รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสารตัวเติมต่อความคงทนของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรและยางธรรมชาติที่ใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ และคณะ

มีนาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG5150046

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสารตัวเติมต่อความคงทนของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรและยางธรรมชาติที่ใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ.ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นาย ทรงคุณ ลักขณานุกูล	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. นาย สกุล ปิยะธรรมาภาพ	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ผลของสารตัวเติมต่อความคงทนของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรและยางธรรมชาติที่ใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

(ภาษาอังกฤษ) Effect of additive on gasohol resistance of fluoroelastomer blended with natural rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

หน่วยงาน ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพ ฯ 10330

โทรศัพท์/โทรสาร 02-218-7518, 086-090-2074/02-255-5831

E-mail sirilux.p@chula.ac.th, spoompradub@yahoo.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นาย ทรงคุณ ลักขณานุกูล

นาย สกุล ปิยะธรรมาภาพ

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ในปัจจุบันน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถือเป็นพลังงานทดแทนที่ทางภาครัฐและเอกชนให้ความสนใจที่นำมาทดแทนน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตามการผสมตัวทำละลายของเอทานอลยังคงไม่เป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป เนื่องจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ได้แก่ เกิดสนิม ท่อสายส่งเสื่อม และซิลยางบางชนิดที่ทนการกัดกร่อนได้น้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการเตรียมวัสดุพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นโดยการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับสารตัวเติม เพื่อความคงทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์

วัตถุประสงค์

ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมในยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ผลการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมในยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่หนึ่งหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์และทดสอบสมบัติเชิงกล การบวมตัว และการศึกษาทางสัณฐานวิทยา ขั้นตอนที่สองนำอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์มาผสมร่วมกับสารตัวเติม คือ ผงเขม่าดำและซิลิกา และทดสอบสมบัติเชิงกล การบวมตัว และการศึกษาทางสัณฐานวิทยาเช่นกัน จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลในขั้นตอนที่หนึ่งพบว่า ที่อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์

ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ ความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมที่อัตราส่วน 98:2 ให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่าในทุกตัวอย่าง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางผสมที่อัตราส่วน 98:2 มีค่าใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ ส่วนการบวมตัวในเอทานอลบริสุทธิ์มีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง และการศึกษาทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าวัสดุยางผสมที่อัตราส่วน 98:2 มีความเข้ากันได้ดี และจากการวิเคราะห์ผลข้อมูลในขั้นตอนที่สองพบว่า เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดและค่าความทนทานต่อการฉีกขาดหลังการบ่มเร่งในทุกสารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง นอกจากนี้การบวมตัวของยางผสมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การบวมตัวของยางผสมมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการบวมตัวในเอทานอลบริสุทธิ์ของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำมีการบวมตัวที่ต่ำกว่ายางผสมร่วมกับซิลิกา และการศึกษาทางสัณฐานวิทยาเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติมีความขรุขระเพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติคือที่อัตราส่วน 98:2 เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้นในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ ส่งผลให้ร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีแนวโน้มลดลง จากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณของสารตัวเติมเท่ากับ 5 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมลงในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติเพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 และ E85
2. อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบความทนทานต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ควรมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับในเครื่องยนต์ที่ใช้จริง
3. ควรมีการปรับปรุงสูตรที่ใช้ในการผสมยาง เพื่อเพิ่มปริมาณยางพาราในการผสมร่วมกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรให้มีปริมาณมากกว่าได้จากงานวิจัยนี้ ทั้งนี้จะได้เป็นการลดต้นทุนในการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้จริงในแง่ของทางอุตสาหกรรม

ผลงานวิชาการ

1. นำเสนอผลงานแบบบรรยายในงานประชุมวิชาการครั้งที่ 17 ประจำปี 2552 “Hitachi Science Forum 2009” วันที่ 13 –14 มีนาคม 2552 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นำเสนอผลงานแบบบรรยายในงานประชุมเพื่อติดตามความก้าวหน้าโครงการวิจัยในเขตพื้นที่ภาคกลาง วันที่ 30 –31 มีนาคม 2552 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเบนซีนกันมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ โดยทำให้ซิลยาง ท่อสายส่งน้ำมัน และประเก็นเกิดการกัดกร่อนและการบวมตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการผสมสารตัวเติมในยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติเพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ตัวแปรสำคัญที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติและชนิดของสารตัวเติม คือ ผงเขม่าดำและซิลิกา จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ สังเกตได้จากสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิห้องมีค่าใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ และการบวมตัวในเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการศึกษาทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ายางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 98:2 สามารถเข้ากันได้ดี หลังจากนั้นนำยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 98:2 ผสมร่วมกับสารตัวเติมปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทำการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง พบว่าหลังการบ่มเร่งสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มที่สูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง นอกจากนี้เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น การบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ มีค่าเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการบวมตัวในเอทานอลบริสุทธิ์ของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำมีการบวมตัวที่ต่ำกว่ายางผสมร่วมกับซิลิกา และการศึกษาทางสัณฐานวิทยาเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติมีความขรุขระเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ, ยางฟลูอโร, น้ำมันแก๊สโซฮอล์

Abstract

At present, there is an advocation to use gasohol as a renewable energy instead of benzene. However, using gasohol results in the damage of an engine by deterioration the seal, oil hose and the corrosion and swelling of the gasket. Therefore, in this study, the suitable amount of additive for fluoroelastomer (FKM) blended with natural rubber (NR) in order to produce the polymer material which shows the gasohol resistance was investigated. The vital variables were studied such as the ratios of FKM to NR and the type of additive (Silica and Carbon black). From the experimental results, the most suitable ratio of FKM to NR in this study was 98:2. The good mechanical properties (tensile strength and hardness) at this ratio were obtained. The swelling of this specimen in gasohol at room temperature was founded that it closes to the FKM. Besides, the swelling of the specimen in ethanol at room temperature was founded that it hardly changed. Subsequently, the structures of the polymer blends were analyzed by using Scanning Electron Microscopy (SEM). The result of SEM showed that the polymer blends material had well assimilated at this ratio (98:2). After that, each of the additives was mixed with the polymer blends materials in many quantities (5, 10, 15 and 20 phr). The results showed that the mechanical properties increased with the increase of additive amount. Accordingly, the materials were aged (for 22 h at 100 ^{o}C). The results showed that the mechanical properties of materials tend to increase after aging. Moreover, the swelling of the materials after adding additives in gasohol were increased. At 50 ^{o}C, the swelling of materials after adding additives was increased compared to these specimens at room temperature. The swelling of composite polymer filled with carbon black in ethanol was less than the composite polymer filled with silica. The SEM study was founded that when the amount of filler increased, the surface roughness of composite polymer between FKM and NR increased.

Keywords: natural rubber, fluoroelastomer, gasohol

สารบัญ

หน้า

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร		1
บทคัดย่อ		3
Abstract		4
สารบัญ		5
สารบัญตาราง		6
สารบัญรูปภาพ		8
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	10
	1.2 วัตถุประสงค์	10
บทที่ 2	ทฤษฎี แนวคิดในการทำงานวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 ยางฟลูออโร	11
	2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3	วิธีการทดลอง	
	3.1 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติ	15
	3.2 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง การบวมตัวใน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และข้อมูลทางสัณฐานวิทยา	15
	3.3 การทดสอบสมบัติต่างของยางผสมหลังผ่านหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์	16
	3.3.1 การทดสอบสมบัติก่อนและหลังการบ่มเร่ง	16
	3.3.2 การทดสอบแรงดึง	16
	3.3.3 การทดสอบความแข็ง	16
	3.3.4 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์	16
	3.3.5 การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด	17
	3.3.6 การทดสอบความต้านทานต่อโอโซน	17
	3.3.7 ศึกษาการกระจายตัวของยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	17
บทที่ 4	ผลการวิจัย	18
บทที่ 5	วิจารณ์ผล	
	5.1 สมบัติการคงรูป	30
	5.2 สมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1 การทดสอบแรงดึง 30

5.2.2 การทดสอบความแข็ง 31

5.3 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลบริสุทธิ์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโร ผสมร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ 31

5.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 31

5.5 ผลของสารตัวเติมต่อสมบัติต่างๆของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ 32

5.5.1 สมบัติการคงรูป 32

5.5.2 สมบัติเชิงกล 32

5.5.2.1 การทดสอบความทนทานแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่ง 32

5.5.2.2 ความทนทานต่อการฉีกขาด 33

5.5.2.3 ความแข็งก่อนและหลังการบ่มเร่ง 33

5.5.2.4 การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลบริสุทธิ์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ 34

5.5.2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลหลังแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ 34

5.5.2.6 การทดสอบความเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของยางผสม 36

5.5.2.7 การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 36

บทที่ 6 สรุปผล 37

เอกสารอ้างอิง 39

ภาคผนวก 40

คำชี้แจงแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์ 45

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สูตรในการผสมยางคอมปาวด์	15
3.2	สูตรในการผสมยางคอมปาวด์ร่วมกับสารตัวเติม	16
4.1	สมบัติการคงรูปของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติ	18
4.2	การเปรียบเทียบสมบัติการทนแรงดึงของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน	18
4.3	ค่าความแข็งของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน	18
ก	สมบัติการคงรูปของยางสังเคราะห์ Viton ผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม	41
ข	การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ Viton และยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 98:2 ผสมร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่ง	42
ค	การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ Viton และยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 168 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	43
ง	ความต้านทานโอโซนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ Viton และยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม	44

