



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซล
ของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรโดยการเติม
พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์

โดย ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์และคณะ

มีนาคม 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซล ของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรโดยการเติม พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรด มาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. มณิสรา พิริยวิรุตม์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. นส.ถลัชนันท์ ลิ้มวงศ์วัฒนานันท์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. นายสรารุท แกมรัมย์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. นายสิริธาดา เวียงแก้ว	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การปรับปรุงสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพารากับยาง
ฟลูออไรด์โดยการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์
 (ภาษาอังกฤษ) Improvement of Biodiesel Resistance Properties of Natural Rubber/ Fluoro
Rubber Blends by adding Polyisoprene-graft-Maleic Acid Monomethyl
Ester

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
 ชื่อ-สกุล ดร. มณิสรา ปิรียวิรุตม์
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 02-470-9217 / 02-872-9080 E-mail Manisara.pee@kmutt.ac.th

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
 ชื่อ-สกุล นางสาวถลันชนันท์ ลิ้มวงศ์พัฒนานันท์
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 084 -0745737 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
 ชื่อ-สกุล นายสรวิฐ แกมรัมย์
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 087-4017402 E-mail -

นักศึกษาหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail
 ชื่อ-สกุล นายสิริธาดา เวียงแก้ว
 หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ที่อยู่ 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ ฯ 10140
 โทรศัพท์/โทรสาร 086-7281376 E-mail -

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2550 ถึงวันที่ 30 มีนาคม 2551

ปัญหาที่ท้าววิจัยและความสำคัญ (โดยย่อประมาณ 5 บรรทัด)

เนื่องจากความแตกต่างทางโครงสร้างทางเคมีระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรทำให้ยางผสมดังกล่าวไม่สามารถรวมกันได้ในระดับโครงสร้างทางจุลภาค ซึ่งทำให้สมบัติของยางผสมคู่นี้ไม่ดีนัก ซึ่งแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ก็คือ การเติมสารเคมีบางตัวที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงทั้งยางพาราและยางฟลูออโรซึ่งจะทำให้เป็นตัวเชื่อมประสาน (Compatibilizer) กับยางทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นตัวเลือกที่น่าสนใจคือ พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ (Polyisoprene-graft-maleic acid monomethyl ester, PI-ME) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การเติม PI-ME ลงในยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรเพื่อปรับปรุงสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมดังกล่าวเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานยางทนน้ำมันไบโอดีเซลที่มียางพาราเป็นวัตถุดิบร่วม

วัตถุประสงค์ (ตามที่ระบุในสัญญาฉบับท้าววิจัย)

เพื่อศึกษาผลของปริมาณพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในการปรับปรุงสมบัติความเข้ากันได้และสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโร

ผลการดำเนินงาน

ยางคงรูปของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรอัตราส่วน 70/30 สามารถเตรียมได้โดยใช้เปอร์ออกไซด์เป็นสารคงรูป โดยใช้อุณหภูมิในการคงรูปเป็น 180 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้เวลาในการสกอซหรือเวลาในการแปรรูปและเวลาในการขึ้นของยางผสมนานขึ้น เนื่องจากส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ซึ่งเป็นสารคงรูปชนิดเปอร์ออกไซด์ ทำให้ปริมาณของ Luperox[®] 101-XL 45 ในระบบมีน้อยลง ทำให้เวลาในการสกอซและเวลาในการขึ้นรูปยางผสมนานขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาผลต่างของค่าทอร์กสูงสุดกับค่าทอร์กต่ำสุดที่ได้จากเครื่อง ODR พบว่าผลต่างของค่าทอร์กของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 0 2.5 5.0 และ 7.5 phr มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 10 phr มีค่าผลต่างของค่าทอร์กที่ต่ำที่สุด

ผลทดสอบความเข้ากันได้ของยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ากรณีเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ เมื่อเติมในปริมาณมากขึ้น ยางผสมจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง มีความขรุขระมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดหลุมและรูพรุนที่ผิวของยางผสม

การศึกษาสมบัติทางกลของยางคงรูปของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรอัตราส่วน 70/30 พบว่าเมื่อปริมาณพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมเพิ่มขึ้น สมบัติการต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง อาจเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่สามารถเชื่อมเฟสของยางผสมได้ แต่กลับรวมตัวกันเอง มีผลทำให้สมบัติทางกลลดลง นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงน้อยลงเนื่องจาก Luperox[®] 101-XL 45 ไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ทำให้ปริมาณของ Luperox[®] 101-XL 45 ในระบบมีน้อยลง การเชื่อมโยงพันธะก็เลยน้อยลงตาม ส่วนการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่มีผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของยางผสม

การศึกษาสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลนั้น จากผลการทดลองพบว่าการบวมตัวของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรอีทราส่วน 70/30 ที่มีการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า ค่าการบวมตัวของยางผสมแปรผันตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ นั่นคือที่ 30 ชั่วโมงค่าการบวมตัวจะต่ำที่สุดและเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 50 70 และ 100 ชั่วโมงตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบคือเปลี่ยนจาก 25 เป็น 70 องศาเซลเซียส การบวมตัวก็จะมากขึ้นด้วย และผลของการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้นการบวมตัวของยางผสมจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีขนาดโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับโมเลกุลยางจึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำให้โมเลกุลของยางผสมเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น น้ำมันไบโอดีเซลจึงแทรกซึมเข้าไปในยางผสมได้ง่ายขึ้นและจากโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่มีความเป็นขั้วเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถละลายในน้ำมันไบโอดีเซลได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้น อาจทำให้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มารวมตัวกันเองและเป็นการเพิ่มเฟสที่ไม่ทนน้ำมันไบโอดีเซล

สรุปผลการวิจัย

ยางคงรูปของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรอีทราส่วน 70/30 สามารถเตรียมได้โดยใช้เปอร์ออกไซด์เป็นสารคงรูปโดยคงรูปที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้เวลาในการสก๊วชและเวลาในการขึ้นของยางผสมนานขึ้น และเมื่อพิจารณาผลต่างของค่าทอร์กสูงสุดกับค่าทอร์กต่ำสุด พบว่าผลต่างของค่าทอร์กของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 10 phr มีค่าผลต่างของค่าทอร์กที่ต่ำที่สุด ส่วนผลการทดสอบความเข้ากันได้ของยางผสมพบว่า พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่สามารถเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของยางพาราและยางฟลูออโร และเมื่อเติมในปริมาณมากขึ้น ยางผสมจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง ผิวไม่เรียบ ในขณะที่สมบัติการต้านทานต่อแรงดึง สมบัติการต้านทานต่อการฉีกขาดและสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรมีค่าลดลง เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมไม่สามารถช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางพาราและยางฟลูออโร เนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีที่ไม่เหมาะสมต่อระบบการคงรูปแบบเปอร์ออกไซด์ของยางผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์อาจจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำเกินไป จึงไม่ช่วยในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางทั้งสองแต่กลับทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์แทนจึงทำให้สมบัติทางกลของยางผสมมีค่าต่ำลง นั่นคือพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโร

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการทดลองเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่คาดว่าจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรนั้น ผลการทดลองพบว่าสมบัติต่างๆของยางผสมลดลง อาจเนื่องจาก Luperox® 101-XL 45 ซึ่งเป็นเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นเปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งมีลักษณะสำคัญ คือ มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับกรด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์พบว่าเป็นสารที่มีความเป็น

กรดอยู่ และส่วนที่เป็นกรดนี้เองที่ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ทำให้การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง ผลทำให้สมบัติทางกลลดลงด้วย จึงควรหาสารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดอื่นที่เหมาะสม หรืออาจจะใช้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เช่นเดิม แต่เปลี่ยนไปใช้สารคงรูปเปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกแทน Luperox[®] 101-XL 45

นอกจากนี้อัตราส่วนของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากมีอัตราส่วนของยางพารามากเกินไป ทำให้สมบัติการทนน้ำมันลดลงมาก การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ อาจไม่มีอิทธิพลเพียงพอที่จะช่วยให้สมบัติดีขึ้นมากนัก

ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

นำเสนอแบบโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ “5th Thailand Materials Science and Technology Conference” เรื่อง “Influent of Polyisoprene-graft-maleic Acid Monomethyl Ester on B5-Biodiesel Oil Resistance of Natural Rubber/ Fluoro Elastomer Blends” วันที่ 18-19 กันยายน 2551

รหัสโครงการ: RDG5050041

ชื่อโครงการ: การปรับปรุงสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรโดยการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์

ชื่อนักวิจัย: ดร. มณิสรา ปิรียวิรุตม์
 นส. ถัสชนันท์ ลิ้มวงศ์วัฒนันท์
 นายสรารัฐ แกมรัมย์
 นายสิริธาดา เวียงแก้ว

สังกัด: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โทรศัพท์: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 9 เดือน

