent grade) Stearic acid จาก บริษัท นีโอพลาสติกโตเมอร์ จำกัด Talc จาก บริษัท นีโอพลาสติกโตเมอร์ จำกัด Dicumyl peroxide (DCP) จาก Fluka (reagent grade) 2,5-Dimethyl-2,5-di(t-butyl peroxy) hexane (DBPH) จาก Fluka (reagent grade) Methanol (CH_3OH) จากบริษัท แพลสแกน จำกัด Bentonite จากบริษัท นิปปอน เคมิคอล จำกัด นำมาแลกเปลี่ยนประจุกับ Dodecylamine จาก Aldrich เพื่อใช้เป็น organoclay ในงานวิจัยนี้ น้ำมันที่ทดสอบได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล (B5), น้ำมันแก๊สโซฮอล์20 (E20), น้ำมันแก๊สโซฮอล์91, น้ำมันแก๊สโซฮอล์95 ได้จากปั้มน้ำมัน ปตท.

วิธีการทดลอง

เตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ยางฟลูออโรและยางธรรมชาติ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 1 นำไปผสมในเครื่องผสมแบบภายใน Brabender Plastograph ทำการผสมยางที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที โดยผสมสารเป็นลำดับในตารางที่ 2

ตารางที่ 1: สูตรยางที่ใช้ในการผสม

สูตรที่ผสม	HDPE (กรัม)	ยางฟลูออโร (กรัม)	ยางธรรมชาติ (กรัม)
สูตรที่ 1	30	60	10
สูตรที่ 2	30	55	15
สูตรที่ 3	30	50	20
สูตรที่ 4	30	35	35

นำยางที่ผสมเสร็จทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น นำยางที่ได้เข้าเครื่อง compression-mold (Wabash V50H Press) ด้วยแรงอัด 20 ตัน ใช้เวลาให้ความร้อน 5 นาที เวลาในการอัดขึ้นรูป 25 นาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำแผ่นชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 2: ขั้นตอนในการผสมยาง

เวลาในการผสม (นาที)	ขั้นตอนการผสม	
	การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยาง แบบไม่เติม Organo clay	การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยาง แบบเติม Organo clay
0	เติม HDPE	เติม HDPE
5	เติมยางฟลูออโร	เติมยางฟลูออโร
10	เติมยางธรรมชาติ	เติมยางธรรมชาติ
15	เติม Ca(OH)_2 3 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม Organo clay 3 ส่วน/100ส่วนยาง
18	เติมกรดสเตียริก 0.25 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม Ca(OH)_2 3 ส่วน/100ส่วนยาง
21	เติม Talc 3 ส่วน/100ส่วนยาง	เติมกรดสเตียริก 0.25 ส่วน/100ส่วนยาง
24	เติม DBPH 1 ส่วน/100ส่วนยาง	เติม Talc 3 ส่วน/100ส่วนยาง
27	นำยางออกจาก internal mixer	เติม DBPH 1 ส่วน/100ส่วนยาง
30		นำยางออกจาก internal mixer

นำตย. ไป ทดสอบสมบัติคงรูปด้วยเครื่อง Moving disk rheometer (MDR) ตรวจวิเคราะห์ด้วย Scanning electron microscopy (JEOL JSM-5410 LV Model) ใช้ทำการตรวจสอบพื้นที่ผิว ด้วยการนำชิ้นงานมาหักในไนโตรเจนเหลว แล้วเคลือบผิว (sputtering) ด้วยทองคำก่อนนำไปวัด การทดสอบสมบัติเชิงกล Mechanical Testing (ตัดตัวอย่างและวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยยาง) ทดสอบแรงดึง โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1) ทดสอบแรงฉีกขาด โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1) ทดสอบการทนต่อแรงยืดจนขาด โดยใช้มาตรฐาน ISO 37 (Type 1) ทดสอบความแข็ง (shore A) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D2240

การทดสอบการทนน้ำมัน เป็นการศึกษากการบวมของยาง โดยใช้มาตรฐาน ASTM D471 ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และ 100°C เป็นเวลา 7 วัน

คำนวณด้วยสูตร $\text{Swelling Index} = \frac{w_2}{w_1} \times 100$

โดย w_1 = น้ำหนักของยางก่อนบวม w_2 = น้ำหนักของยางหลังบวม

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน และปริมาณผลึก

ผลการทดลองนี้ได้จากการผสมยาง FKM, NR กับ HDPE ธรรมดา โดยไม่ใช้เปอร์ออกไซด์เพื่อคงรูป และการผสมที่มีเปอร์ออกไซด์คงรูป ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 3 โดยเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เป็นไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ที่ 0.1 wt% (หากใช้ปริมาณเปอร์ออกไซด์สูงกว่านี้ ปฏิกิริยาเชื่อมขวางจะรุนแรงรวดเร็ว ทำให้ยางผสมกลายเป็นขุยเป็นผงไม่สามารถยัดรวมเป็นก้อนได้) เป็นการทดสอบเบื้องต้นว่าโครงสร้างผลึกใน HDPE จะเปลี่ยนแปลงเป็นลดลงเหลือปริมาณผลึกราว 50 % โดยปริมาณยางที่เติมไม่มีผลชัดเจนต่อปริมาณผลึกแต่มีแนวโน้มว่าอุณหภูมิหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางและการเกิดการคงรูป ทั้งนี้เพราะการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้น สามารถปกป้องผลึกให้หลอมเหลวยากขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวมีแข็งแรงขึ้น การคงรูปมีผลทำให้ปริมาณผลึกลดลง 4-5%