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ชิ้นส่วนที่ผลิตมาจากยางฟลูออโร	11
2.2	โครงสร้างของยางฟลูออโร	11
4.1	ร้อยละการบวมตัวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมง	19
4.2	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆที่กำลังขยาย 500 เท่า	19
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับการเติมผงเขม่าดำในปริมาณที่ต่างกันหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน	20
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับการเติมซิลิกาในปริมาณที่ต่างกันหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน	20
4.5	ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	21
4.6	ค่าความยาว ณ จุดขาดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	21
4.7	การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	22
4.8	การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 200 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	22
4.9	การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 300 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	23
4.10	ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	23
4.11	ค่าความแข็งของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม ก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน	24
4.12	ร้อยละของการบวมตัวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	ร้อยละของการบวมตัวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติใน อัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	25
4.14	ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม.และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	25
4.15	ค่าความยาว ณ จุดขาดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	26
4.16	ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	26
4.17	ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 200 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	27
4.18	ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 300 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.	27
4.19	ความต้านทานโอโซนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม	28
4.20	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมกับผงเขม่าดำที่กำลังขยาย 500 เท่า	28
4.21	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมกับซิลิกาที่กำลังขยาย 500 เท่า	29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ปัจจุบันโลกเรามีการใช้น้ำมันในปริมาณสูงกว่าที่กำลังการผลิต ทำให้เกิดภาวะน้ำมันขาดแคลนและราคาน้ำมันแพง ทั้งนี้เพราะประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น มนุษย์ใช้รถยนต์ ใช้ไฟฟ้า และบริโภคสินค้าที่มาจากน้ำมันหรือปิโตรเคมีที่มาจากน้ำมันมากขึ้น ซึ่งคาดว่าปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ทั้งโลกอาจจะใช้ได้ไม่เกิน 40 ปีนับจากนี้ไป ดังนั้นหลายหน่วยงานได้มีแนวคิดที่จะหาพลังงานทดแทนหรือทางเลือกใหม่เพื่อมาทดแทนน้ำมัน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ถือเป็นพลังงานทดแทนที่ทางภาครัฐและเอกชนให้ความสนใจ โดยน้ำมันแก๊สโซฮอล์นั้นได้จากการผสมน้ำมันเบนซินร่วมกับเอทานอล แม้ว่าการใช้น้ำมันทางเลือกนี้สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ลดมลภาวะเป็นพิษทางอากาศ แต่อย่างไรก็ตามการผสมตัวทำละลายของเอทานอลยังคงไม่เป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป เนื่องจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ได้แก่ เกิดสนิม ท่อสายส่งและประเก็นเสื่อม เกิดการสึกหรอของพลาสติกและซิลยางบางชนิดที่ทนการกัดกร่อนได้น้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการเตรียมวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถคงทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ วัสดุพอลิเมอร์ถูกเตรียมขึ้นโดยการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับสารตัวเติม (Filler) เพื่อเพิ่มความทนทานและลดการสึกกร่อนของวัสดุ และเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ให้ยาวนานยิ่งขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการผสมยางระหว่างยางธรรมชาติร่วมกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรและเติมสารคงรูป (Curing reagents) ในระบบเปอร์ออกไซด์ ผสมร่วมกับสารเสริมแรง (Reinforcing filler) และนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยาง จากนั้นนำไปทดสอบความทนทานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ข้อดีของการเลือกใช้ระบบเปอร์ออกไซด์วัลคาไนเซชันนั้น เนื่องจากระบบนี้สามารถวัลคาไนซ์ได้ทั้งในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ นอกจากนี้การเติมสารคงรูปจะส่งผลทำให้ยางทั้งสองชนิดมีโอกาสเชื่อมโยงระหว่างกันได้ ซึ่งจะเพิ่มความคงทนต่อการละลายในน้ำมัน ส่วนการคอมปาวด์ยางผสมร่วมกับสารเสริมแรงจะช่วยเพิ่มสมบัติการสกัดกั้นการซึมผ่านของตัวทำละลายได้ ส่งผลให้ได้วัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

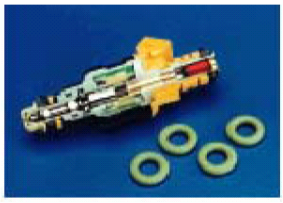
ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมในยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

บทที่ 2
ทฤษฎี แนวคิดในการทำงานวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางฟลูออโร (Fluoroelastomer)

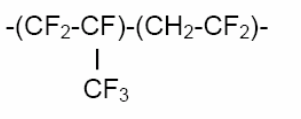
ยางฟลูออโร [1-3] เป็นยางสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมี น้ำมัน และความร้อนได้สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ความโดดเด่นของยางฟลูออโรในด้านความเสถียรเชิงความร้อนและความทนทานต่อสารเคมีนั้น เนื่องมาจากในโครงสร้างของยางฟลูออโรมีอัตราส่วนของฟลูออรีนต่อไฮโดรคาร์บอนสูง ความแข็งแรงของพันธะระหว่างคาร์บอน-ฟลูออรีน และการไม่มีพันธะที่ไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปยางฟลูออโรจะถูกเรียกว่า เอฟเคเอ็ม พอลิเมอร์ (FKM polymer) หรือชื่อในทางการค้าที่รู้จักกันดีในนามของ Viton® fluoroelastomer โดยบริษัทผู้ผลิต คือ DuPont Dow elastomers ในปัจจุบันยางฟลูออโรถูกนำมาใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่นในอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive) การบิน (Aerospace) และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นต้น ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นพวกประเก็น ซิล ท่อ และ O-rings ดังแสดงในรูปที่ 1 และตัวอย่างโครงสร้างของยางฟลูออโรแสดงในรูปที่ 2

Fuel hose lined with FKM

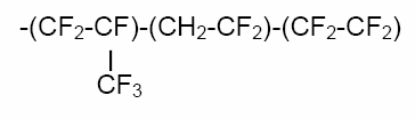


FKM O-rings and seals for fuel injectors

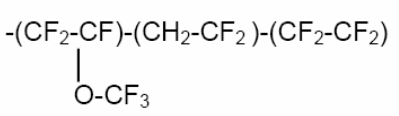
รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนที่ผลิตมาจากยางฟลูออโร



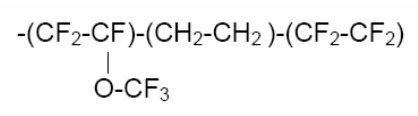
Copolymer fluoroelastomer



Terpolymer fluoroelastomer



Hexafluoropropylene (HFP) replaced with fluoro-ether



Vinylidene fluoride (VF_2) replaced with ethylene

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของยางฟลูออโร

แม้ว่ายางฟลูออโรจะมีข้อเด่นในเรื่องของความเสถียรทางด้านความร้อนและความทนทานต่อสารเคมีที่อุณหภูมิสูง แต่อย่างไรก็ตามยางสังเคราะห์ฟลูออโรมีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ตัวอื่นๆ และยางสังเคราะห์ฟลูออโรยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ดังนั้นการใช้ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ฟลูออโรสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต เพราะในประเทศไทยมีการผลิตยางพาราใช้เป็นจำนวนมาก ถึงแม้ว่าในรายงานของ National Renewable Energy laboratory, U.S. Department of Energy [4] จะไม่แนะนำให้ใช้ยางธรรมชาติ ยางบิวทิล หรือยางไนไตรล์กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เนื่องจากยางดังกล่าวไม่มีความทนทานต่อสารเคมีและความสามารถในการละลายในน้ำมันค่อนข้างสูง โดยอาการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนยานยนต์ที่ไม่ใช่โลหะที่ตรวจพบได้โดยทั่วไปมี 4 แบบคือ การซึมผ่าน (Permeation) ของน้ำมันมีมากขึ้น การหลุดซึมออก (Leaching) ของสารเคมีต่าง ๆ เช่น antioxidant, stabilizer, plasticizer เป็นต้น การบวม (Swelling) เนื่องจากสมบัติการละลายดีขึ้น และการอ่อนนิ่ม (Plasticization) ไม่รับแรง ซึ่งอาการดังกล่าวส่งผลให้สภาพชิ้นส่วนผิดเพี้ยน เสื่อมถอยจากเดิม ไม่สามารถทำงานได้ดี นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าหากจำนวนอะโรเมติก (Aromatic content) ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีมากก็จะทำให้ยางละลายเร็วขึ้น เสียหายมากขึ้น [5]

โดยปกติระบบวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์จะใช้กำมะถัน หรือพวกเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเชื่อมขวาง (Crosslink) [6] ในขณะที่ระบบวัลคาไนเซชันของกลุ่มยางฟลูออโรจะใช้สารในกลุ่มเอมีน (Amines) บิสฟีนอล (Bisphenols) และเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ [7] นอกจากนี้การเติมสารเสริมแรงยังเป็นตัวช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น โดยสารเสริมแรงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท ได้แก่ คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซิลิกา (Silica) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) นาโนเคลย์ (Nanoclay) และเส้นใยแก้ว (Fiber glass) เป็นต้น คาร์บอนแบล็ค มีคุณสมบัติช่วยทำให้ยางมีความต้านทานต่อการขัดถู ความทนทานต่อการฉีกขาด สมบัติแรงดึงสูงมาก สามารถนำไฟฟ้าได้ สมบัติการกระเด้งกระดอนสูง และสมบัติเชิงพลวัต ซิลิกามีคุณสมบัติช่วยทำให้ยางคงรูปมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง และความต้านทานต่อการขัดถู แต่เมื่อเทียบ กับคาร์บอนแบล็ค ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแล้ว ซิลิกาจะให้สมบัติเชิงกลด้อยกว่า โดยเฉพาะค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานต่อ การขัดถู ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีคุณสมบัติช่วยทำให้ความแข็งของยางเพิ่มขึ้นปานกลาง สมบัติการกระเด้งกระดอนสูง แต่ทำให้ความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดลดลง นาโนเคลย์หรือดินขาวจะมีสมบัติช่วยให้ยางคงรูปมีความแข็งและมีความทนทานต่อแรงดึง แต่จะให้ค่าความกระเด้งกระดอนที่ต่ำ [6, 8]