บทคัดย่อ

เนื่องจากยางพาราเป็นยางที่ไม่มีขั้วในโมเลกุล เมื่อสัมผัสกับสารละลายที่ไม่มีขั้วเช่นน้ำมันจะเกิดการบวมตัวขึ้นโดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงเช่น น้ำมันไบโอดีเซลผสม ซึ่งตรงข้ามกับยางฟลูออโรที่เป็นโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วสูง ดังนั้นหากนำยางฟลูออโรผสมกับยางพาราก็จะทำให้ยางผสมสามารถทนต่อน้ำมันที่ไม่มีขั้วได้มากขึ้น แต่เนื่องจากความแตกต่างของความเป็นขั้วของยางทั้งสองทำให้ยางเข้ากันได้ยาก สมบัติต่างๆ ของยางผสมจึงค่อนข้างต่ำ แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือการเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อเชื่อมโยงโมเลกุลยางทั้งสองให้เข้ากัน โดยยางคงรูปของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรในอัตราส่วน 70/30 ซึ่งมีเปอร์ออกไซด์เป็นสารคงรูปและพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้สามารถเตรียมได้โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งและขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด อุณหภูมิในการคงรูปคือ 180 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพฤติกรรมการคงรูปพบว่า ยางผสมมีเวลาในการสกอชและคงรูปนานขึ้นเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์และเมื่อมีปริมาณมากขึ้นก็จะใช้เวลาในการคงรูปนานขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ก็ส่งผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) สมบัติการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) และสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลผสม (B5-biodiesel resistance) ของยางผสมมีค่าลดลง เนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่เหมาะสมกับระบบในการคงรูปแบบเปอร์ออกไซด์จึงทำให้ระดับในการเชื่อมโยงของยางผสมลดลง และการที่พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำเกินไปจึงไม่สามารถเชื่อมโยงเฟสของยางผสมได้แต่กลับทำหน้าที่เหมือนพลาสติกไซเซอร์ในระบบแทน

คำสำคัญ: ยางพารา / ยางฟลูออโร / ยางผสม / น้ำมันไบโอดีเซลผสม / การทนน้ำมัน

Project code: RDG5050041

Project title: Biodiesel resistance rubbers based on natural rubber

Investigators: Dr. Manisara Phiriyawirut
Miss. Thaladchanan Limwongwatthananan
Mr. Sarawut Kaemram
Mr. Sirithada Wiengkaew
Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi

Telephone number: 02-470-9217

E-mail: Manisara.pee@kmutt.ac.th

Project duration: 9 months

Abstract

Swelling in biodiesel oil is drawback of natural rubber (NR) in automotive application. The property can be improved by blending the NR with fluoroelastomer (FKM), which has excellent properties in contact with biodiesel oil. However, the polarity differences of these two materials are a challenging topic for blending. Polyisoprene-graft-maleic mono-methyl ester (PI-ME) was used as a compatibilizer in this work to improve physical properties of NR/FKM blend. Blending ratio is 70/30 NR/FKM, and peroxide is used as a curing agent. Two roll-mills is used for preparing rubber blend compound, and fabricate testing specimen by compression molding at 180°C. The scorch time and cure time of the rubber blend are increased by addition of the compatibilizer, and these cure characteristic time are correlated to amount of compatibilizer. However, the compatibilized rubber blends have inferior properties in elongation, tensile and tear strength, and lower in swelling resistance in B5-biodiesel. The lower property in swelling resistance of compatibilized rubber blend is arisen by decreasing in the crosslink of the polymer blend, which the polyisoprene-graft-maleic mono-methyl ester is not suitable for compatibilize the rubber blend with the peroxide curing system. The low molecular weight of the compatibilizer affect to the ability in crosslink these two phase of rubber, and it also behave like a plasticizer in the blend.

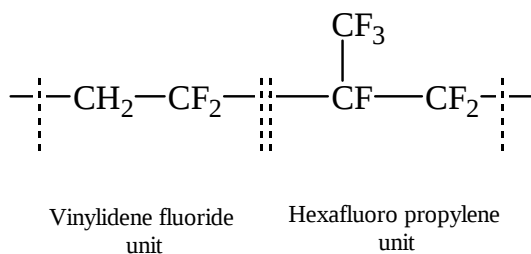
Keyword: Keywords: Natural rubber / Fluoro elastomer / Rubber blend / B5-biodiesel oil / Oil resistance

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

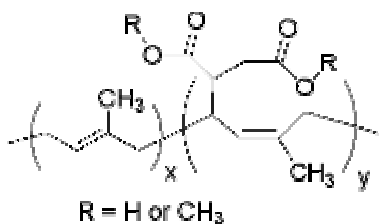
ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น โดยน้ำมันไบโอดีเซลก็เป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้น้ำมันในอนาคต ซึ่งชิ้นส่วนยางในเครื่องยนต์ที่ใช้ในอดีตอาจจะไม่เหมาะสมกับน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้มีความสนใจในการทำวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนายางทนน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบร่วม” ได้รับทุนวิจัยในโครงการ SPR ปี 2549 ซึ่งเป็นการศึกษาอย่างผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโร เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางพาราให้มีสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากความแตกต่างทางโครงสร้างทางเคมีของยางพาราและยางฟลูออโร ทำให้ยางผสมดังกล่าวไม่สามารถรวมกันได้ในระดับโครงสร้างจุลภาค ซึ่งทำให้สมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมคู่นี้ไม่ดีนัก แต่ก็ยังดีกว่าค่าที่ได้จากการคาดหมาย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่ามีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพื่อปรับปรุงสูตรยางผสม NR/FKM เพื่อให้ได้สมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีและลดต้นทุนการผลิตไม่สูงเกินไป การทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วนระหว่าง NR/FKM เป็น 70/30 มาทำการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้สมบัติการทนน้ำมันเพิ่มขึ้น

จากกราฟความแตกต่างของโครงสร้างเคมีและความเป็นขั้วระหว่างความยางฟลูออโรและยางพาราทำให้ยางทั้งสองชนิด ไม่สามารถเข้ากันได้ในระดับจุลภาค ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของยางผสมโดยการที่ยางทั้ง 2 ไม่สามารถรวมกันได้นั้น บริเวณที่เกิดการแยกชั้นของยางทั้งสอง จะเป็นจุดที่เกิดการแตกหักได้ง่ายที่สุด แนวทางหนึ่งในการเพิ่มความสามารถในการอยู่ร่วมกันของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมกันได้คือ การเติมสารตัวที่สามที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับทั้งพอลิเมอร์ชนิดที่หนึ่งและสอง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า สารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) โดยสารดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่เชื่อมโยงพอลิเมอร์ชนิดที่หนึ่งและสอง ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ทำให้บริเวณดังกล่าวสามารถเชื่อมโยงกันได้ และไม่เกิดการแตกหักง่าย ซึ่งสารเพิ่มความเข้ากันได้ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็น บล็อกหรือกราฟโคพอลิเมอร์

จากการศึกษาการผสมยางฟลูออโรกับยางอะไครเลตพบว่า ยางฟลูออโรซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง ไวนิลิดีน ฟลูออไรด์ (Vinylidene fluoride) กับเฮกซะฟลูออโรพโรพิลีน โมโนเมอร์ (Hexafluoropropylene) สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับยางอะไครเลตได้ เนื่องจากสามารถสร้างพันธะระหว่างหมู่ $-CF_3$ ของยางฟลูออโรกับหมู่ $C=O$ ของยางอะไครเลต [1] ดังนั้นในการเลือกสารเพิ่มความเข้ากันได้กับยางฟลูออโรควรจะเป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่มีหมู่ $C=O$ ซึ่งพบว่า พอลิไอโซพรีน- กราฟ – กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีในสายโพลีหลักเป็นพอลิไอโซพรีนที่มีโครงสร้างเหมือนยางพารา ในขณะที่เป็นกราฟของกรดมาเลอิก โมโนเอสเทอร์ที่มีหมู่ $C=O$ ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับยางฟลูออโรได้ ดังนั้นพอลิไอโซพรีน- กราฟ – กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาเติมลงในยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโรเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ของยางผสมทั้งสองชนิด



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของยางฟลูออโร



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์
(Polyisoprene-graft-maleic acid monomethyl ester)

จากสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางฟลูออโรแต่มีราคาแพง และยางพาราที่มีราคาถูก รวมทั้งความต้องการในการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบในประเทศมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโร ที่มีการเติม พอลิไอโซพรีน- กราฟ – กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เพื่อเพิ่มสมบัติความเข้ากันได้ของยางผสม ซึ่งถือเป็นการลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ทนต่อน้ำมันไบโอดีเซล และช่วยส่งเสริมการใช้และเพิ่มมูลค่ายางพาราภายในประเทศมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบและประเมินสมบัติต่างๆ ของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรที่มีการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งเป็นมาตรฐานของยางทนความร้อนและยางทนน้ำมัน
2. เพื่อศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ในการพัฒนาสูตรยางและผลิตภัณฑ์ยางจากยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโร

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ น้ำมันที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารแล้วมาแปรสภาพ โดยผ่านขบวนการเคมีกับแอลกอฮอล์ ได้เป็นน้ำมันชนิดใหม่อยู่ในรูปของ เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ซึ่งสามารถใช้เป็น เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ซึ่งมีคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของกรดไขมัน ที่มีขนาดเล็ก-ใหญ่ และจำนวนพันธะคู่ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลต่อค่าซีเทน (ค่าซีเทนเป็นตัวบอกรูณคุณภาพการจุดระเบิด คล้ายกับค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน) [2] โดยในการวิจัยนี้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) คือ น้ำมันไบโอดีเซล B5 ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลปกติ 95% ผสมกับไบโอดีเซล B100 5 % โดยปริมาตร โดยไบโอดีเซล B100 เป็นสารประเภทเมทิลเอสเทอร์ซึ่งได้มาจากการนำน้ำมันที่ได้จากพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ผ่านการทำอาหารแล้วมาทำปฏิกิริยาเคมีกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี หรือที่เรียกว่า Trans-esterification ทั้งนี้ไบโอดีเซล B100 มีสมบัติทางเคมีคล้ายกับน้ำมันดีเซลมาก จึงสามารถใช้ผสมหรือใช้แทนน้ำมันดีเซลได้

H. Ismail และ H.M. Hairunezam [3] ได้ทำการศึกษาผลของการเติมตัวประสานในการผสมกันระหว่างยางสไตรีนกับยางอีพอกซีที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานน้ำมัน พบว่าการเติม ESBS (Styrene-(Epoxidized butadiene)-styrene triblock copolymer) ซึ่งเป็นตัวประสาน (Compatibilizer) จะช่วยให้เวลาในการคงรูป ส่วนค่าสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สมบัติความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) และค่าโมดูลัสการยืดตัวที่ 300 % (M300) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากปริมาณของ ESBS จะมีผลต่อสมบัติดังกล่าวแล้วเมื่อพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณยางอีพอกซีสูงขึ้นก็จะให้ผลเช่นเดียวกันโดยพอลิเมอร์ผสมที่เติม ESBS จะมีสมบัติการต้านทานน้ำมันดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติม ESBS

S.H. EL-Sabbagh [4] ศึกษาการใช้รังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอทิลีน-โพรพิรีน-ไดออกไซด์ (EPDM) จากการศึกษพบว่ารังสีแกมมาจะช่วยให้การสร้างพันธะเชื่อมโยงนอกจากนี้การเติมสารเชื่อมประสานชนิดต่างๆ เช่น อีพิตีเอ็ม-กราฟ-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (EPDM-g-MAH) ยางพอลิบิวตะไดออกไซด์ ยางคลอโรไคนิต คลอโรซิลฟอนเตพอลิเอทิลีน และพอลิไวนิลคลอไรด์จะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ของยางผสมดังกล่าว

M.A. Kader และ A.K. Bhowmick [5] ศึกษาสมบัติการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและการบวมตัวในตัวทำละลาย เช่น โทลูอีน ไดเอทิล อีเทอร์ และ เมทิล เอทิล คีโตน ของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางอะไครเลตที่มีการเติม Polyfunctional acrylate เป็นตัวเชื่อมประสาน จากผลการทดลองพบว่ายางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางอะไครเลตที่มีการเติม Polyfunctional acrylate จะมีความต้านทานต่อการสลายตัวเนื่องจากความร้อนและความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายเพิ่มขึ้น

A. Ghosh และ S.K. De [1] ศึกษาสมบัติทางกายภาพและพฤติกรรมการขึ้นรูปของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางซิลิโคนซึ่งจากการทดลองพบว่าพฤติกรรมการขึ้นรูปของยางฟลูออโรสามารถปรับปรุงได้ด้วยการผสมยางซิลิโคนที่มีความหนืดต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมการขึ้นรูป สมบัติทางกล ความสามารถในการลู่ติดไฟของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรกับยางซิลิโคนสามารถควบคุมได้โครงสร้างทางสัณฐาน (Morphology) ของยางผสมดังกล่าว ซึ่งจากโครงสร้างทางสัณฐานของยางผสมนี้พบว่ามีแยกเป็น 2 เฟส โดยที่ยางซิลิโคนทำหน้าที่เป็นเฟสต่อเนื่อง (Matrix phase) ในขณะที่ยางฟลูออโรจะมีลักษณะเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง (Disperse phase) กระจายอยู่ในเฟสของยางซิลิโคน

C. Sirisinha [6] ทำการศึกษาการต้านทานน้ำมัน การทนต่อความร้อน และความเสถียรเมื่อเจอกับความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างคลอโรไคนิตพอลิเอทิลีน (CPE) กับยางธรรมชาติ จากการศึกษพบว่าในการผสมกันของ CPE กับยางธรรมชาติ อาจจะต้องมีการเติมตัวประสานเพื่อช่วยให้พอลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้ดีขึ้นซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกเติม Ethylene-propylene diene monomer graft maleic anhydride (EPDM-g-MA) ที่มีความเข้มข้น 1 phr โดยเติมสารดังกล่าวลงในยางผสมจะช่วยให้ขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติที่กระจายอยู่บน CPE ให้มีขนาดลดลงซึ่งส่งผลให้ความเสถียรต่อความร้อน การต้านทานน้ำมัน และการทนต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมสูงขึ้นด้วย ซึ่งสมบัติดังกล่าวสามารถวัดได้จากความต้านทานของแรงดึงที่เปลี่ยนไป

วิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์

1. เครื่องบดผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ยี่ห้อ Chaichareon รุ่น 12546
2. เครื่อง Oscillating die rheometer (ODR) รุ่น GT-707052
3. เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression mold)
4. เครื่องทดสอบความทนแรงดึง (Tensile tester) รุ่น Instron 2532
5. เครื่องทดสอบความทนต่อการฉีกขาด (Tear resistance tester) ยี่ห้อ LLOYD
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204-S

2. สารเคมีในการผสมยาง

1. ยางพารา (Natural rubber: NR) เกรด STR 5L
2. ยางฟลูออโร (Fluoro elastomer, FKM) เกรด GF-S600 จากบริษัทดูปองต์ ค่าความหนืดมูนนี่ (ML 1+10 120°C) เป็น 65

3. 2, 5-Dimethyl-2, 4-bis (*t*-butyl peroxy) hexane 45% active ingredient (Luperox® 101-XL 45) สารวัลคาไนซ์ จากบริษัท Atofina ประเทศสิงคโปร์
4. *N*-1, 3-Dimethylbutyl-*N'*-phenyl-*p*-phenylene-diamine (6PPD) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ
5. 2, 2, 4-Trimethyl-1, 2-dihydroquinoline (TMQ) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ
6. เขม่าดำเกรด 660 สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing fillers)
7. Triallyl isocyanurate (SR533) สารเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเปอร์ออกไซด์ จากบริษัท Sartomer ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. Natural vegetable wax (VPA No. 2) สารช่วยในการขึ้นรูปของยางฟลูออโร
9. พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ (PI-ME) น้ำหนักโมเลกุล 25,000 จากบริษัท SIGMA-ALDRICH

3. สูตรในการผสมยางพารากับยางฟลูออโร

สูตรในการผสมยางพารากับยางฟลูออโรดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรในการผสมยางพารากับยางฟลูออโร

สารประกอบ	ปริมาณสารที่ใช้ในสูตรต่าง ๆ (phr)				
	1	2	3	4	5
ยางพาราเกรด STR 5L	70	70	70	70	70
ยางฟลูออโร Viton GF-S600	30	30	30	30	30
PI-ME	0	2.5	5.0	7.5	10.0
เขม่าดำ N 660	10	10	10	10	10
6 PPD	2	2	2	2	2
TMQ	2	2	2	2	2
Luperox® 101-XL 45	3	3	3	3	3
DIAC TM No.7	3	3	3	3	3
VPA No.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

4. ขั้นตอนการบดผสม

- 4.1 ชั่งสารเคมีและยางให้ได้น้ำหนักตามสูตรต่างๆที่ต้องการบดผสม
- 4.2 ทำการบดยางด้วยเครื่องบดผสมระบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) โดยทำการบดยางพารา ก่อนเป็นเวลา 5 นาที
- 4.3 เติมสารเคมีต่างๆ (ยกเว้น Luperox® 101-XL 45 และ SR533) ลงในยางพาราที่ผ่านการบดแล้ว ทำการผสมเป็นเวลา 3 นาที
- 4.4 เติมยางฟลูออโรลงไปบดผสมเป็นเวลา 10 นาที
- 4.5 เติม SR533 ลงไปบดผสมเป็นเวลา 3 นาที
- 4.6 เติม Luperox® 101-XL 45 ลงไปบดผสมเป็นเวลา 5 นาที

5. การทำให้ยางคงรูป

นำยางที่ผ่านกระบวนการบดผสมตัดให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ 4 ตารางเซนติเมตร แล้วนำเข้าเครื่อง Oscillating die rheometer (ODR) รุ่น Instron GT-707052 เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปยางผสมที่ 90% (t_{c90}) จากนั้นชั่งยางผสมให้มีน้ำหนักประมาณ 50-55 กรัม แล้วใส่ลงไปในเครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression mold) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสตามเวลา T_{c90} จากเครื่อง ODR

6. เตรียมชิ้นงานทดสอบจากยางผสมที่ได้

โดยการตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D412 และแบบแองเกิล (Angle Specimen) ตามมาตรฐาน ASTM D1004 DIE C