ตารางที่ 3: แสดงอุณหภูมิหลอมเหลวและค่าความเป็นผลึก

HDPE/FKM/NR	System	T _m (°C)	Crystallinity (%)
30/60/10	with peroxide	130.17	47.154
30/55/15	with peroxide	132.51	53.480
30/50/20	with peroxide	130.83	49.984
30/35/35	with peroxide	133.51	51.021
30/60/10	without peroxide	131.17	53.276
30/55/15	without peroxide	130.83	54.807
30/50/20	without peroxide	130.50	55.589
30/35/35	without peroxide	131.17	54.314

ผลทดสอบการคงรูป

เมื่อเพิ่มปริมาณยาง (ตารางที่ 4-5) เวลา scorch และเวลาคงรูปมีค่าเพิ่มขึ้น แรงบิดมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเติม organoclay 3 phr เข้าไป scorch time ก็ยาวขึ้น แต่เวลาคงรูปลดลง แรงบิดต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้น แรงบิดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย การคงรูปเกิดเร็วขึ้นเป็น 10 เท่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิคงรูปจาก 150 °C เป็น 180 °C

ตารางที่ 4: แสดงเวลาที่ี่ยงเกิดการคงรูปที่อุณหภูมิ 150 °C โดยเครื่อง MDR

อุณหภูมิ 150 °C					
HDPE/FKM/NR (wt%)	tc50 (min)	tc90 (min)	ts2 (min)	MH (lbf.in)	ML (lbf.in)
30/60/10	17.30	55.43	7.19	12.34	1.37
30/55/15	19.41	67.49	8.11	13.51	0.94
30/50/20	18.48	66.14	8.07	12.02	1.08
30/35/35	24.43	66.54	11.55	10.06	0.31
30/60/10+clay	15.17	46.27	8.33	13.18	2.49
30/55/15+clay	21.30	56.10	9.40	12.24	2.18
30/50/20+clay	23.19	61.20	10.06	12.75	2.62
30/35/35+clay	25.06	67.10	10.41	12.09	2.91

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

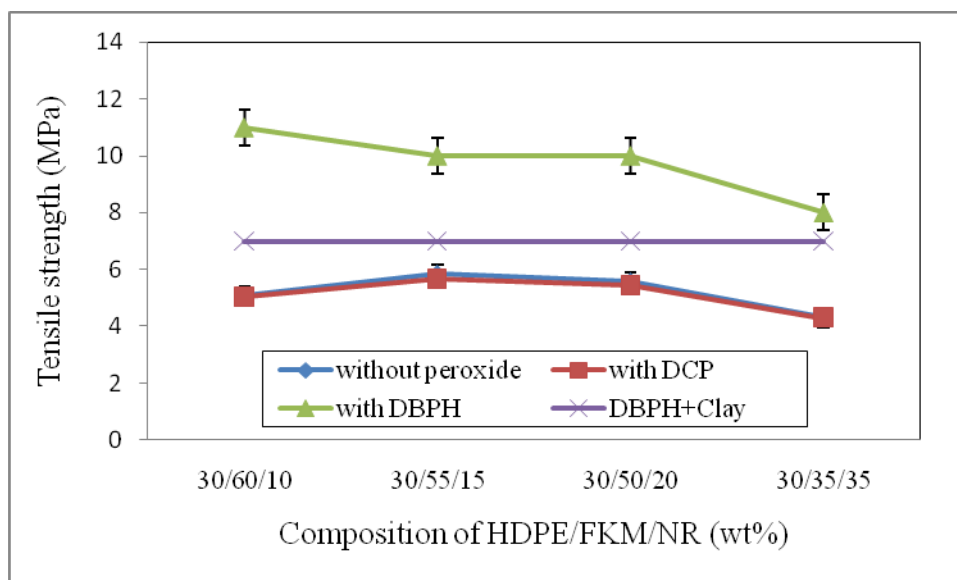
การต้านแรงดึงแสดงดังรูปที่ 1 จะพบว่าสูตรยางที่มีปริมาณยางฟลูออโรลดลงแต่ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการต้านแรงดึงมีแนวโน้มค่าลดลง สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการต้านแรงดึงที่สูง ส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH+organo clay จะให้ค่าการต้านแรงดึงรองลงมา ในขณะที่สูตรยางที่ผสมด้วย DCP จะให้ค่าการต้านแรงดึงน้อยที่สุดอันเนื่องมาจาก ปริมาณการเติม DCP มีปริมาณจำกัดซึ่งหากใส่ในปริมาณที่มากกว่า 0.5 ส่วนใน 100 ส่วนยางที่อุณหภูมิ 150 °C จะทำให้ยางผสมกลายเป็นผง ดังนั้น DBPH จึงเป็นตัว curing agent ที่เหมาะสมมากกว่า DCP

การทนต่อแรงยืดจนขาดแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการทนต่อแรงยืดจนขาดมากที่สุด ในขณะที่สูตรยางที่ผสมด้วย DCP จะให้ค่าการทนต่อแรงยืดจนขาดน้อยที่สุด นอกจากนี้เมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นการทนต่อแรงยืดจนขาดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการได้รับความยืดหยุ่นจากยางธรรมชาติ ความแข็งแรงต้าน การฉีกขาดแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ความแข็งแรงต้านการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH+organo clay ทั้ง