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

Apostolo et al. [9] ศึกษาสมบัติของสารผสมระหว่าง fluoroelastomer และ semicrystalline perfluoropolymer (PTFE) โดย fluoroelastomer ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ vinylidenefluoride /hexafluoropropylene /tetrafluoroethylene ในอัตราส่วน 50/25/25 เปอร์เซ็นต์โมล และ tetrafluoroethylene/perfluoromethylvinyl ether ในอัตราส่วน 70/30 เปอร์เซ็นต์โมล วิธีผสมแบ่งได้ 4 วิธี ดังนี้ การผสมแบบนาโน (Nano-blending) คอร์เชลล์พอลิเมอร์ไรเซชัน (Core shell polymerization) การผสมในน้ำยาง (Latex blending) และการผสมเชิงกล (Mechanical blending) พบว่าการผสมแบบนาโนที่เตรียมผ่านปฏิกิริยา ไมโครอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Microemulsion polymerization) ในการสังเคราะห์ fluoroelastomer และ perfluoropolymer มีการกระจายตัวของ perfluoropolymer ในตัวกลาง fluoroelastomer ดี และขนาดของ perfluoropolymer ที่สังเคราะห์ได้อยู่ในระดับนาโนเมตร (40-50 nm) นาโนเบนด์ที่เตรียมได้มีสมบัติร่วมกันระหว่าง fluoroelastomer และ perfluoropolymer โดย

มีสมบัติเชิงกลคล้ายคลึงกับ fluoroelastomer แต่ในขณะที่ความต้านทานความร้อนและสารเคมี (Thermal and chemical resistance) การซึมผ่าน (Permeability) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction coefficient) ด้อยลงตามสมบัติของ semicrystalline perfluoropolymer

Flitney [10] ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ Viton fluoroelastomer โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ fluorine ที่มีในโครงสร้างของ Viton fluoroelastomer 8 ชนิด ได้แก่ GLT-600S, A-601C, GBLT-600S, B-601C, GFLT-600S, VTR-9209, F-605C และ GF-600S (เรียงลำดับจากเปอร์เซ็นต์ฟลูโอรีนโดยน้ำหนักจากน้อยไปหามาก) นำยาง Viton fluoroelastomer ทั้ง 8 ชนิด ไปแช่ในตัวทำละลาย Fuel C-butanol (80/20) และ gasoline-butanol (80/20) พบว่าสมบัติทางกายภาพหลังจากที่แช่ใน Fuel C-butanol คือ fluoroelastomer ที่มีเปอร์เซ็นต์ฟลูโอรีนอยู่ปริมาณน้อยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าทนแรงดึง (Tensile) และระยะยืด (Elongation) สูงกว่า fluoroelastomer ที่มีเปอร์เซ็นต์ฟลูโอรีนอยู่ปริมาณมาก และเมื่อแช่ Viton fluoroelastomer ลงในของผสมระหว่าง Fuel C-butanol ค่าทนแรงดึงและระยะยืดมีค่าสูงกว่าที่ Viton fluoroelastomer แช่ใน gasoline-butanol หรือ 100% butanol นอกจากนี้พบว่า fluoroelastomer ที่มีเปอร์เซ็นต์ฟลูโอรีนสูง และถูกบ่ม (Cure) โดยระบบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ของ GBLT-600S, GFLT-600S และ GF-600S แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งน้อยกว่าระบบการบ่มด้วย bisphenol ของ VTR-9209, FMK

Turri et al. [11] ศึกษาพฤติกรรม viscoelasiticity ของ fluoroelastomer 3 ชนิด ได้แก่ Fluorosilicones (FVMQ), Perfluoropolyether-hydroilanes (Sifel^{TM}) และ Perfluoropolyether-polyurethane (FEU) พบว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิดแสดงค่าความแข็งที่สูง โดยการทดสอบด้วยเทคนิคทางพลวัต (Dynamic-mechanical analysis, DMA), thermo-mechanical analysis (TMA) และการทดสอบการบวมตัว (Swelling test) ใน Fuel C (Toluene-isooctane 50% โดยปริมาตร), M15 (Fuel C 85%-methanol 15% โดยปริมาตร) และ methanol 100% โดยปริมาตร ผลที่ได้ปรากฏว่า FEU มีการหดตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีความทนทานต่อสารเคมีสูงในตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon fuel) จากสมบัติดังกล่าว สามารถนำ FEU ไปใช้ในการผลิตวัสดุซิลได้ แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรพึงระวังก็คือสมบัติทางเชิงกลและพลวัตที่อุณหภูมิสูงจะด้อยลง นอกจากนี้อาจเกิดการบวมตัวสูงขึ้นเมื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่มีขั้วเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากผลกระทบของหมู่ยูริเทน (Urethane) ในโครงสร้างของพอลิเมอร์

Trakarnpruk et al. [12] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางสังเคราะห์หลังจากแช่ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากน้ำมันปาล์ม โดยยางสังเคราะห์ที่นำมาศึกษาได้แก่ nitrile rubber (NBR), hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR), NBR/PVC, acrylic rubber, co-polymer FKM and terpolymer FKM พบว่าค่าการบวมตัว ค่าความแข็ง (Hardness), ค่าทนต่อแรงดึง และการทดสอบเชิงพลวัตในยาง NBR, NBR/PVC และ acrylic rubber ให้ผลการทดสอบที่มีค่าด้อยกว่าเมื่อเทียบกับcopolymer ของ FKM และ terpolymer ของ FKM

Duin และ Dikland [13] ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของยางสังเคราะห์ให้มีความทนทานต่อน้ำมัน โดยการเติมหมู่ที่มีขั้วในสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เช่นการกราฟต์ยางบิวทาไดอีน (Butadiene rubber, BR) ด้วย maleic anhydride (MA) หรือ MA-grafted BR และทำการบ่มอย่างด้วยระบบเปอร์ออกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามการเติมหมู่เอมีน (Amines) และแอลกอฮอล์ (Alcohols) ในโคพอลิเมอร์ของ MA-grafted EPM (ethylene propylene copolymer) ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงความทนทานต่อน้ำมันแต่อย่างใด ในทำนองเดียวกันกับการใช้โคเอเจนต์ (coagents) อาทิเช่น *m*-phenylenedimaleimide (PDMI), *m*-phenylenedi(maleamic acid) (PDMA), 1,6-hexamethylenedi(maleamic acid) (HMDMA) และ trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) ระหว่างการ

บ่มของ ethylene, propylene, non-conjugated dienes copolymer (EPDM) ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์ และการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ของ EPM-grafted MA ด้วย zinc acetate ก็ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงความทนทานต่อน้ำมัน การเชื่อมขวาง (crosslink) ของ EPM-grafted MA ด้วยไดเอมีน (Diamines) ช่วยให้ความทนทานต่อน้ำมันดีขึ้นเทียบเท่ากับยางคลอโรพรีน (Chroloprene, CR) ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน ในขณะที่การกราฟต์พอลิเอไมด์ (Polyamine-6, PA-6) บน EPM-grafted MA แสดงสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับเทอร์โมพลาสติก อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomer, TPE) และค่าความทนทานต่อน้ำมันก็เทียบเท่ากับยางคลอโรพรีน

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติ

เตรียมยางสังเคราะห์ ยางธรรมชาติ และสารเคมีสำหรับทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันดังแสดงในตารางที่ 3.1 บดผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Oscillating disk rheometer (ODR) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยาง หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Compression ที่ความดัน 150 kPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที นำแผ่นยางที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วไปทดสอบสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาต่อไป

ตารางที่ 3.1 สูตรในการผสมยางคอมปาวด์ (ในหน่วยของ phr[1])

Sample code	FN1	FN2	FN3	FN4
ยางฟลูออโร (Viton: GF 600S)	100	99	98	95
NR (STR5L)	-	1	2	5
PO[2]	2	2	2	2
TAIC[3]	1	1	1	1

[1] Part by weight per hundred part of rubber [2] 2,5-Dimethyl-2,5-di(t-butyl-peroxy)hexane [3] Triallyl isocyanulate (Activator)

3.2 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และข้อมูลทางสัณฐานวิทยา

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรในการผสมยางคอมปาวด์ร่วมกับสารตัวเติม นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Oscillating disk rheometer (ODR) เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยาง ยางคอมปาวด์ที่ได้ไปถูกนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Compression ที่ความดัน 150 kPa อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แผ่นยางที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วถูกนำไปวัดสมบัติทางกายภาพและเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 3.2 สูตรในการผสมยางคอมปาวด์ร่วมกับสารตัวเติม (ในหน่วยของ phr[1])

Sample code	FN3	CB5	CB10	CB15	CB20	Si5	Si10	Si15	Si20
Viton	98	98	98	98	98	98	98	98	98
NR	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PO[2]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TAIC[3]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CB[4]	-	5	10	15	20	-	-	-	-
SiO_2[5]	-	-	-	-	-	5	10	15	20

[1] Part by weight per hundred part of rubber [2] 2,5-Dimethyl-2,5-di(t-butyl-peroxy)hexane [3] Triallyl isocyanulate [4] Carbon black (N550) [5] Silica (Hisil-255)

3.3 การทดสอบสมบัติต่างๆของยางผสมหลังผ่านหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

3.3.1 การทดสอบสมบัติก่อนและหลังการบ่มเร่ง (Aging)

ก่อนบ่มเร่ง : นำแผ่นยางมาตัดเป็นรูปดัมเบลแล้วนำไปวัดความหนาเฉลี่ย 3 จุด แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบการทดสอบแรงดึง ความแข็งและความทนทานต่อการฉีกขาด

หลังบ่มเร่ง : นำแผ่นยางไปอบเร่งโดยใช้เครื่อง Hot air oven ยี่ห้อ WTDBINDER รุ่น FD-400 ที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นยางหลังบ่มเร่งมาทดสอบเช่นเดียวกับก่อนบ่มเร่ง

3.3.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing)

ตัดชิ้นงานที่ต้องการเป็นรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM-D412 จำนวน 5 ชิ้น นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min ทำการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย

3.3.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ตัดชิ้นงานที่ต้องการวัดให้มีความหนา 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM-D2240 นำชิ้นงานใส่เครื่อง Durometer ปล่อยหัว Durometer ลงบนชิ้นงาน แล้วจับเวลา 5 วินาทีอ่านค่าที่ได้ และบันทึกผล จากนั้นทำการเปลี่ยนจุดที่ใช้วัดอีก 5 จุด นำค่าความแข็งที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.3.4 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

ตัดชิ้นงานให้มีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM-D471 นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักทั้งในอากาศและในน้ำแล้วบันทึกน้ำหนักที่ได้ไว้ นำชิ้นงานไปแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 168 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา24 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่ผ่านการแช่น้ำมันทั้งในอากาศและในน้ำแล้วบันทึกน้ำหนักที่ได้ไว้ นำผลที่ได้ไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ดังในสมการ

การคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาตร

$$\text{การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (\%)} = \frac{[(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)] \times 100}{(m_1 - m_2)}$$

เมื่อ m_1 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมันชั่งในอากาศ (กรัม)

m_2 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมันชั่งในน้ำ (กรัม)

m_3 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมันชั่งในอากาศ (กรัม)

m_4 = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมันชั่งในน้ำ (กรัม)

3.3.5 การทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO 34-1 : 1994 (E) โดยใช้เครื่อง Lloyd ที่มี load cell 500 นิวตัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ (Grip) 500 มิลลิเมตรต่อนาที ตัดชิ้นทดสอบเป็นแบบ angle (ASTM DIE C) โดยตัดขวางแนวเครื่อง ชิ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.3.6 การทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Testing of Resistance to Ozone)

ชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบสมบัติการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากสัมผัสกับแก๊สโอโซนมีขนาดกว้าง 19 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 1431 Part 1 โดยชิ้นทดสอบจะถูกยึดด้วยตัวจับของเครื่อง Hampden 703 ที่ปลายทั้งสองด้านก่อนนำเข้าตู้อบโอโซน เงื่อนไขในการทดสอบ ดังนี้ ความเข้มโอโซน 50 ส่วนในร้อยล้านส่วน (pphm) ที่อุณหภูมิ 40°C เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Static/Dynamic) 20% เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3.3.7 ศึกษาการกระจายตัวของยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

นำชิ้นงานที่ฉาบผิวด้วยทองเรียบร้อยแล้วเข้าทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6400 ภาวะการทำงานที่ความยาวคลื่น 10 μm ความต่างศักย์ 15 KV และทำการบันทึกภาพ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ตารางที่ 4.1 สมบัติการคงรูปของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติ

Sample code	Scorch Time (t_s) (min)	t_{90} (min)	Torque Minimum (dNm)	Torque Maximum (dNm)
FN1	1.25	5.13	16.61	64.86
FN2	1.00	7.97	15.79	63.87
FN3	1.17	8.50	17.05	72.01
FN4	1.31	5.61	11.22	42.58

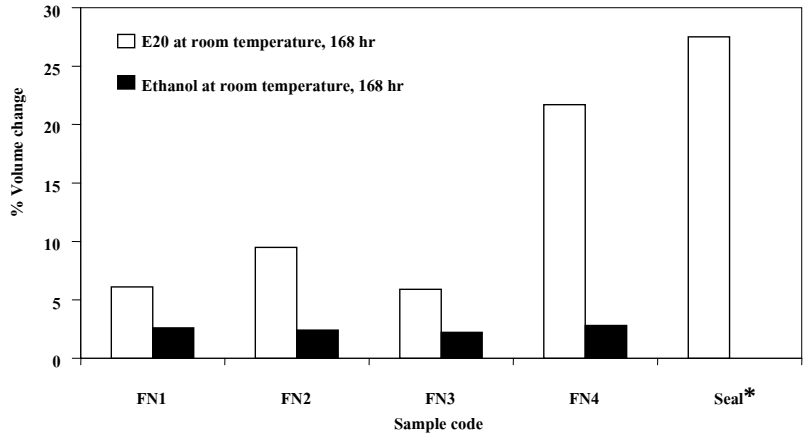
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติการทดสอบแรงดึงของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน

Sample code	Mechanical properties				
	T_B[1](MPa)	E_B[2](%)	M^3_{50} (MPa)	M^3_{100} (MPa)	M^3_{300} (MPa)
FN1	4.92	361	0.75	1.05	2.93
FN2	2.59	285	0.73	1.02	-
FN3	3.44	251	0.85	1.27	-
FN4	5.82	390	0.73	1.05	2.89

[1] ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) [2] ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) [3] M_{50} M_{100} และ M_{300} : ค่ามอดูลัส (Modulus) ที่ 50% 100% และ 300% elongation ตามลำดับ

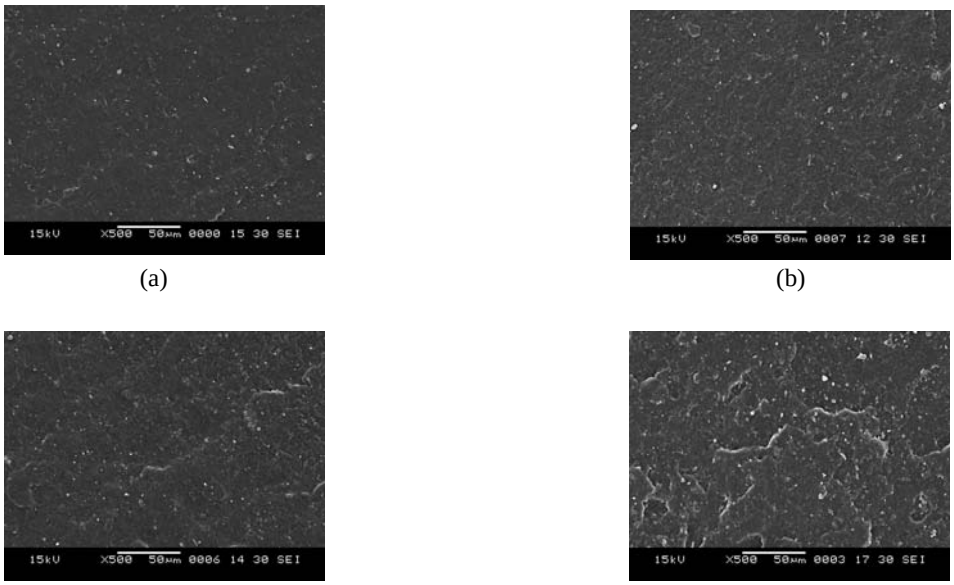
ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน

Sample Code	Hardness (Shore A)					
	position 1	position 2	position 3	position 4	position 5	average
FN1	52	51	52	52	52	51.8
FN2	50	50	49	52	50	50.2
FN3	49	50	50	49	50	49.6
FN4	49	49	49	49	49	49.0



* ซิลยางที่ใช้ในทางการค้า

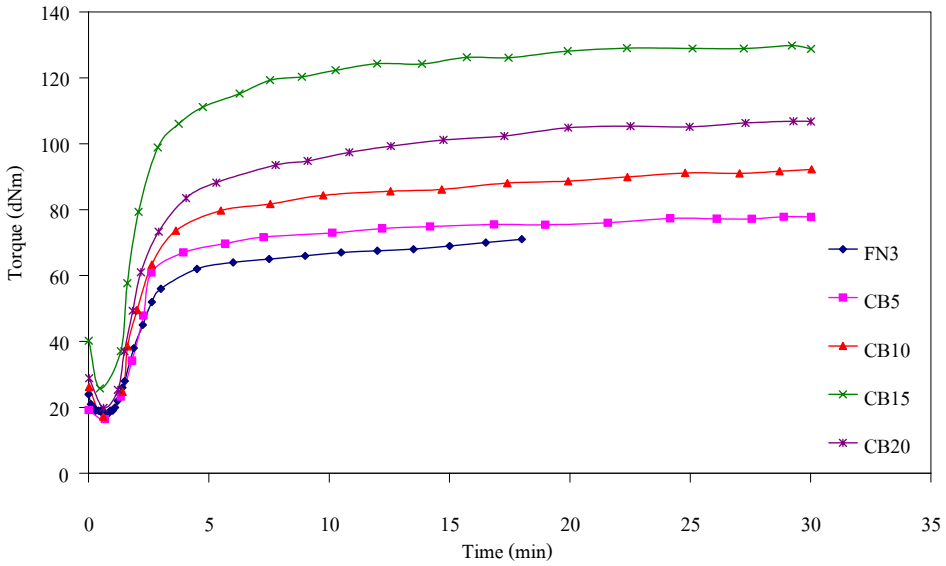
รูปที่ 4.1 ร้อยละการบวมตัวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมง



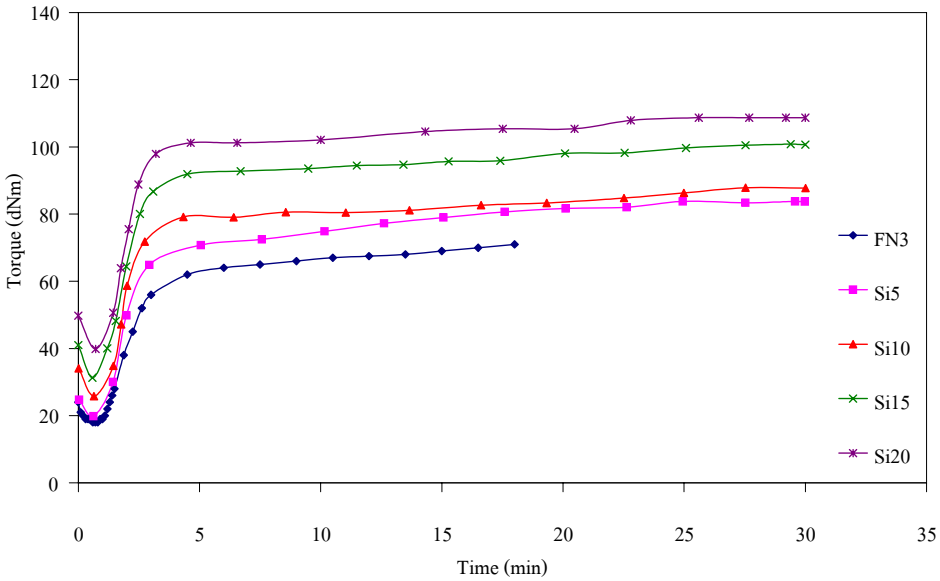
(a) (b)

(c) (d)