7. การทดสอบสมบัติของยาง

7.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

7.1.1 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง (Tensile tester) รุ่น Instron 2532

7.1.2 เครื่องทดสอบความทนต่อการฉีกขาด (Tear resistance tester) ยี่ห้อ LLOYD

7.1.3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204-S

7.2 การทดสอบสมบัติทางกลของยาง

7.2.1 ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength)

ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยใช้เครื่องที่มี Load cell ขนาด 500 นิวตัน ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นงานทดสอบจะถูกตัดเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) ตามแนวการกรีดยางออกมาเป็นแผ่น ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร เครื่อง Tensile tester จะทำการดึงชิ้นงานตัวอย่างจนกระทั่งขาด โดยปริมาณของแรงที่ใช้ในการดึงจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์พร้อมกับค่าการยืดตัวเพื่อประมาณผลและแสดงผลทางจอภาพแล้วทำการบันทึกผลนั้นไว้

7.2.2 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

ใช้วิธีทดสอบมาตรฐาน ISO 34-1: 1994 (E) หรือ ASTM D1004 ที่มี Load cell 500 นิวตัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวชิ้นทดสอบเป็นแบบ Angle (ASTM DIE C) โดยตัดขวางแนวเครื่อง ชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

7.3 การทดสอบโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างสัณฐานวิทยา มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ตัดชิ้นงานจากแผ่นยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ 0.5x2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทำรอยบาก

2. แช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 45 นาที

3. นำชิ้นงานมาหักอย่างรวดเร็วตรงบริเวณที่ทำรอยบาก

4. แช่ชิ้นงานโดยให้ผิวรอยหักสัมผัสกับสารออสเมียมเตตรอกไซด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนกระทั่งชิ้นงานเป็นสีดำ

5. นำชิ้นงานไปเคลือบผิวด้วยทองเพื่อให้นำไฟฟ้า

6. นำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6380LV และใช้ Detector เป็นแบบ Back Scattering Electrons

7.4 การทดสอบการทนต่อน้ำมัน

การทดสอบจะยึดถือตามมาตรฐาน ASTM D471 โดยตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้าง 2 เซนติเมตร ความยาว 2 เซนติเมตร และมีความหนา 2 มิลลิเมตร แล้วทำการชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว จุ่มลงในน้ำมันไบโอดีเซลจากบริษัท ปตท. ที่เตรียมไว้ (น้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้คือ B5 ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำมันดีเซลปกติ 95% ผสมกับไบโอดีเซล B100 5 % โดยปริมาตร) โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 และ 70 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทดสอบเป็น 30 50 70 และ 100 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่ผ่านการแช่น้ำมันมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งโดยจะต้องซับน้ำมันที่ติดอยู่บนผิวของชิ้นงานแห้ง แล้วคำนวณหาร้อยละของการบวมตัวในน้ำมัน (% Swelling) ตามสมการที่ 1

$$\% \text{ swelling} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

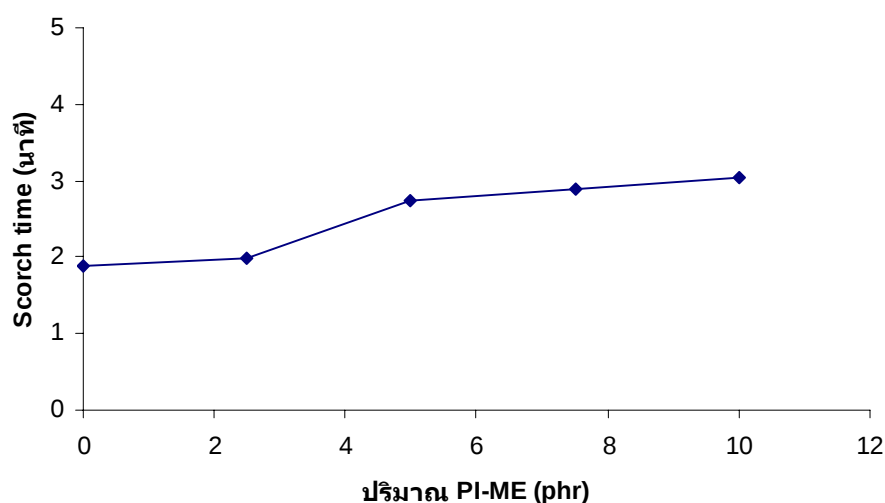
โดยที่ W_1 = น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการแช่น้ำมัน

W_2 = น้ำหนักของชิ้นงานภายหลังการแช่น้ำมัน

ผลการวิจัย

1. พฤติกรรมการคงรูปของยางผสม

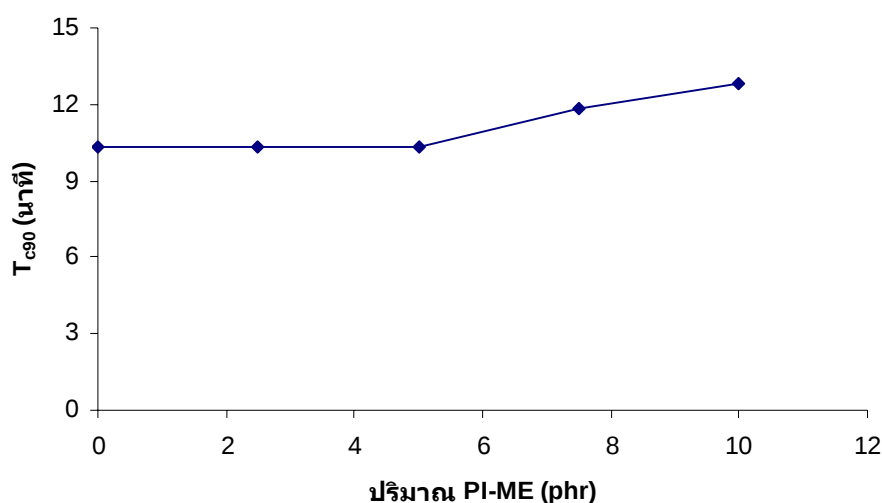
การทดสอบเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโร ไอโซพรีน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ ทำได้โดยตัดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสประมาณ 4 ตารางเซนติเมตร แล้วนำเข้าเครื่อง Oscillating Die Rheometer (ODR) โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส รูปที่ 3 แสดงเวลาในการสกอชของยางผสมที่มีการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 3 เวลาในการสกอชของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรไอโซพรีน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 3 พบว่าเวลาในการสกอหรือเวลาในการแปรรูปของยางผสมเพิ่มขึ้น เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น อาจเนื่องจากผลของการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ซึ่งเป็นของเหลวและมีความหนืดต่ำกว่ายางทั้ง 2 ชนิด ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมยางสายโซ่เกิดได้ช้าลง ทำให้เวลาในการสกอของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางฟลูออโรนารีนขึ้น ตามปริมาณของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่เติมในยางผสม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของ Luperox[®] 101-XL 45 (2, 5-Dimethyl-2, 4-bis (t-butyl peroxy) hexane) ซึ่งเป็นเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในระบบนี้ พบว่าเป็นเปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับกรด [7] และเมื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ พบว่าเป็นสารที่มีความเป็นกรดอยู่ ซึ่งส่วนที่เป็นกรดนี้เองที่ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ทำให้ปริมาณ Luperox[®] 101-XL 45 ที่อยู่ในระบบมีน้อยลง เมื่อมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ในระบบน้อยลง การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง ผลทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นกว่าที่ยางจะคงรูปได้สมบูรณ์

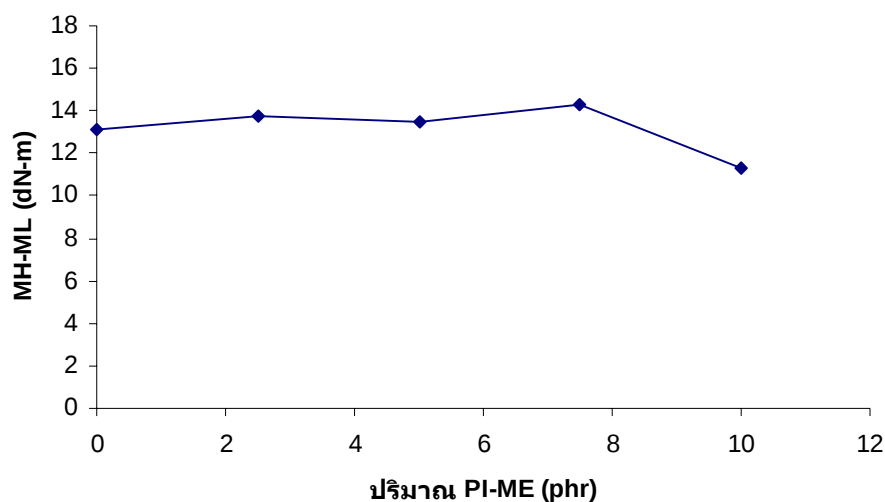
จากรูปที่ 4 แสดงเวลาในการขึ้นรูปยางผสมระหว่างยางธรรมชาติ/ยางฟลูออโร ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติม พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางฟลูออโร เวลาที่ใช้ในการคงรูปก็จะนานขึ้นเนื่องจาก Luperox[®] 101-XL 45 ซึ่งเป็นสารคงรูปชนิดเปอร์ออกไซด์ไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ทำให้ปริมาณของ Luperox[®] 101-XL 45 ในระบบมีน้อยลง ทำให้เวลาในการคงรูปนานขึ้นด้วย