สองสูตรนี้มีแนวโน้ม ความแข็งแรงต้าน การฉีกขาดลดลงเมื่อสูตรยางมีปริมาณยางฟลูออโรลดลงและยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DCP และไม่ผสม peroxide จะให้ความแข็งแรงต้านการฉีกขาดน้อย เพราะการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ มีประสิทธิภาพต่างกัน ความแข็งแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าสูตรยางที่ผสมด้วย DBPH, DBPH+organo clay, DCP และไม่เติม peroxide จะให้ค่าความแข็งแรงสูงใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5: แสดงเวลาที่ยางเกิดการคงรูปที่อุณหภูมิ 180°C โดยเครื่อง MDR

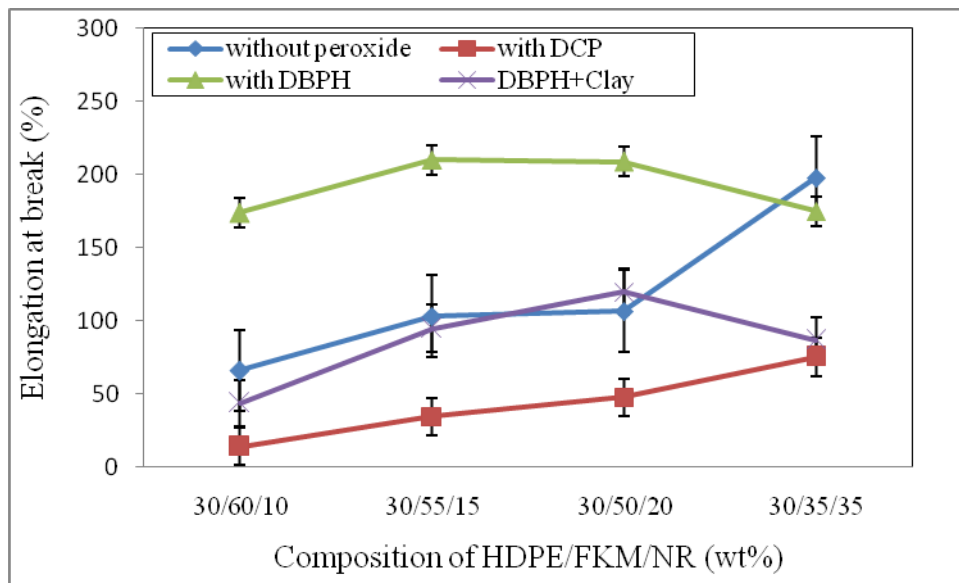
อุณหภูมิ 180°C					
HDPE/FKM/NR (wt%)	tc50 (min)	tc90 (min)	ts2 (min)	MH (lbf.in)	ML (lbf.in)
30/60/10	1.18	4.33	0.51	12.50	1.04
30/55/15	1.26	4.46	0.51	13.00	0.84
30/50/20	1.43	5.31	0.55	12.39	0.54
30/35/35	2.33	7.20	1.25	9.21	0.22
30/60/10+clay	1.35	4.37	1.03	13.34	3.19
30/55/15+clay	1.41	5.11	1.05	11.58	2.42
30/50/20+clay	1.47	5.21	1.06	13.07	3.05
30/35/35+clay	2.00	5.53	1.11	11.69	2.41



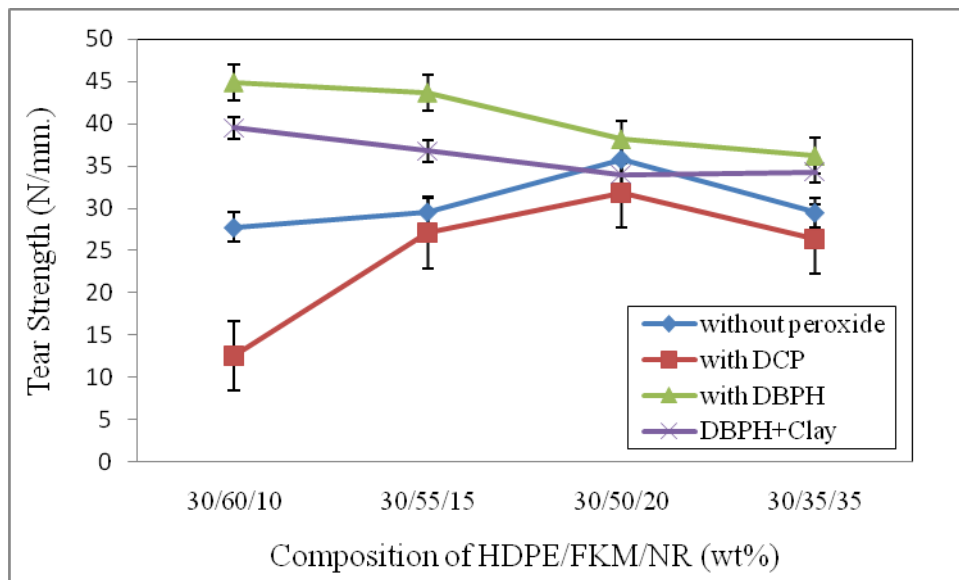
รูปที่ 1: แสดงความสัมพันธ์ของการต้านแรงดึง (MPa)

ผลการทดสอบการทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 91 E20 และไบโอดีเซล B5