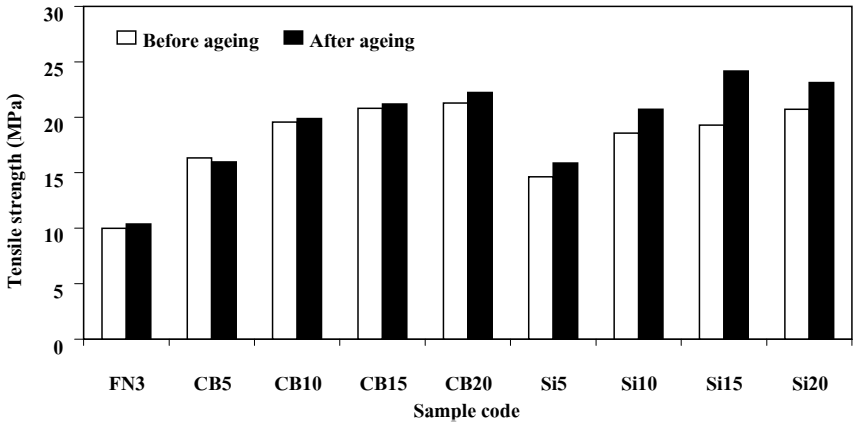
รูปที่ 4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆที่กำลังขยาย 500 เท่า (a) FN1; (b) FN2; (c) FN3; (d) FN4



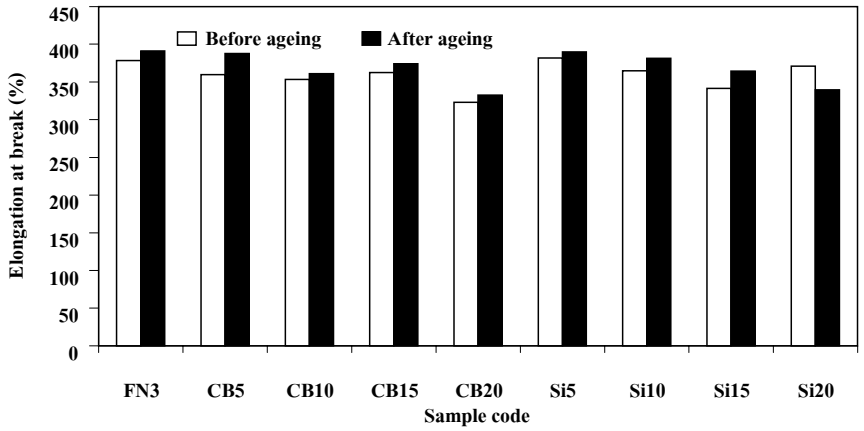
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับการเติมผงเขม่าดำในปริมาณที่ต่างกันหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน



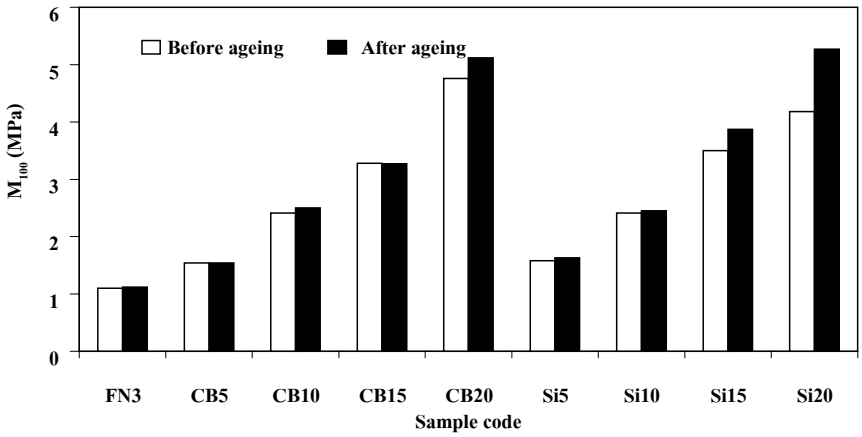
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับการเติมซิลิกาในปริมาณที่ต่างกันหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน



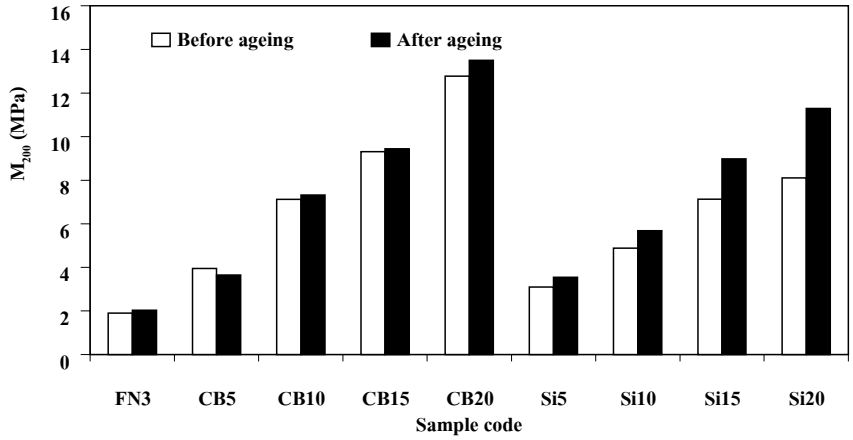
รูปที่ 4.5 ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



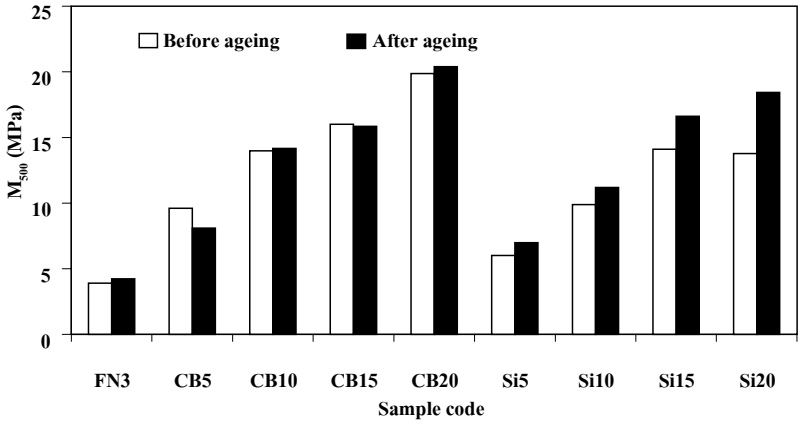
รูปที่ 4.6 ค่าความยาว ณ จุดขาดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



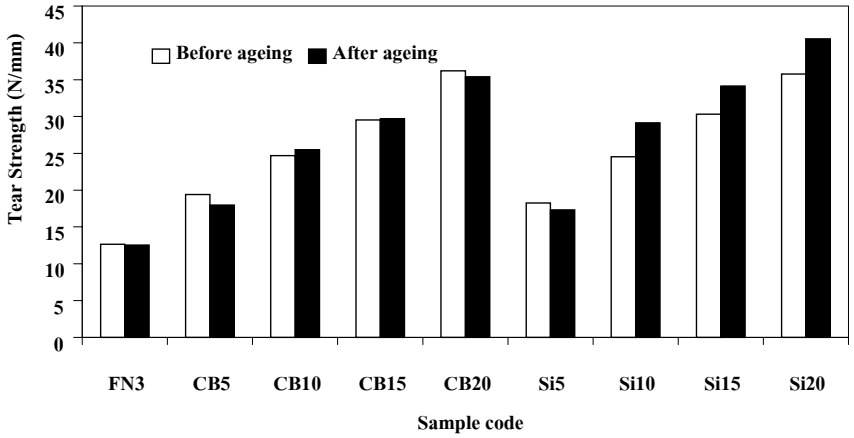
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



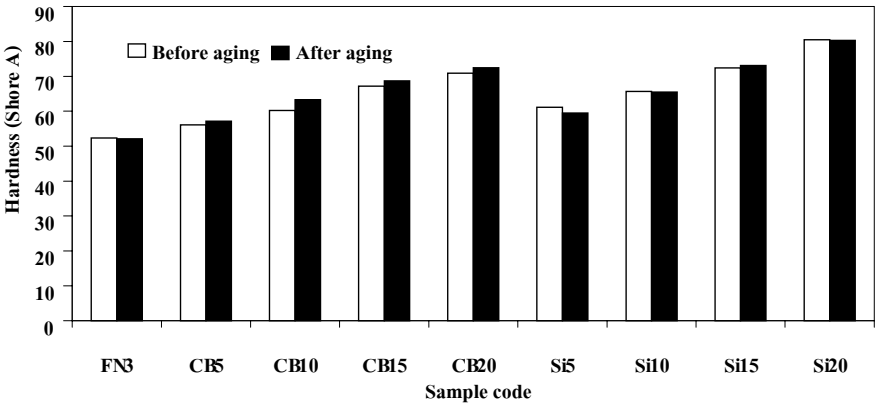
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 200 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



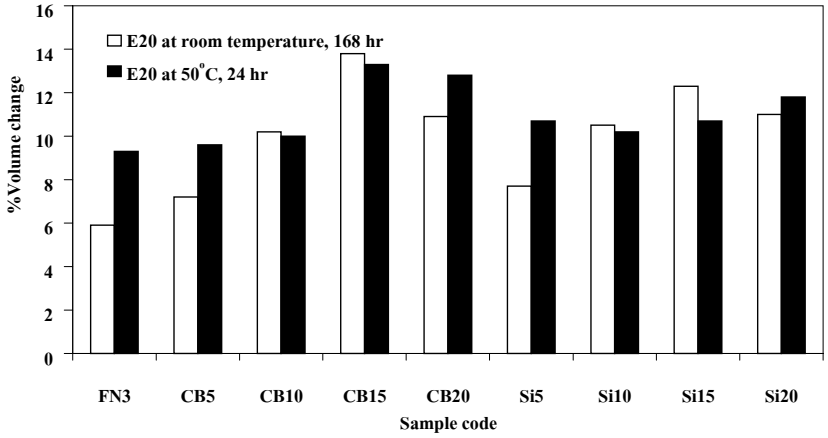
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 300 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