รูปที่ 4 เวลาในการขึ้นรูป (T_{c90}) ยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโร ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ปริมาณต่างๆ

และเมื่อพิจารณาผลต่างของค่าทอร์กสูงสุดกับค่าทอร์กต่ำสุดที่ได้จากเครื่อง ODR จากที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่าผลต่างของค่าทอร์กของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 0 2.5 5.0 และ 7.5 phr มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 10 phr มีค่าผลต่างของค่าทอร์กที่ต่ำที่สุด เพราะพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและอยู่ในรูปของเหลว จึงส่งผลทำให้ค่าผลต่างของค่าทอร์กมีค่าลดลง นอกจากนี้การเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่ 10 phr อาจ

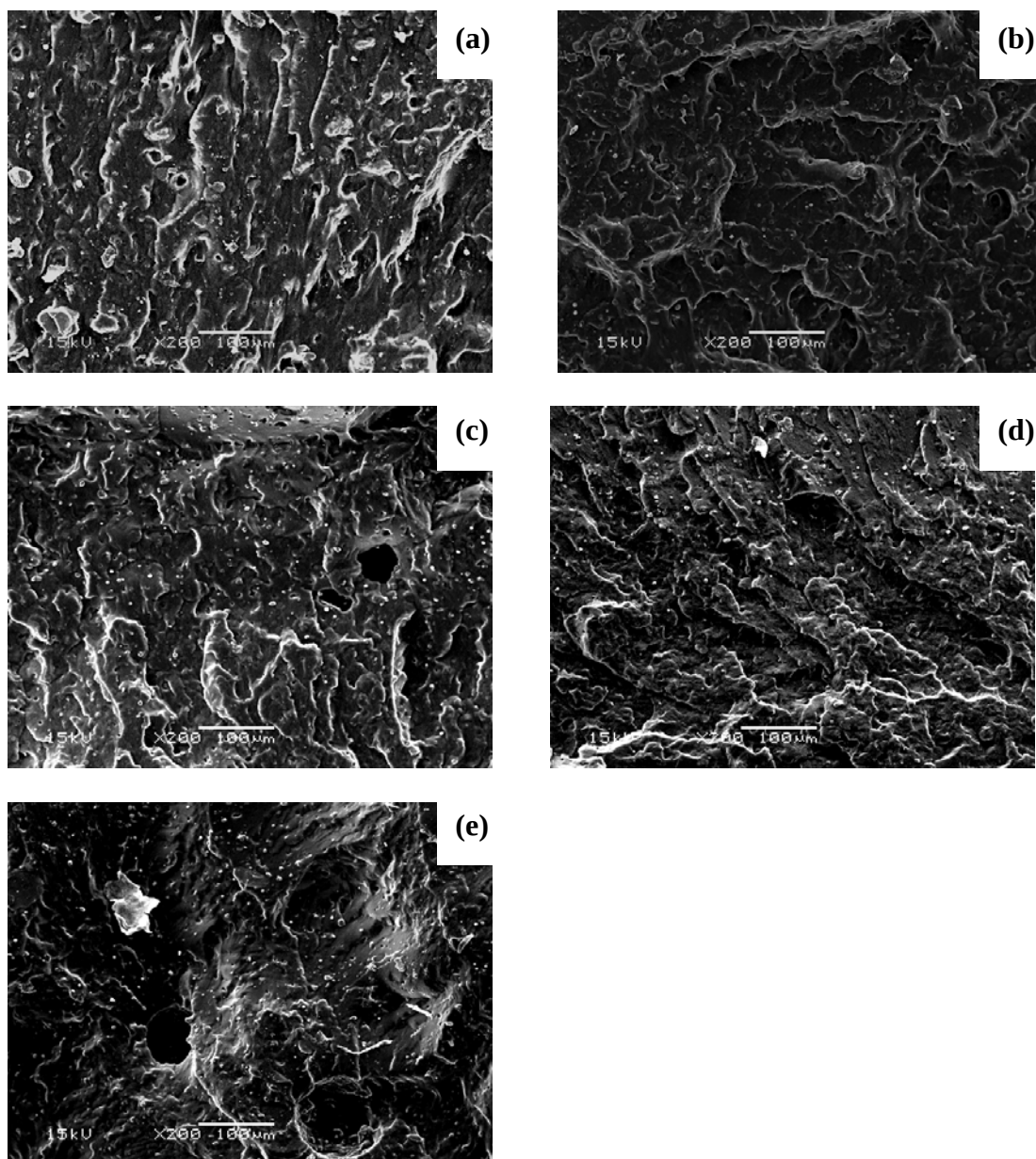
รวมตัวกันเองแทนที่จะแทรกตัวเข้าไปในเฟสของยางพาราและยางพลูออโรเพื่อช่วยเชื่อมโยงให้ยางผสมเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้ใช้แรงบิดน้อยลงในการทำให้จานโลหะของเครื่อง ODR หมุนไปมา จึงส่งผลทำให้ค่าผลต่างของค่าทอร์กมีค่าลดลงต่ำที่สุด



รูปที่ 5 ผลต่างของค่าทอร์กสูงสุดกับค่าทอร์กต่ำสุดของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางพลูออโร ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ปริมาณต่างๆ

2. สมบัติความเข้ากันได้ของยางผสม (Miscibility)

ผลทดสอบความเข้ากันได้ของยางผสมจะทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้ Detector เป็นแบบ Back Scattering Electrons ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานก่อน คือ แช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำชิ้นงานมาหั่นอย่างรวดเร็วตรงบริเวณที่ทำรอยบาก ย้อมสีโดยใช้สารประกอบโลหะคือ ออสเมียมเตตระออกไซด์ (OsO_4) เข้าทำปฏิกิริยากับยางที่มีพันธะคู่ (Staining) ซึ่งก็คือยางธรรมชาติ แล้วนำชิ้นงานไปเคลือบทองเพื่อให้ชิ้นงานนำไฟฟ้า ซึ่งผลจากการทดสอบไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงการแยกเฟสของยางผสมระหว่างยางพารากับยางพลูออโรได้ชัดเจนมากนัก เนื่องมาจากอิทธิพลของเขม่าดำที่เติมลงไปใยางซึ่งทำให้ไม่สามารถแยกบอกความแตกต่างของเฟสของยางทั้งสองได้ แต่ก็สามารถวิเคราะห์ความเข้ากันได้จากความเรียบผิวและความเป็นเนื้อเดียวกันของยางผสมได้ โดยเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น ยางจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลงดังแสดงในรูปที่ 6 สังเกตได้จากกรณีของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางพลูออโรในอัตราส่วน 70/30 ที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่าลักษณะของพื้นผิวจะเรียบที่สุดและเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 2.5 5.0 7.5 phr ความเรียบผิวจะลดลงรวมถึงมีรูขนาดเล็กเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของยาง ส่วนการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 10.0 phr พบว่าเกิดหลุมขนาดใหญ่ที่ผิวของยางผสมอย่างชัดเจน



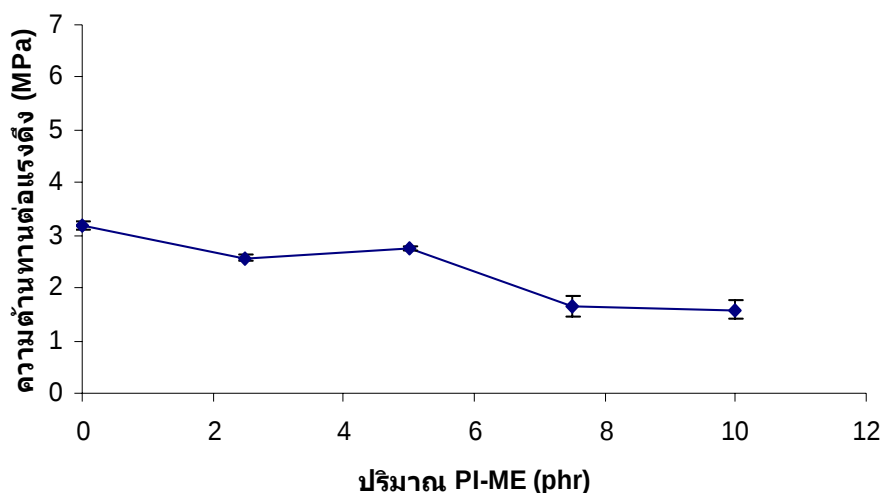
รูปที่ 6 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติ/ยางฟลูออโร อัตราส่วน 70/30 ที่มีการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ

(a) 0 phr (b) 2.5 phr (c) 5.0 phr (d) 7.5 phr และ (e) 10.0 phr

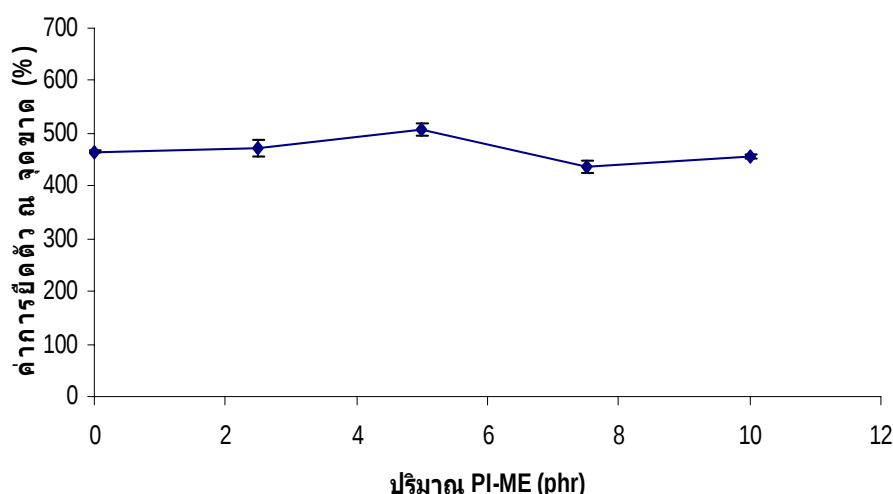
3. สมบัติทางกล

3.1 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโร ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทำได้โดยการตัดชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D412 แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester โดยใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง รูปที่ 7 และ 8 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 7 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรไนอัตราส่วน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ปริมาณต่างๆ



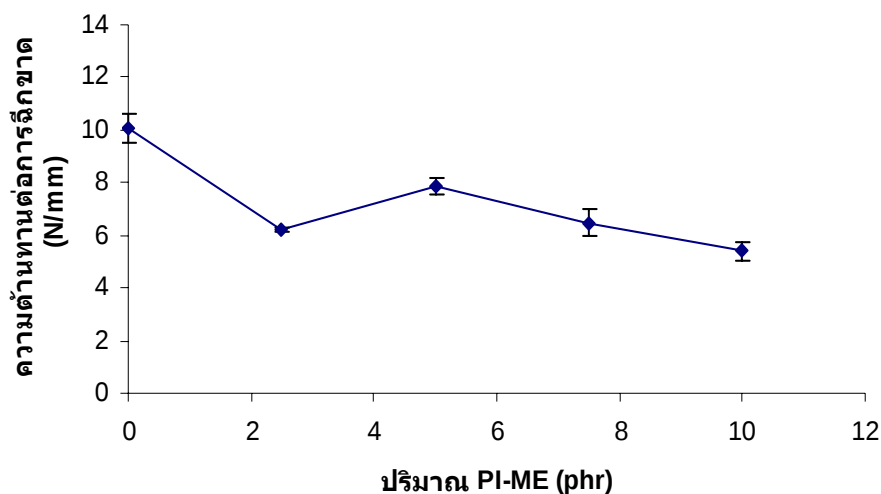
รูปที่ 8 การยืดตัว ณ จุดขาดของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรไนที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์

จากรูปที่ 7 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางฟลูออโรไนที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ จะเห็นว่าแนวโน้มความต้านทานต่อแรงดึงของยางผสมมีค่าลดลงเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ายางธรรมชาติและยางฟลูออโรไอยู่มาก ทำให้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่แทรกตัวเข้าในเฟสของยางทั้งสอง แต่กลับรวมตัวกันเองเป็นเฟสที่สาม ส่งผลให้เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีผลทำให้เกิดเฟสพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เป็นกราฟกรดมาเลอิก โมโนเมทิลเอสเทอร์ ที่เป็นหมู่ขนาดใหญ่ในพอลิไอโซพรีน โดยปกติแล้วพอลิไอโซพรีนจะมีค่าความแข็งแรงสูงเนื่องจากการตกผลึกได้เมื่อเกิดการดึง (Strain induced

crystallization) แต่การที่พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีการดมาเลอิกมาเกาะอยู่บนโครงสร้างทำให้ขัดขวางการตกผลึก มีผลทำให้สมบัติทางกลลดลง ในขณะที่เดียวกันพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์อาจจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในระบบของยางผสมดังกล่าว ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลยางในระบบจะเกิดได้ง่ายขึ้น สมบัติทางกลของยางผสมจึงมีค่าต่ำลง นอกจากนี้ส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซ พรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก ได้ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ทำให้ปริมาณ Luperox[®] 101-XL 45 ที่อยู่ในระบบมีน้อยลง เมื่อมีปริมาณเปอร์ออกไซด์ในระบบน้อยลง การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง มีผลทำให้สมบัติทางกลด้อยลงไปด้วย ทำให้เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมแล้วทำให้ยางผสมมีสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสม ดังแสดงในรูปที่ 8

3.2 สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมพอลิไอโซ พรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ โดยการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D1004 ตัดชิ้นงานเป็นแบบ (Angle ASTM DIE C) แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่อง Tear resistance tester ที่อุณหภูมิห้อง ใช้ Load cell 500 นิวตัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที รูปที่ 9 แสดงความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณต่างๆ



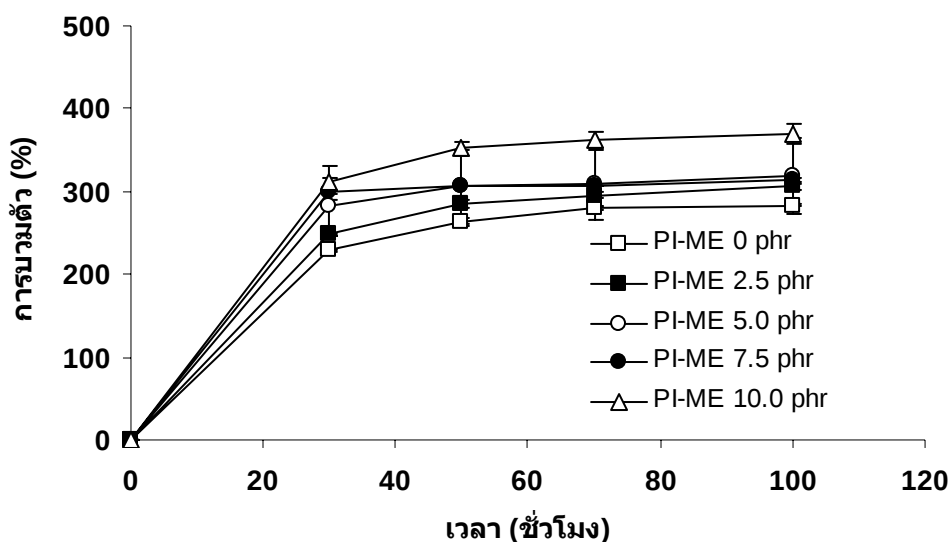
รูปที่ 9 การทนต่อการฉีกขาด ของยางผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซ พรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ปริมาณต่างๆ

ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางผสมระหว่างธรรมชาติกับยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ทำให้ความสามารถในความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง อาจเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่สามารถเชื่อมเฟสของยางผสมได้ แต่ทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์มีผลทำให้สมบัติทางกลลดลง นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการเชื่อมโยงพันธะของยางผสมน้อยลง เพราะส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ได้ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ทำให้ปริมาณ

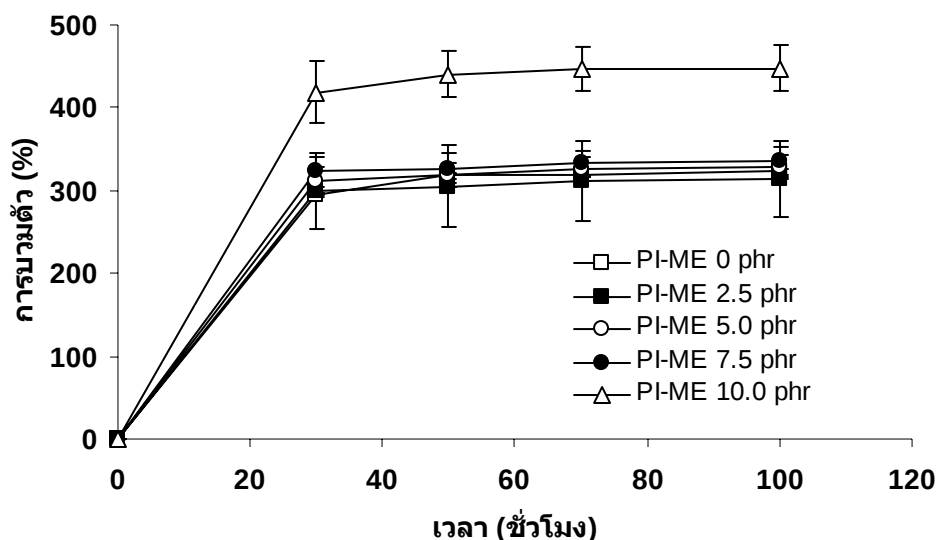
Luperox[®] 101-XL 45 ที่อยู่ในระบบมีน้อยลง ส่งผลให้มีปริมาณเปอร์ออกไซด์น้อยลงที่จะไปทำปฏิกิริยาในการเกิดการเชื่อมโยงพันธะของยางผสม มีผลทำให้สมบัติทางกลด้อยลง รวมถึงสมบัติการทนต่อการฉีกขาดลดลงด้วย ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมปริมาณ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 phr ค่าการทนต่อการฉีกขาดมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากปริมาณของการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นความแตกต่างของค่าการทนต่อการฉีกขาด