การบวมของยางในน้ำมันแสดงดังรูปที่ 5-8 พบว่าสูตรยางที่มีปริมาณของยางฟลูออโรลดลงและปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆเพิ่มขึ้น โดยยางที่มีสูตร 30/60/10 จะให้ค่าการบวมของยางในน้ำมันน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งเมื่อมีการเติม organo clay ลงไปในสูตรยาง

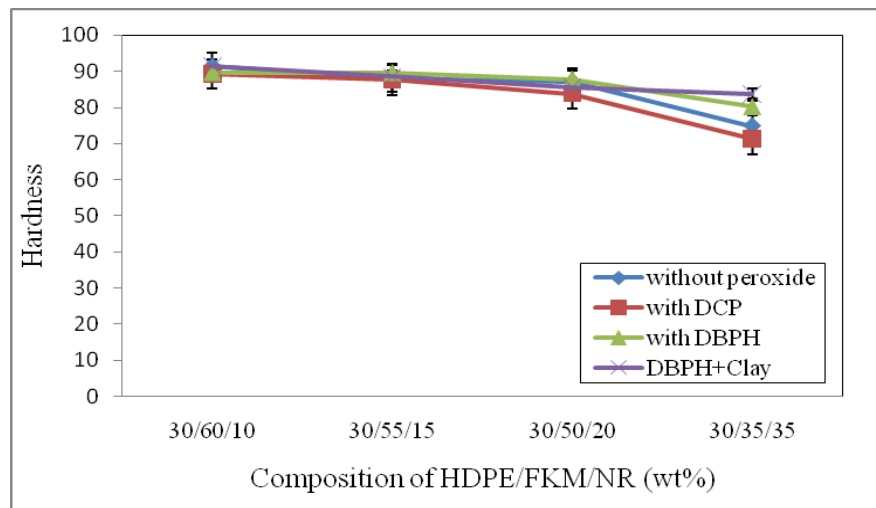


รูปที่ 2: แสดงความสัมพันธ์ของการทนต่อแรงยืดจนขาด (%)

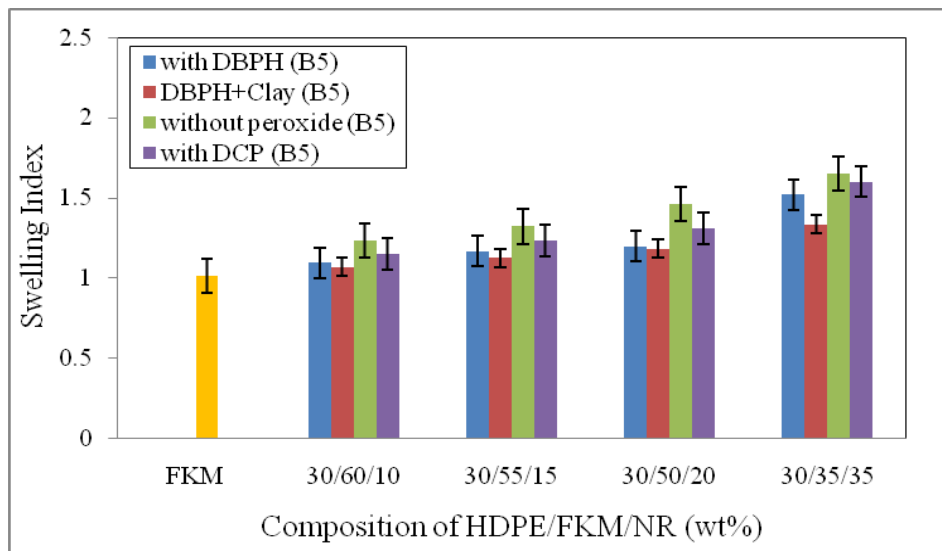


รูปที่ 3: แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงด้านการฉีกขาด (N/mm)

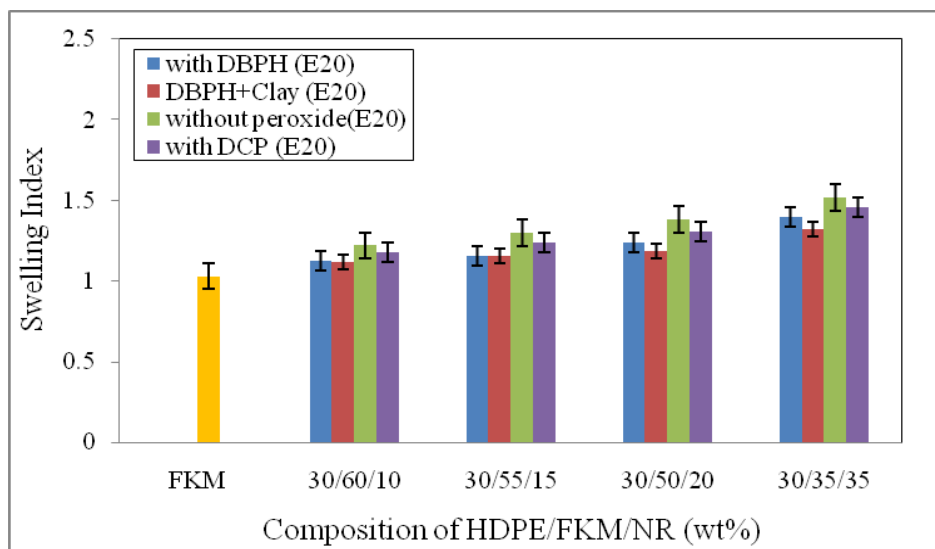
จะทำให้มีค่าการบวมของยางลดลงกว่าชนิดที่ไม่เติม organo clay แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของ organo clay ที่กระจายตัวอยู่ในยางมีส่วนช่วยให้ยางมีความทนทานต่อน้ำมันมากขึ้น เมื่อพิจารณารูปที่ 6-9 แสดงการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆที่อุณหภูมิห้องพบว่ายางเกิดการบวมไม่เกิน 50% เมื่อเทียบกับยางฟลูออโร GF600S โดยเฉพาะสูตร 30/60/10 + organo clay จะได้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S สำหรับตารางที่ 6 แสดงการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 100°C ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการแช่ยางที่อุณหภูมิห้องแต่จะให้ค่าการบวมของยางเพิ่มขึ้นโดยสูตร 30/60/10 และ 30/55/15 จะให้ค่าการบวมของยางไม่เกิน 50% ส่วนยางสูตร 30/50/20 และ 30/35/35 จะให้ค่าการบวมของยางไม่เกิน 70% จากผลการบวมของยางจะพบว่ายางสูตร 30/60/10 + organo clay จะให้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S มากที่สุด