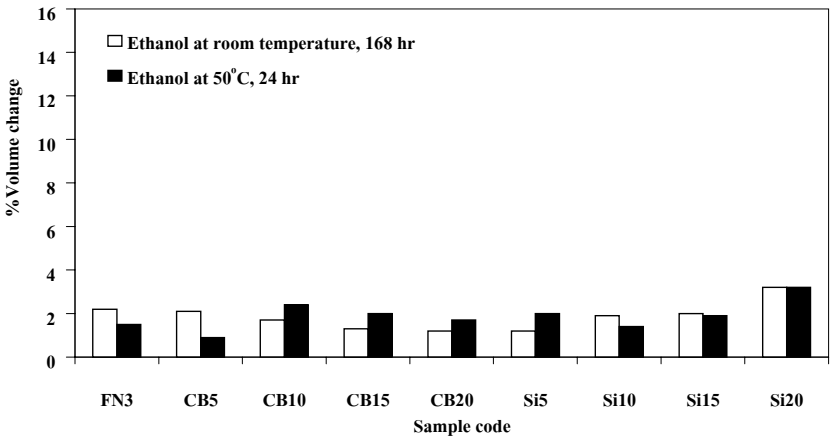
รูปที่ 4.10 ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



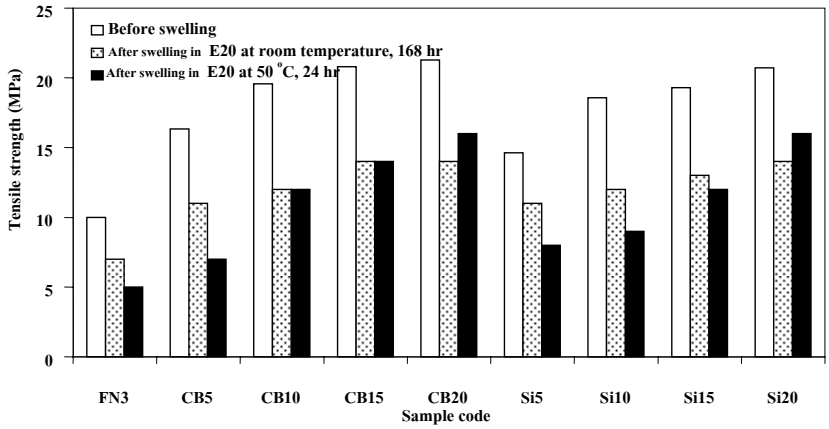
รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม ก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน



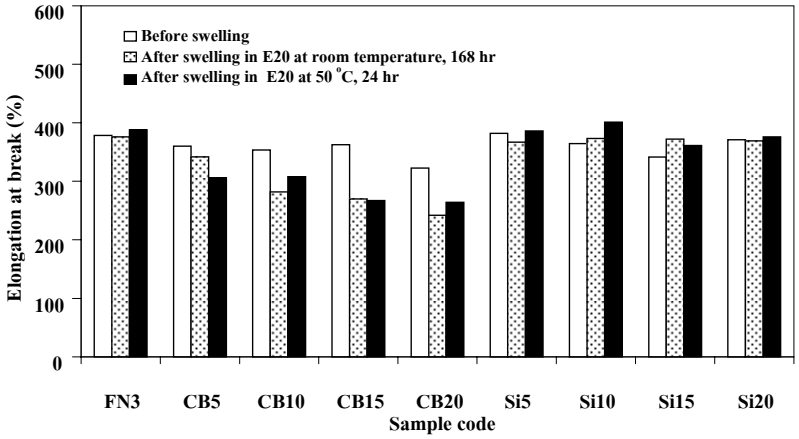
รูปที่ 4.12 ร้อยละของการบวมตัวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



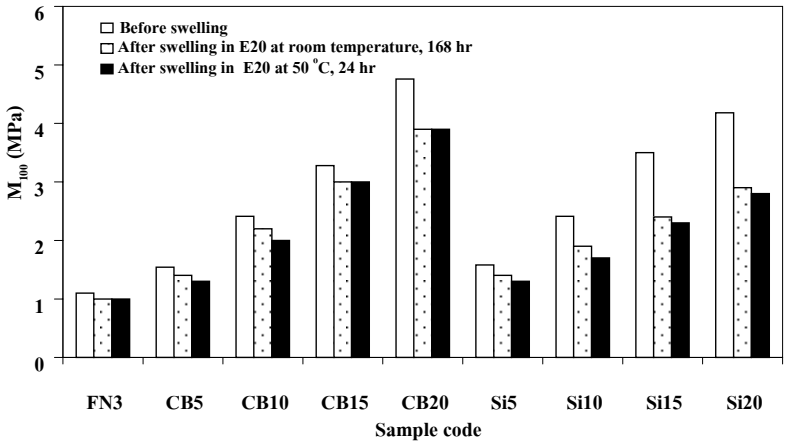
รูปที่ 4.13 ร้อยละของการบวมตัวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



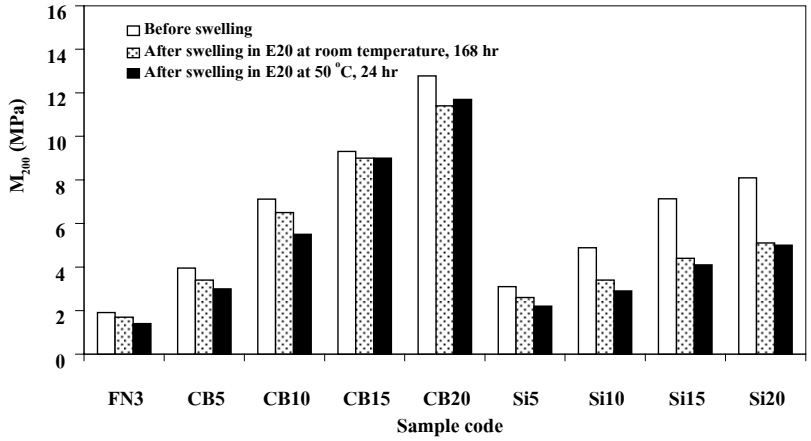
รูปที่ 4.14 ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม.และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



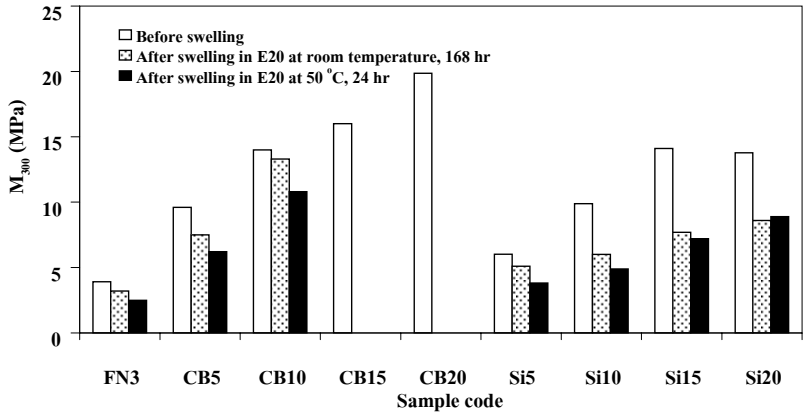
รูปที่ 4.15 ค่าความยาว ณ จุดขาดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



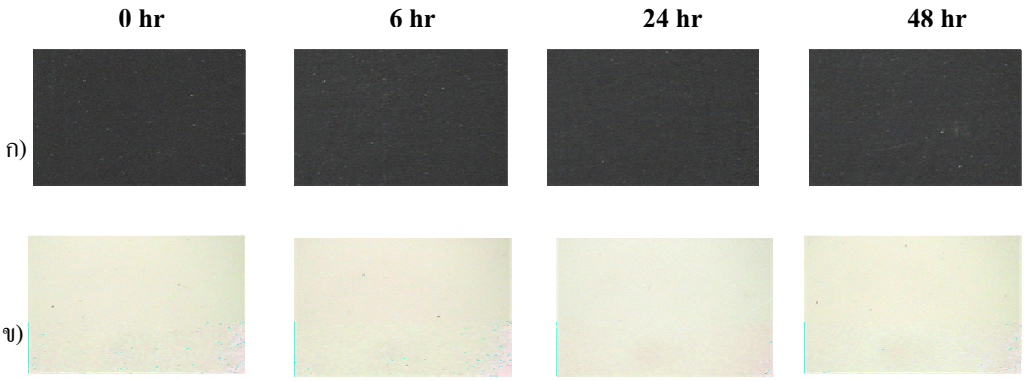
รูปที่ 4.16 ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม. และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



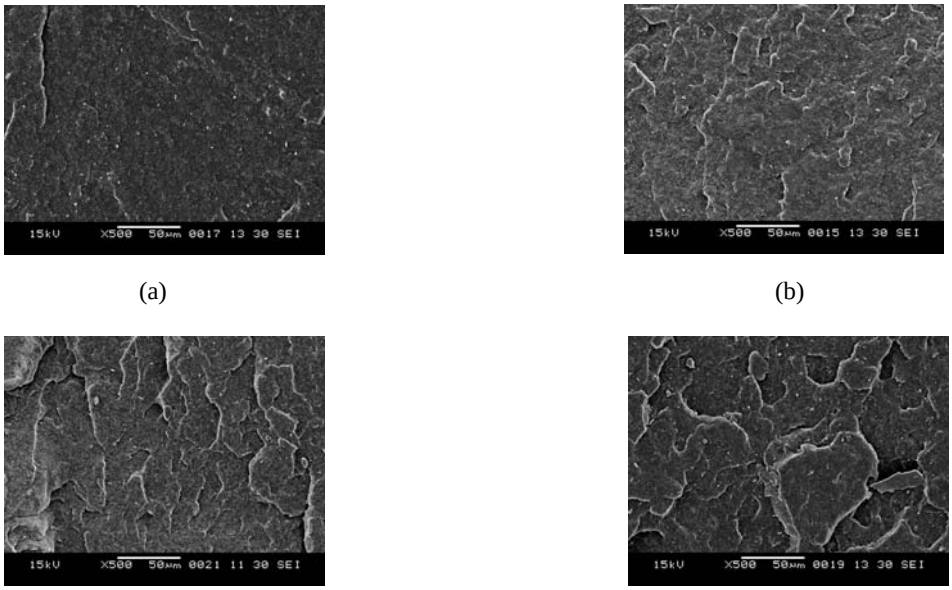
รูปที่ 4.17 ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 200 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม.และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



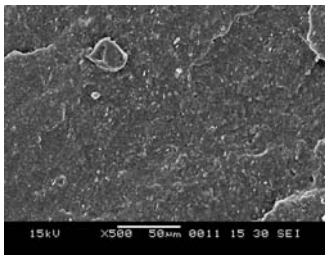
รูปที่ 4.18 มอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 300 ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติ ร่วมกับสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชม.และที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 ชม.