4. การบวมตัวในน้ำมันไบโอดีเซล

การบวมตัวของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรในอัตราส่วน 70/30 ที่มีการเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้คือพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 10 และ 11 พบว่า ค่าการบวมตัวของยางผสมแปรผันตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเช่นเดียวกับในกรณีเติมยางธรรมชาติฟอกซีไดซ์ นั่นคือที่ 30 ชั่วโมงค่าการบวมตัวจะต่ำที่สุดและเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 50 70 และ 100 ชั่วโมงตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบคือเปลี่ยนจาก 25 เป็น 70 องศาเซลเซียส การบวมตัวก็จะมากขึ้นด้วย และผลของการเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้เป็นดังนี้คือเมื่อเติมยางพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้นการบวมตัวของยางผสมจะเพิ่มขึ้น โดยกรณีที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์จะมีการบวมตัวน้อยที่สุดเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 2.5 5.0 และ 7.5 phr การบวมตัวจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่เมื่อเพิ่มเป็น 10.0 phr การบวมตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันทั้งที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีขนาดโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับโมเลกุลยางจึงทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ไม่ได้ช่วยประสานระหว่างเฟสของยางทั้ง 2 ชนิด จึงทำให้เกิดการแยกเฟสของยาง และจากโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่มีความเป็นขั้วเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถละลายในน้ำมันไบโอดีเซลได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มารวมตัวกันเองและเป็นการเพิ่มเฟสที่ไม่ทนน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 10 การบวมตัวในน้ำมันไบโอดีเซลที่ 25 องศาเซลเซียสของยางผสมระหว่าง NR/FKM อัตราส่วน 30/70 ที่ 30 50 70 และ 100 ชั่วโมง เมื่อไม่เติม PI-ME และเติม 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 phr



รูปที่ 11 การบวมตัวในน้ำมันไบโอดีเซลที่ 70 องศาเซลเซียสของยางผสมระหว่าง NR/FKM อัตราส่วน 30/70 ที่ 30 50 70 และ 100 ชั่วโมง เมื่อไม่เติม PI-ME และเติม 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 phr

6. วิจัยรณผล

ในการทดสอบการผสมยางพาราบับยางฟลูออโรอัตราส่วน 30/70 เพื่อเตรียมยางผสมที่มีความสามารถในการทนน้ำมันไบโอดีเซลได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 หมวดคือ พฤติกรรมการคงรูป สมบัติความเข้ากันได้ สมบัติทางกล และสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลผสม

การทดสอบพฤติกรรมการคงรูปพบว่ายางผสมระหว่างยางพาราบับยางฟลูออโรอัตราส่วน 30/70 มีเวลาในการสกอชและเวลาในการคงรูป (T_{c90}) นานขึ้น เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น เนื่องจากส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 (2,5-Dimethyl-2,4-bis (*t*-butyl peroxy) hexane) ทำให้ปริมาณ Luperox[®] 101-XL 45 ที่อยู่ในระบบมีน้อยลง เมื่อมีปริมาณเปอร์ออกไซด์น้อยลง การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง ผลทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นกว่าที่ยางจะคงรูปได้สมบูรณ์

เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าทอร์กสูงสุดกับค่าทอร์กต่ำสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ODR พบว่าพบว่าการต่างของค่าทอร์กของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางฟลูออโรที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 0 2.5 5.0 และ 7.5 phr มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 10 phr มีค่าผลต่างของค่าทอร์กที่ต่ำที่สุด เพราะพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและอยู่ในรูปของเหลวจึงทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ โมเลกุลของยางผสมจึงเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลทำให้ค่าผลต่างของค่าทอร์กมีค่าลดลง นอกจากนี้การเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่ 10 phr อาจรวมตัวกันเอง แทนที่จะแทรกตัวเข้าไปในเฟสของยางธรรมชาติและยางฟลูออโร ทำให้ใช้แรงบิดน้อยลงในการทำให้จานโลหะของเครื่อง ODR หมุนไปมา จึงส่งผลทำให้ค่าผลต่างของค่าทอร์กมีค่าลดลงต่ำที่สุด

จากการพิจารณาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา พบว่าเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น ยางจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันลดลง และเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณมากพอ พบว่าจะเกิดรูขนาดเล็กขึ้นที่บริเวณผิวของยางแสดงว่าพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่สามารถช่วยในการเชื่อมโยงระหว่างเฟสของยางพาราและยางฟลูออโร อาจเนื่องมาจากน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่ค่อนข้าง

ต่ำประมาณ 25,000 ทำให้เมื่อผสมลงในยางผสม อาจทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอรแทนที่จะเชื่อมโยงระหว่างเฟสของยางผสมดังกล่าว

การศึกษาสมบัติทางกลของยางคงรูปของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรประกอบด้วยการศึกษาสมบัติการต้านทานต่อแรงดึงและการต้านทานต่อการฉีกขาด จากผลการทดลองพบว่าสมบัติทางกลของยางผสมมีค่าลดต่ำลง เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่ายางธรรมชาติและยางฟลูออโรอยู่มาก ทำให้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่แทรกตัวเข้าไปในเฟสของยางทั้งสอง แต่อาจทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอรแทนที่จะเชื่อมโยงระหว่างเฟสของยางผสมดังกล่าว จึงทำให้สมบัติทางกลของยางผสมต่ำลง นอกจากนี้ส่วนที่เป็นกรดของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก ได้ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox® 101-XL 45 ทำให้ปริมาณ Luperox® 101-XL 45 ที่อยู่ในระบบมีน้อยลง การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง มีผลทำให้สมบัติทางกลด้อยลงไปด้วย

ส่วนการเติมยางพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้นการบวมตัวของยางผสมจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยกรณีที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์จะมีการบวมตัวน้อยที่สุด เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณ 2.5 5.0 และ 7.5 phr การบวมตัวจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่เมื่อเพิ่มเป็น 10.0 phr การบวมตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันทั้งที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องมาจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มีขนาดโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับโมเลกุลยางจึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร ไม่ได้ช่วยประสานระหว่างเฟสของยางทั้ง 2 ชนิด ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น น้ำมันไบโอดีเซลจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในยางผสมได้มากขึ้น และจากโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่มีความเป็นขั้วเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถละลายในน้ำมันไบโอดีเซลได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์มารวมตัวกันเองและเป็นการเพิ่มเฟสที่ไม่ทนน้ำมันไบโอดีเซล

7. สรุปผล

จากการศึกษาพฤติกรรมการคงรูปของยางผสมของยางพาราและยางฟลูออโรในอัตราส่วน 70/30 ที่มีการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ทำให้ยางผสมมีเวลาในการสกอชและการคงรูปนานขึ้น ส่วนค่าผลต่างของค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุด มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยางผสมที่เติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ 10 phr มีค่าผลต่างของค่าทอร์กต่ำที่สุดในขณะที่สมบัติการต้านทานต่อแรงดึง สมบัติการต้านทานต่อการฉีกขาดและสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสมระหว่างยางพารา/ยางฟลูออโรมีค่าลดลง เมื่อเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ในยางผสมไม่สามารถช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางพาราและยางฟลูออโร เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่ไม่เหมาะสมต่อระบบการคงรูปแบบเปอร์ออกไซด์ของยางผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งเนื่องจากพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์อาจจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำเกินไป จึงไม่ช่วยในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางทั้งสองแต่กลับทำหน้าที่ในการเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่หรือทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอรแทนจึงทำให้สมบัติทางกลของยางผสมมีค่าต่ำลง นั่นคือพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ของยางผสมระหว่างยางพารากับยางฟลูออโร

8. ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเติมพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ที่คาดว่าจะช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางผสมระหว่างยางพารา กับยางฟลูออโรนั้น ผลการทดลองพบว่าสมบัติต่างๆของยางผสมลดลง อาจเนื่องจาก Luperox[®] 101-XL 45 ซึ่งเป็นเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นเปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งมีลักษณะสำคัญ คือ มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับกรด และเมื่อพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของพอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์ พบว่าเป็นสารที่มีความเป็นกรดอยู่ และส่วนที่เป็นกรดนี้เองที่ไปทำปฏิกิริยากับ Luperox[®] 101-XL 45 ทำให้การเชื่อมโยงพันธะของยางผสมก็จะน้อยลง ผลทำให้สมบัติทางกลลดลงด้วย จึงควรหาสารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดอื่นที่เหมาะสม หรืออาจจะใช้พอลิไอโซพรีน-กราฟ-กรดมาเลอิก โมโนเมทิล เอสเทอร์เช่นเดิม แต่เปลี่ยนไปใช้สารคงรูปเปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกแทน Luperox[®] 101-XL 45