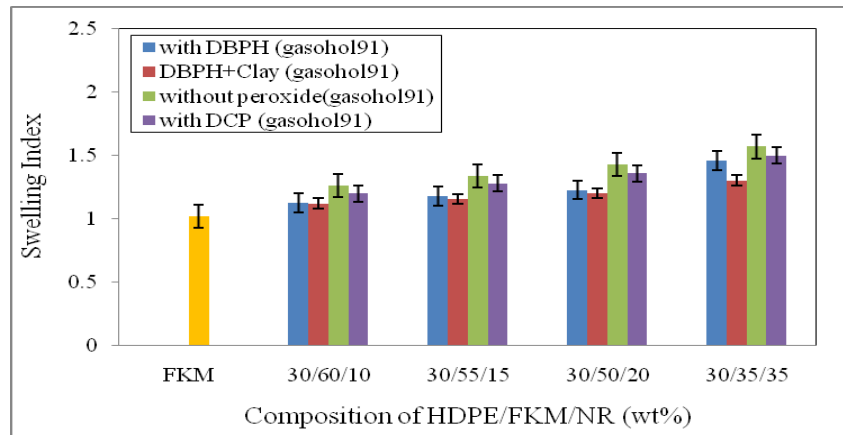
รูปที่ 4: แสดงความสัมพันธ์ของความแข็ง



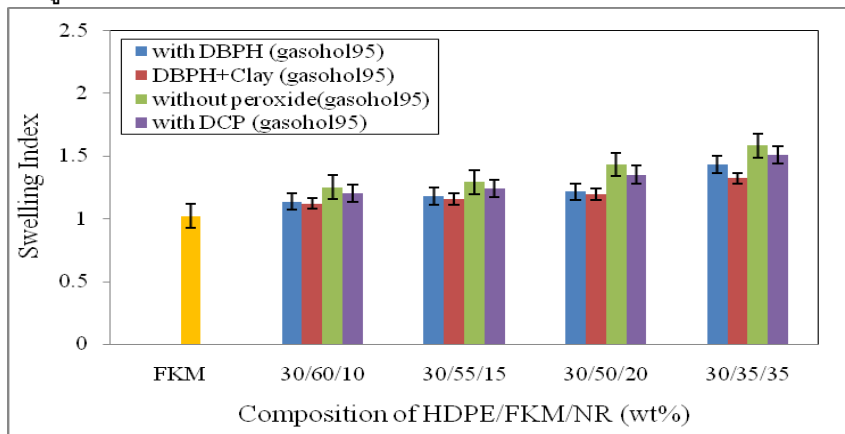
รูปที่ 5: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 6: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20



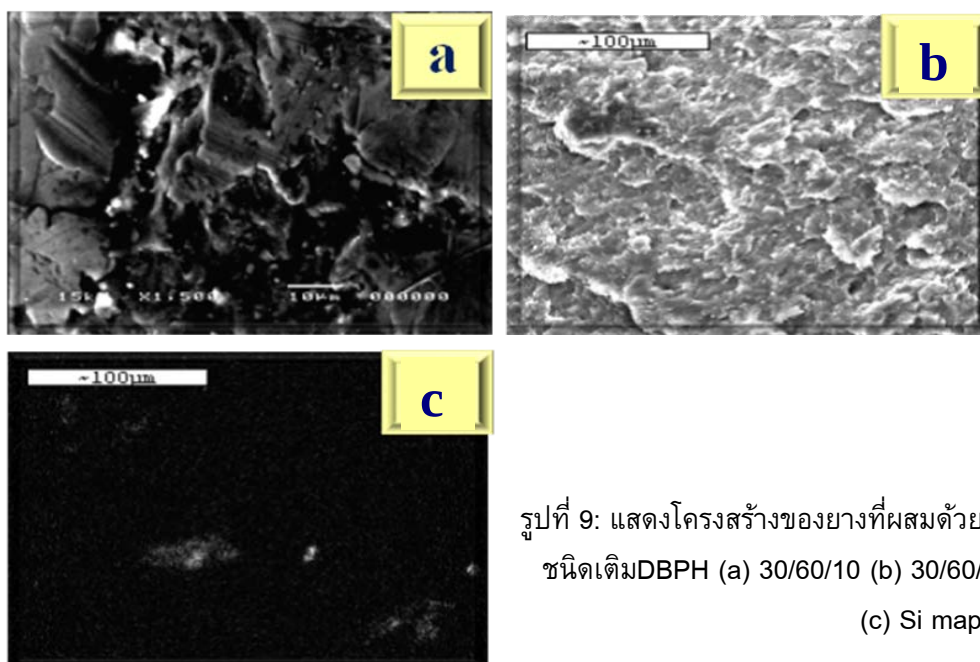
รูปที่ 7: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91



รูปที่ 8: แสดงความสัมพันธ์ของการบวมของยางในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95

ผลการศึกษารูปออสัณฐาน โดย SEM

รูปที่ 9 พบว่าสูตรยาง 30/60/10 มีอนุภาคของยางขนาดประมาณ 1 ไมครอน กระจายตัวอยู่ในเฟสของพลาสติก เฟสยางและพลาสติกสามารถเข้ากันได้ดี สอดคล้องกับสมบัติเชิงกลที่ดี เมื่อเติม organo clay รูป 9c ผล EDX แสดง Si และ Al ซึ่งเป็นธาตุหลักของ organo clay กระจายอยู่ทั่วแผ่นยาง



รูปที่ 9: แสดงโครงสร้างของยางที่ผสมด้วย HDPE/FKM/NR ชนิดเติม DBPH (a) 30/60/10 (b) 30/60/10 + organoclay (c) Si mapping of 30/60/10

ตารางที่ 6: แสดงผลการบวมน้ำมัน

B5 at 100°C				
	30/60/10	30/55/15	30/50/20	30/35/35
with DBPH (B5 100°C)	1.30	1.42	1.43	1.73
DBPH+Clay (B5 100°C)	1.26	1.28	1.40	1.71
without peroxide(B5 100°C)	1.45	1.56	1.59	1.85
with DCP (B5 100°C)	1.40	1.51	1.54	1.80
E20 at 100°C				
	30/60/10	30/55/15	30/50/20	30/35/35
with DBPH (E20 100°C)	1.45	1.53	1.59	1.71
DBPH+Clay (E20 100°C)	1.34	1.47	1.52	1.77
without peroxide(E20 100°C)	1.52	1.67	1.74	1.89
with DCP (E20 100°C)	1.48	1.63	1.69	1.83
gasohol91 at 100°C				
	30/60/10	30/55/15	30/50/20	30/35/35
with DBPH (gasohol91 100°C)	1.26	1.39	1.53	1.69
DBPH+Clay (gasohol91 100°C)	1.14	1.27	1.51	1.55
without peroxide(gasohol91 100°C)	1.38	1.53	1.68	1.79
with DCP (gasohol91 100°C)	1.33	1.48	1.63	1.74
gasohol95 at 100°C				
	30/60/10	30/55/15	30/50/20	30/35/35
with DBPH (gasohol95 100°C)	1.24	1.25	1.28	1.53
DBPH+Clay (gasohol95 100°C)	1.16	1.25	1.27	1.49
without peroxide(gasohol95 100°C)	1.39	1.45	1.52	1.68
with DCP (gasohol95 100°C)	1.34	1.40	1.47	1.63

สรุปผลการทดลอง

ยางผสมชนิด TPV ซึ่งประกอบด้วย HDPE/FKM/NR สัดส่วนโดยน้ำหนัก 30/60/10 30/55/15 30/50/20 และ 30/35/35 สามารถเตรียมโดยกระบวนการผสมวัลคาไนซ์แบบพลวัต มีการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ DBPH สามารถคงรูปได้อย่างรวดเร็วที่ 180 °C ซึ่งให้รูปโปสเตอร์ฐานที่แสดงอนุภาคยางขนาดราว 1 ไมครอนกระจายในเนื้อพลาสติก ที่แสดงว่ายางทั้งสองและพลาสติกสามารถเข้ากันได้ดี ปริมาณผลึกในพลาสติกพอลิเอทรีนมีค่าราว 47-51% ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักกับปริมาณยาง แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเกิดการคงรูป สมบัติเชิงกลมีค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงต้านการฉีกขาดและความแข็งแรงลดลงเมื่อยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นและเมื่อเติม organoclay แต่มีความทนต่อแรงยืดจนขาดสูงขึ้น ความทนไปโอดีเซลและแก๊สโซฮอล์ 95 91 E20 ที่ปริมาณยางธรรมชาติน้อย 10 wt% จะดีที่สุดใกล้เคียงกับยางฟลูโอโรคงรูป และมีค่าการบวมมากขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติม organoclay ช่วยให้การบวมลดลงทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง

คำขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว. (RDG5150047)



การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรและยางธรรมชาติ

Dynamic vulcanization of Fluoroelastomer and Natural Rubber

รศ.ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ และ นางสาวชัมัยพร แยม่อม

หน่วยวิจัยกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์และวัสดุนาโนพอลิเมอร์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