นอกจากนี้อัตราส่วนของยางผสมระหว่างยางพารา กับยางฟลูออโรอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากมีอัตราส่วนของยางพารามากเกินไป ทำให้สมบัติการทนน้ำมันลดลงมาก การใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ อาจไม่มีอิทธิพลเพียงพอที่จะช่วยให้สมบัติดีขึ้นมากนัก

9. เอกสารอ้างอิง

1. A. Ghosh and S.K. De, "Dependence of properties and processing behavior of blends of silicone rubber and fluororubber on blend morphology", **Rubber Chemistry and Technology**, 77, 2004, pp. 856-872.
2. ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทรัพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร, 2548, **เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่นซีแอลยูเคชั่น**, กรุงเทพมหานคร, หน้า 132 – 192.
3. H. Ismail, "The effect of a compatibilizer on curing, mechanical properties and oil resistance of styrene butadiene of natural rubber blends", **European Polymer Journal**, 37, 2000, pp. 39-44.
4. S.H.EL-Sabbagh "Compatibilizer study of natural rubber and ethylene-propylene diene rubber blends", **Polymer Testing**, 2, 2003, pp. 93-100.
5. M.A. Kader, and A.K. Bhowmick, "Thermal ageing, degradation and swelling of acrylate rubber, fluororubber and their blends containing polyfunctional acrylates", **Polymer Degradation and Stability**, 79, 2003, pp. 283-295
6. C. Sirisinha, "Oil and thermal aging resistance in compatibilized and thermal stabilized chlorinated polyethylene/natural rubber blends", **Polymer**, 45, 2004, pp. 4909-4916.
7. พรพรรณ นิธิอุทัย, 2540, ยาง: **เทคนิคการออกสูตร**, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี.

10. ตอบข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

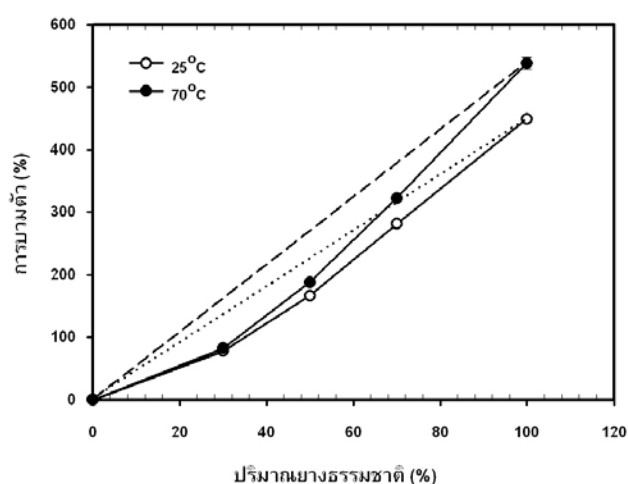
ข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ในส่วนของ Abstract มีที่ผิดมากทั้งความหมายและไวยากรณ์

ตอบ: แก้ไข Abstract แล้ว ดังหน้าที่ 7 และ 8

2. ทำไมถึงเลือกใช้สัดส่วนของ NR/FKM เป็น 70/30 มีการทดลองมาก่อนหรือไม่ เพราะสัดส่วนนี้น่าจะกลับเป็น 30/70 มากกว่า คือใช้ NR น้อยกว่า FKM เพราะ NR เพียงลดต้นทุน ไม่เช่นนั้นการใช้ FKM ลงไปจะไม่ช่วยเรื่องการทนน้ำมันได้เลย กลับทำให้สมบัติที่ดีของ FKM หายไปหมด น่าจะมีที่อ้างว่าทำไมถึงใช้สัดส่วนนี้

ตอบ: การเลือกใช้สัดส่วนของ NR/FKM เป็น 70/30 นั้น เป็นการทำงานวิจัยต่อเนื่องจากหัวข้อเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนายางทนน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบร่วม” ได้รับทุนวิจัยในโครงการ SPR ปี 2549 ซึ่งเป็นการศึกษาอย่างผสมระหว่างยางพาราและยางฟลูออโรเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางพาราให้มีสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซล โดยจากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะพบว่า เมื่อปริมาณยางพาราในยางผสมมีมากขึ้นสมบัติการทนต่อน้ำมันไบโอดีเซลก็จะต่ำลง (บวมตัวได้มากขึ้น) เนื่องจากขาดการเข้ากันได้ในระดับโมเลกุลระหว่างยางพารากับยางฟลูออโร



รูปที่ 1. การบวมตัวในน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสม NR/FKM นาน 100 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียส (..... และ ---- คือ เส้นแสดงผลการคาดการณ์การบวมตัวของยางผสมที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ)

เมื่อพิจารณาจากการบวมตัวในน้ำมันไบโอดีเซลของยางผสม NR/FKM เทียบกับผลการคาดการณ์การบวมตัวของยางผสม NR/FKM จากค่าการบวมตัวของยางพาราและยางฟลูออโร (..... และ ---- คือ เส้นแสดงผลการคาดการณ์การบวมตัวของยางผสม) พบว่า ยางผสม NR/FKM มีค่าการบวมตัวต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคาดการณ์ นั้นแสดงว่าถึงแม้ยางผสมดังกล่าวจะมีสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่ดีนัก แต่ก็ยังดีกว่าค่าที่ได้จากการคาดการณ์ อาจเป็นไปได้ว่ามีการรวมและเกิดการสร้างพันธะกันบางส่วนระหว่างโมเลกุลของยางพารากับโมเลกุลของยางฟลูออโรที่ทำให้ยางผสมมีค่าความต้านทานน้ำมันไบโอดีเซลดีขึ้นกว่าที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่ามีแนวโน้มที่ดีในการพัฒนาต่อยอด

งานวิจัยเพื่อปรับปรุงสูตรของยางผสม NR/FKM ให้มีสมบัติความต้านทานต่อน้ำมันไบโอดีเซลดีขึ้น แต่ปัญหาที่สำคัญก็คือราคาของยางฟลูออโร ซึ่งมีราคาสูงมาก กิโลกรัมละ 2500 บาททำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางฟลูออโรมีราคาสูงตามไปด้วย ถึงแม้จะมีราคาสูงแต่ผลิตภัณฑ์จากยางฟลูออโรก็มีสมบัติดีเยี่ยมในการทนน้ำมันไบโอดีเซลทำให้ยังมีความต้องการผลิตภัณฑ์จากยางฟลูออโรในท้องตลาดอยู่ ซึ่งการนำเอายางพารามาผสม จะทำให้ได้ยางผสม NR/FKM ที่มีสมบัติในการทนน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีและราคาต่ำลง เนื่องจากการนำเอายางพาราที่มีราคาถูกกว่ามาผสม เมื่อพิจารณาสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลจากรูปที่ 1. พบว่าเมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้น สมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลก็จะลดต่ำลง ถ้าหากมีปริมาณยางฟลูออโรเพิ่มขึ้น ถึงแม้จะมีสมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีขึ้น แต่ต้นทุนในการผลิตก็จะสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้สมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีและต้นทุนการผลิตไม่สูงเกินไป การทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วนระหว่าง NR/FKM เป็น 70/30 มาทำการปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้สมบัติการทนน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยยอมรับว่าการพยายามลดต้นทุนเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถตอบโจทย์ในการผลิตยางทนน้ำมันได้ น่าจะทำการวิจัยต่อเนื่องจะปรับอัตราส่วนของ NR/FKM เป็น 30/70 น่าจะให้ผลที่ดีกว่านี้

3. *หน้าที่ 17 รูปที่ 6(b) และ (c) เป็น 5 phr เหมือนกัน ควรแก้ (b) เป็น 2.5 phr*

ตอบ: แก้ไขแล้ว ดังหน้าที่ 17

4. *หน้าที่ 18 stain ควรแก้เป็น strain*

ตอบ: แก้ไขแล้ว ดังหน้าที่ 18

5. *ควรเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานของยางฟลูออโรและยางทนน้ำมันทั่วไป เพื่อจะได้ทราบว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่อย่างไร เพราะค่าความต้านทานแรงดึงต่ำมาก และค่าการบวมตัวสูงมาก ซึ่งไม่น่าจะได้มาตรฐาน*

ตอบ: เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ ค่อนข้างจะแน่ชัดว่ายางผสมที่เตรียมได้มีสมบัติทางกลและค่าการบวมตัวในน้ำมันต่ำกว่ายางฟลูออโรและยางทนน้ำมันทั่วไป จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติดังกล่าวกับยางฟลูออโรและยางทนน้ำมันทั่วไป

6. *งานนี้แสดงว่า hypothesis ไม่ถูกต้อง หรือขาดการ review ที่ครบถ้วน หรือไม่รู้จัก PI-ME ดีพอ หากนักวิจัยจะทำยางทน Biodiesel อีกคงต้องเริ่มจาก existing product แล้วเอามาต่อยอด*

ตอบ: ยอมรับว่าผู้วิจัยไม่รู้จัก PI-ME ดีพอจึงทำให้ตั้ง hypothesis ของงานวิจัยผิดพลาด และถ้าหากจะทำงานวิจัยเกี่ยวกับยางทนน้ำมันไบโอดีเซลอีกคงจะเริ่มจาก existing product แล้วเอามาต่อยอด ดังที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