โทรศัพท์ (662) 2184133 E-mail:Rathanawan.K@chula.ac.th



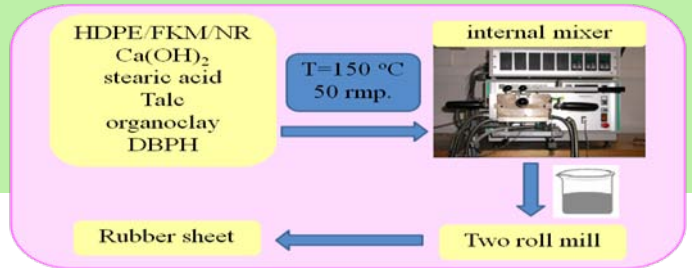
ปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนเช่นน้ำมันแก๊สโซฮอล์หรือไบโอดีเซลได้รับความสนใจจากประชาชนเป็นอย่างมากและก็ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลเพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนและวิกฤตน้ำมันแพง วัสดุที่ใช้ในระบบน้ำมันพลังงานทดแทน จำต้องได้รับการปรับปรุงใหม่ให้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงขอเสนอเทคนิคการวัลคาไนซ์แบบพลวัตของการผสมยางธรรมชาติ (NR)ยางฟลูออโร (FKM)และพอลิเอทิลีน (HDPE)เพื่อให้ได้ชิ้นงานยางเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท (TPV) ซึ่งมีจุดเด่นหลายประการคือ ทำให้ได้ยางที่ทนน้ำมัน และทนตัวทำละลายมีขั้วได้ดีทัดเทียมยางฟลูออโร โดยลดต้นทุนวัสดุได้ 25-50 % อีกทั้งสามารถนำยางธรรมชาติมาใช้ได้มากถึง 35% สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูง ผ่านกระบวนการขึ้นรูปง่าย และมีความเข้ากันดี

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการคงรูปและการทนน้ำมันของยางฟลูออโรที่มีส่วนผสมของยางพาราที่สัดส่วนต่างๆ และพอลิเอทิลีน และออร์กาโนเคลย์ โดยการผสมวัลคาไนซ์แบบพลวัต

วิธีการทดลอง

เวลาในการผสม (นาท)	ขั้นตอนการผสม	
	การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยางแบบไม่เติม Organo clay	การวัลคาไนซ์แบบพลวัตของยางแบบเติม Organo clay
0	เติม HDPE	เติม HDPE
5	เติมยางฟลูออโร	เติมยางฟลูออโร
10	เติมยางธรรมชาติ	เติมยางธรรมชาติ
15	เติม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 3 phr.	เติม Organo clay 3 phr.
18	เติมกรดสเตียริก 0.25 phr.	เติม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 3 phr.
21	เติม Talc 3 phr.	เติมกรดสเตียริก 0.25 phr.
24	เติม DBPH 1 phr.	เติม Talc 3 phr.
27	นำยางออกจาก internal mixer	เติม DBPH 1 phr.
30		นำยางออกจาก internal mixer

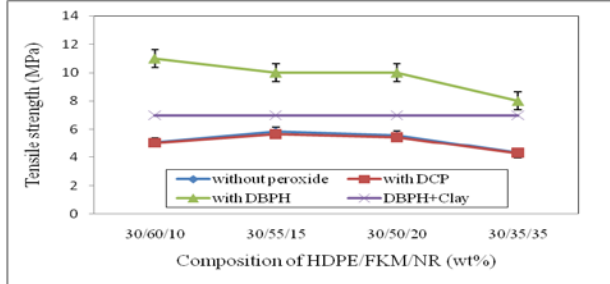


ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

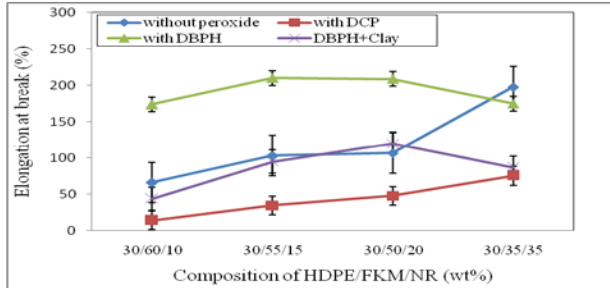
❖ เวลาที่ย่างเกิดการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C

อุณหภูมิ 150°C					
HDPE/FKM/NR (wt%)	tc50 (min)	tc90 (min)	ts2 (min)	MH (lb/in)	ML (lb/in)
30/60/10	17.30	55.43	7.19	12.34	1.37
30/55/15	19.41	67.49	8.11	13.51	0.94
30/50/20	18.48	66.14	8.07	12.02	1.08
30/35/35	24.43	66.54	11.55	10.06	0.31
30/60/10+clay	15.17	46.27	8.33	13.18	2.49
30/55/15+clay	21.30	56.10	9.40	12.24	2.18
30/50/20+clay	23.19	61.20	10.06	12.75	2.62
30/35/35+clay	25.06	67.10	10.41	12.09	2.91

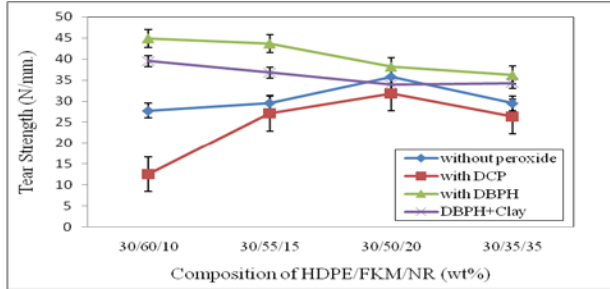
❖ ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล



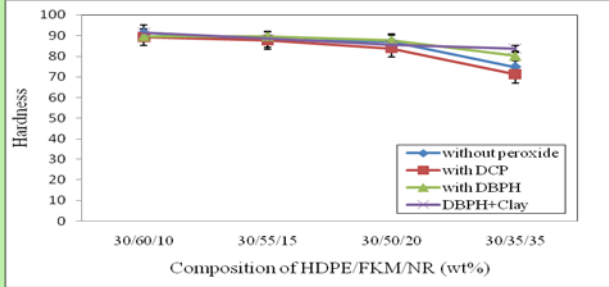
ยางที่มีปริมาณยางฟลูออโรลดลงแต่ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการต้านแรงดึงมีแนวโน้มค่าลดลง สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการต้านแรงดึงที่สูงที่สุด



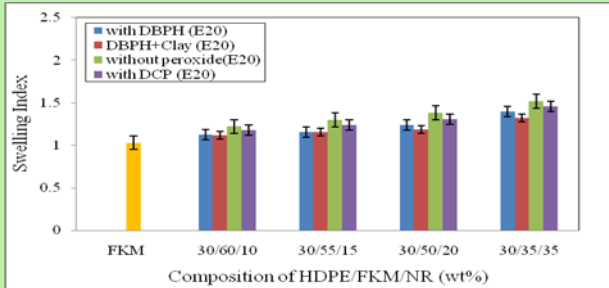
สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการทนต่อแรงยึดจนขาดมากที่สุด เมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นการทนต่อแรงยึดจนขาดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการได้รับความยืดหยุ่นจากยางธรรมชาติ



สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH จะให้ค่าการฉีกขาดมากที่สุด ส่วนสูตรยางที่ผสมด้วย DCP และไม่ผสม peroxide จะให้ค่าการฉีกขาดน้อย ซึ่งอาจมีผลมาจากตัว curing agent ที่ทำให้การเชื่อมโยระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์มีประสิทธิภาพต่างกัน

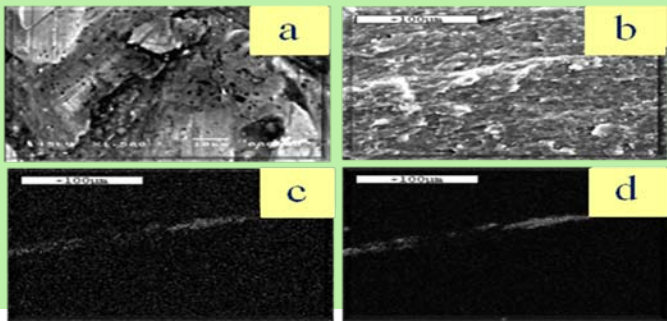


สูตรยางที่ผสมด้วย DBPH, DBPH+organo clay, DCP และไม่เติม peroxide จะให้ค่าความแข็งสูงใกล้เคียงกัน



สูตรยางที่มีปริมาณของยางฟลูออโรลดลงและปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการบวมของยางในน้ำมันชนิดต่างๆเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติม organo clay ลงไปในสูตรยางจะทำให้มีค่าการบวมของยางลดลงกว่าชนิดที่ไม่เติม organo clay แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของ organo clay ที่กระจายตัวอยู่ในยางมีส่วนช่วยให้ยางมีความทนทานต่อน้ำมันมากขึ้น สูตร 30/60/10 + organo clay จะให้ค่าการบวมของยางใกล้เคียงกับยางฟลูออโร GF600S มากที่สุด

❖ ผลการศึกษารูปอัสฐาน HDPE/FKM/NRโดย SEM



(a) 30/55/15+DBPH (b) 30/55/15+DBPH +Organo Clay

(c)Si mapping of 30/55/15 (d) Al mapping of 30/55/15

อนุภาคของยางกระจายตัวอยู่ในเฟสของพลาสติก (HDPE mitrix) โครงสร้างของสูตรยางที่มีการเติม organo clay จากผล eds จะพบว่ามี Si และ Al ซึ่งเป็นธาตุประกอบหลักของ organo clay กระจายอยู่ทั่วแผ่นยาง

สรุปผลการทดลอง

สามารถใช้เทคนิคการผสมแบบพลวัตโดยการผสม FKM, NR กับ HDPE เพื่อให้ได้ยางผสม TPV ที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งแรง และทนน้ำมันได้ทั้งแก๊สโซฮอล์ E20 และไบโอดีเซล โดยเฉพาะในสูตรที่มี NR น้อย (10 %) อย่างไรก็ตามสูตรผสมที่มียางเพิ่มขึ้นจนถึง 35 wt% ก็ยังแสดงผลการบวมเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1% ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง และ organoclay ช่วยให้ทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20 และ B5 ได้ดีขึ้น วิธีนี้ทำให้ลดต้นทุนได้ 25-50 % ตามปริมาณ NR ที่เติมจนถึง 35 wt%

วิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถใช้ปฏิบัติจริงในภาคอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ปะเก็น ซีล ยางได้

เอกสารอ้างอิง

- Shuhong Wang and John M. Legare, *Journal of Fluorine Chemistry*, 122 (2003), pp.113-119.
- David Sunday Ogunniyi and Claude Hepburn, *Iranian Polymer Journal*, 12 (2003), pp. 367-371.
- P. Punarak, S. Tantayanon, and V. Tangpasuthadol, *Polymer Degradation and Stability*. 91(2006), pp.3456-3462.
- C. Nakason, K. Nuansomsri, A. Kaesaman, and S. Kiatkamjornwong, *Polymer Testing*. 25(2006), pp. 782-796.
- H. Ismail, Supri, and A.M.M. Yusof, *Polymer Testing*. 23(2004), pp. 675-683.
- Seong-Je Huang, Jin-Kook Lee and Chang-Sik Ha, *Colloid & Polymer Science*, 282(2004), pp.575-582.