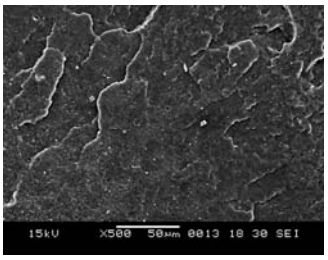
รูปที่ 4.19 ความต้านทานโอโซนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม ก) CB5 ข) Si5



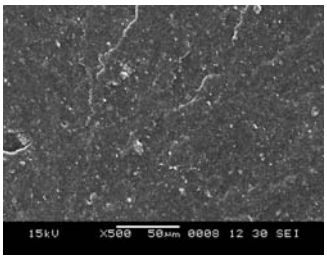
รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมกับผงเขม่าดำที่กำลังขยาย 500 เท่า (a) CB5; (b) CB10; (c) CB15; (d) CB20



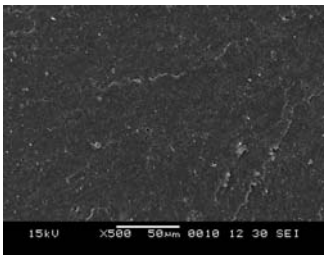
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมกับซิลิกาที่กำลังขยาย 500 เท่า (a) Si5; (b) Si10; (c) Si15; (d) Si20

บทที่ 5
วิจารณ์ผล

5.1 สมบัติการคงรูป (Cure characteristics)

ยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ถูกนำไปทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางโดยเครื่อง Oscillating disk rheometer ภายใต้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ค่าแรงบิด (Torque) และเวลา (Time) ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติ และสมบัติการคงรูปแสดงดังตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 99:1 (FN2) ค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum torque) มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงบิดของยางสังเคราะห์ฟลูออโร(FN1) ในขณะที่อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 (FN3) ให้ค่าแรงบิดสูงสุดสูงกว่า FN1 และ FN2 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ดังในกรณีของ FN4 (ยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 95:5) ค่าแรงบิดสูงสุดที่ได้มีค่าต่ำลง โดยค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าประมาณ 42.58 dNm ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องมาจากปริมาณของยางธรรมชาติที่ใส่เพิ่มเข้าไปส่งผลให้วัสดุมีความนุ่ม (Soft) เพิ่มขึ้น ดังนั้นจากผลการทดสอบการคงรูปของยางทั้ง 2 ประเภท สามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่า อัตราส่วนระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรต่อยางธรรมชาติ เท่ากับ 98:2 ให้ค่าแรงบิดสูงสุดมากที่สุด หลังจากนั้นยางคอมปาวด์ที่ได้จากการทดลองถูกนำไปขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที เพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางให้เท่ากันในทุก ๆ สารตัวอย่าง

5.2 สมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

5.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing)

หลังจากนำยางคอมปาวด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแล้ว ยางที่ขึ้นรูปได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM-D412 ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดูลัส (Modulus) ณ เปอร์เซ็นต์ระยะยืดช่วง 50 100 และ 300 สรุปได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการผสมยางธรรมชาติเข้าไปในยางสังเคราะห์ฟลูออโรในสัดส่วน 1 และ 2 ส่วนในร้อยส่วน ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ ในขณะที่การเติมยางธรรมชาติลงไปในยางสังเคราะห์ฟลูออโรในสัดส่วน 5 ส่วนในร้อยส่วนนั้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดกลับมีค่าสูงกว่ายางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ นักวิจัยจึงขอไม่เน้นการวิจารณ์ผลในส่วนของค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดรวมถึงค่าระยะยืด ณ จุดขาด แต่จะขอพิจารณาสมบัติของวัสดุในเชิงของค่ามอดูลัสแทน ค่ามอดูลัสที่เปอร์เซ็นต์ระยะยืดเท่ากับ 50 และ 100 ของทุกตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีของ FN3 ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะยืดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความเข้ากันได้ระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติ สามารถยืนยันผลการทดลองได้โดยใช้การวิเคราะห์ Scanning Electron Microscopy ซึ่งจะกล่าวต่อไป

5.2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความแข็งของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 100:0 99:1 98:2 95:5 มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางธรรมชาติในยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากยางธรรมชาติมีความอ่อนนุ่ม (Soft) ดังนั้นเมื่อผสมกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรแล้วจะส่งผลให้มีค่าความแข็งที่ได้มีแนวโน้มลดลง

5.3 การทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลบริสุทธิ์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

หลังจากนำยางคอมปาวด์ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแล้ว ยางที่ขึ้นรูปได้ถูกนำไปทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ เพื่อต้องการตรวจสอบว่าการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนใดถึงจะทนทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายได้ ร้อยละการบวมตัวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 168 ชั่วโมงเทียบกับซิลยางที่ใช้ในทางการค้า แสดงดังรูป 4.1 พบว่า ร้อยละการบวมตัวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติที่ใส่เข้าไปเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) ที่ประกอบด้วยน้ำมันเบนซินร้อยละ 80 เป็นสารละลายที่ไม่มีขั้วและเอทานอลร้อยละ 20 เป็นสารละลายที่มีขั้ว น้ำมันเบนซินจึงส่งผลต่อการบวมตัวยางธรรมชาติ ยกเว้นในกรณีของ FN3 จะเห็นได้ว่า ร้อยละการบวมตัวมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับสารตัวอื่นรวมทั้งซิลยางที่ใช้ในทางการค้า

นอกจากนี้พบว่าการบวมตัวของชิ้นงานในทุกๆสารตัวอย่าง (FN1-FN4) แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อนำไปทดสอบการบวมตัวในตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์ ทั้งนี้ตัวทำละลายเอทานอลเป็นสารละลายที่มีขั้ว จึงไม่ส่งผลต่อการบวมตัวของยางธรรมชาติมากนัก เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจากการทดสอบการบวมตัวสามารถสรุปได้ว่าที่อัตราส่วนของการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติเท่ากับ 98:2 ให้ผลการบวมตัวใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ และร้อยละการบวมตัวที่ได้ของวัสดุทั้ง 2 (FN1 และ FN3) ยังน้อยกว่าเมื่อเทียบกับซิลยางที่ใช้ในทางการค้า

5.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

รูปที่ 4.2 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น ความเข้ากันได้ระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติมีแนวโน้มลดลง สังเกตได้จากการเห็นเป็นรอยขรุขระบริเวณพื้นผิว และเห็นเป็นขอบเขตและรอยต่อของยางทั้ง 2 ประเภท จากข้อมูลข้างต้น พบว่าการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ ในอัตราส่วน 99:1 (FN2) และ 98:2 (FN3) สามารถผสมกันได้ดี ทำให้เห็นบริเวณที่เป็นรอยต่อหรือรอยขรุขระน้อย

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลข้อมูลในส่วนการคงรูป สมบัติเชิงกล การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ และการศึกษาทางสัณฐานวิทยา สามารถสรุปได้ว่าที่อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 (FN3) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโร

ร่วมกับยางธรรมชาติ โดยจากผลการทดสอบ FN3 ให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่า FN1 และ FN2 ตามลำดับ การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง วัสดุให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่าในทุกๆสารตัวอย่าง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของ FN3 มีค่าใกล้เคียงกับ FN1 ซึ่งใช้เป็นยางมาตรฐานในการทดสอบการทนทานต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ส่วนในเอทานอลบริสุทธิ์มีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง สุดท้ายการศึกษาทางสัณฐานวิทยาพบว่าวัสดุ FN3 สามารถมีความเข้ากันได้ดี พิจารณาได้จากความเรียบของพื้นผิวที่ทดสอบได้ นักวิจัยจะใช้อัตราส่วนนี้นำยางผสมที่ได้ไปผสมร่วมกับสารตัวเติม เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ ความเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และการศึกษาทางสัณฐานวิทยาต่อไป

5.5 ผลของสารตัวเติมต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

5.5.1 สมบัติการคงรูป (Cure characteristics)

หลังจากได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมยางธรรมชาติร่วมกับยางสังเคราะห์ฟลูออโร โดยใช้อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรต่อยางธรรมชาติเท่ากับ 98:2 โดยน้ำหนัก ขั้นตอนถัดมานำยางผสมดังกล่าวมาทำการผสมร่วมกับสารตัวเติมเพื่อศึกษาผลกระทบของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ผงเขม่าดำ และซิลิกาในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr ตามลำดับ รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติผสมร่วมกับสารตัวเติมผงเขม่าดำและซิลิกา ตามลำดับ พบว่าค่าแรงบิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบยางผสมที่มีการเติมสารตัวเติมกับยางผสมที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม พบว่ายางผสมที่มีการเติมสารตัวเติมจะมีค่าแรงบิดที่สูงกว่า นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมทั้ง 2 ประเภท ไม่ได้ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับเวลาจะเห็นได้ว่าค่าแรงบิดสูงสุดมีแนวโน้มที่จะคงที่ประมาณ 15 นาที ดังนั้นในการทดลองนี้เลือกที่จะขึ้นรูปยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับการสารตัวเติมที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ตารางสรุปสมบัติการคงรูปของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมแสดงในภาคผนวก)

5.5.2 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

5.5.2.1 การทดสอบความทนทานแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่ง (Aging)

รูปที่ 4.5 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมโดยภาวะการบ่มเร่งทำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดก่อนการบ่มเร่งด้วยความร้อนของการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม (ผงเขม่าดำหรือซิลิกา) พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของการเติมผงเขม่าดำมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีของการเติมซิลิกาเป็นสารตัวเติม ภาวะหลังการบ่มเร่งค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีก่อนการบ่มเร่ง แต่จะสังเกตเห็นว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดหลังการบ่มเร่งในทุกๆสารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง และในกรณีที่ยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ (98:2) ผสมร่วมกับซิลิกา ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดหลังการ

บ่มเร่งสูงกว่าก่อนการบ่มเร่งอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไปส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (Crossink) เพิ่มขึ้น หรือเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ยาง undercure และการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางจะสูงขึ้นหลังจากการบ่มเร่งเมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ที่เป็นเช่นนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากการที่ซิลิกามีหมู่ไซลานอล (Silanol group) ทำให้ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเกิดขึ้นได้ช้าลง หลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนส่งผลให้ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางสามารถเกิดขึ้นได้อีกครั้ง

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความยาว ณ จุดขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม พบว่าค่าความยาว ณ จุดขาดก่อนการบ่มเร่งมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความยาว ณ จุดขาดหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีก่อนการบ่มเร่ง แต่อย่างไรก็ตามค่าความยาว ณ จุดขาดหลังการบ่มเร่งในทุก ๆ สารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไปส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นได้

รูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 แสดงค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่าค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสของการเติมผงเขม่าดำมีค่าสูงกว่าในกรณีของการเติมซิลิกาทั้งนี้อาจมีผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพการเสริมแรงของผงเขม่าดำเหนือกว่าในกรณีของการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ค่ามอดูลัสหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีก่อนการบ่มเร่ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่ามอดูลัสหลังการบ่มเร่งในทุก ๆ สารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไปส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น (ตารางสรุปสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 98:2 ผสมร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งแสดงในภาคผนวก)

5.5.2.2 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ก่อนและหลังการบ่มเร่ง

รูปที่ 4.10 แสดงค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติ (98:2) ร่วมกับการเติมสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่าค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น โดยค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของการเติมผงเขม่าดำมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีของการเติมซิลิกาเป็นสารเสริมแรง ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดหลังการบ่มเร่งในทุก ๆ สารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไปส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น

5.5.2.3 ความแข็งก่อนและหลังการบ่มเร่ง

รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับการเติมสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของการเติมผงเขม่าดำมีค่าใกล้เคียงกับการเติมซิลิกาเป็นสารตัวเติม ค่าความแข็งหลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ค่าความแข็งหลังการบ่มเร่งในทุก ๆ สารตัวอย่างที่มีการเติมสารตัวเติมมีแนวโน้มสูงกว่าในกรณีก่อนการบ่มเร่ง ทั้งนี้เนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนอาจไปส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น

5.5.2.4 การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์และเอทานอลบริสุทธิ์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

การทดสอบการบวมตัวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติ (98:2) ร่วมกับการเติมสารตัวเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมง และ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ พบว่าร้อยละการบวมตัวของยางผสมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น โดยร้อยละการบวมตัวของการเติมสารตัวเติมทั้ง 2 ประเภทมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้งที่อุณหภูมิห้องและ 50 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละการบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ร้อยละการบวมตัวที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้องทั้งนี้ความร้อนส่งผลให้ยางผสมเกิดการขยายตัว ทำให้การดูดซับน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การที่มีสารตัวเติมในยางผสมส่งผลให้ยางผสมมีความเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำมันแก๊สโซฮอล์จึงเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เมื่อพิจารณาร้อยละการบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมในเอทานอลบริสุทธิ์ พบว่าเมื่อปริมาณของผงเขม่าดำเพิ่มสูงขึ้น ค่าร้อยละการบวมตัวของยางผสมที่อุณหภูมิห้องมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การเติมผงเขม่าดำซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วเข้าไปในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติ ส่งผลให้ความเป็นขั้วของยางผสมลดต่ำลง การบวมตัวจึงลดลงตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมร้อยละการบวมตัวที่ได้ของยางผสมร่วมกับซิลิกาให้ผลตรงข้ามกับในกรณีของการเติมผงเขม่าดำ ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกามีความเป็นขั้วสูง ทำให้ยางผสมที่ได้มีความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการบวมตัวของยางผสมที่อุณหภูมิห้องสูงมากขึ้นตามลำดับ ร้อยละการบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมในเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับร้อยละการบวมตัวที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องมาจากความร้อนไปช่วยทำให้ยางผสมเกิดการขยายตัวทำให้การดูดซับเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นในบางกรณีที่ผลการทดลองอาจเกิดความผิดพลาด

5.5.2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลหลังแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมง และ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าก่อนการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ยางผสมมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น แต่หลังจากการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อเทียบกับก่อนการบวมตัว แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดหลังการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น และการทดสอบการบวมตัวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มต่ำกว่าในกรณีของการบวมตัวที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้น อาจส่งผลให้ยางเกิดการขยายตัว เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับมากขึ้น นอกจากนี้ผลของการเติมสารตัวเติมส่งผลต่อการเกิดรูพรุนในยางผสม ทำให้การดูดซับของน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

รูปที่ 4.15 แสดงค่าความยาว ณ จุดขาดของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) ที่อุณหภูมิห้อง เป็น

เวลา 168 ชั่วโมง และ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความยาว ณ จุดขาดก่อนการบวมตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความยาว ณ จุดขาดหลังการบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่าใกล้เคียงกันกับในกรณีของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำ พบว่าค่าความยาว ณ จุดขาดหลังการบวมตัวของทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าก่อนการบวมตัว ในขณะที่ค่าความยาว ณ จุดขาดหลังการบวมตัวของทั้ง 2 อุณหภูมิในกรณีของยางผสมร่วมกับซิลิกามีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาว ณ จุดขาดก่อนการบวมตัว ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพของการเสริมแรงของผงเขม่าดำเหนือกว่าซิลิกา จึงส่งผลให้ค่าความยาว ณ จุดขาดของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าความยาว ณ จุดขาดของยางผสมร่วมกับซิลิกา จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าทนทานต่อแรงดึงสูงสุดในกรณีของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำให้ค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมร่วมกับซิลิกา

รูปที่ 4.16 4.17 และ 4.18 แสดงค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 ของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม ก่อนและหลังการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (E20) พบว่าค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 ก่อนการบวมตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 หลังการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทั้ง 2 อุณหภูมิมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 ก่อนการบวมตัว โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ยางธรรมชาติเกิดการขยายตัวและการเติมสารตัวเติมส่งผลต่อการเกิดรูพรุนในยางผสมขยายขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับของน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 มีแนวโน้มลดลง นอกากนี้พบว่าค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 ของยางผสมร่วมกับผงเขม่าดำมีค่าสูงกว่าในกรณีของการเติมซิลิกา ดังเหตุผลที่อธิบายไปแล้วข้างต้น (ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในภาคผนวก)

จากข้อมูลข้างต้นจะสังเกตเห็นว่าสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ร่วมกับสารตัวเติม อาทิเช่น ค่าความทนแรงดึงสูงสุด ค่าความยาว ณ จุดขาด ค่ามอดูลัส ณ เปอร์เซ็นต์การยืดเท่ากับ 100 200 และ 300 หลังจากการแช่ในเอทานอลบริสุทธิ์ของทั้ง 2 อุณหภูมิให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับสมบัติเชิงกลหลังจากการแช่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันในระบบเปอร์ออกไซด์ ในหัวข้อที่ 5.5.2.4 พบว่าร้อยละการบวมตัวในเอทานอลบริสุทธิ์ของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมในทุก ๆ สารตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) ผู้วิจัยคาดเดาว่าถ้าร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มาก จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลหลังจากการทดสอบการบวมตัวด้อยลง แต่จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทั้ง 2 ข้างต้นทำให้นักวิจัยสรุปได้ว่าร้อยละการบวมตัวในตัวทำละลายที่ต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลหลังจากการทดสอบการบวมตัว แสดงว่าเมื่อนำยางผสมร่วมกับสารตัวเติมไปใช้งานจริงไม่ว่าจะเป็นในน้ำมันเชื้อเพลิงผสม หรือในอนาคตอาจจะใช้เอทานอลบริสุทธิ์ ก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล แต่ส่งผลกระทบต่อค่าการบวมตัวเท่านั้น

5.5.2.6 การทดสอบความเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซนของยางผสม

การศึกษาความต้านทานโอโซนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมในงานวิจัยนี้ทดสอบที่ความเข้มข้นโอโซน 50 ส่วนในร้อยล้านส่วน (pphm) ณ อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 6 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่ายางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมไม่ปรากฏรอยแตก ทั้งนี้อาจมีผลเนื่องจากยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมทั้ง 2 ประเภทมีโครงสร้างที่แข็งแรง ซึ่งการเกิดอันตรกิริยาอาจเป็นได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ส่งผลให้โอโซนไม่สามารถไปทำลายพันธะคู่ในยางธรรมชาติได้

5.5.2.7 การกระจายตัวของสารตัวเติมในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบนพื้นผิวของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ผสมกับผงเขม่าดำและซิลิกา ตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติมีความขรุขระเพิ่มขึ้นจะเห็นเป็นเส้นรอยต่อ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลการกระจายตัวของสารตัวเติมในเฟสของยางนั้นอาจจะวิเคราะห์ยากโดยใช้เทคนิคการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เนื่องจากอนุภาคของสารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดเล็กถึงในระดับนาโนเมตร จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม ส่งผลให้ความเรียบของวัสดุน้อยลง หรืออีกนัยหนึ่งคือวัสดุมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

บทที่ 6
สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมในยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติ เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ สารตัวเติมที่ใช้ผสมในยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติมี 2 ชนิด ได้แก่ ผงเขม่าดำและซิลิกา การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ และส่วนที่ 2 ศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และข้อมูลทางสัณฐานวิทยา จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ

อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากอัตราส่วน 98:2 ให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรซึ่งใช้เป็นยางมาตรฐานในงานวิจัยนี้ การทดสอบความทนทานต่อแรงดึงที่อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติเท่ากับ 98:2 ให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่าในทุกอัตราส่วนของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งหมด และร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของสารตัวอย่างในอัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติเท่ากับ 98:2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางสังเคราะห์ฟลูออโรอีกด้วย ข้อมูลทางสัณฐานวิทยายืนยันได้ว่าที่อัตราส่วนของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมร่วมกับยางธรรมชาติเท่ากับ 98:2 มีความเข้ากันได้ดี โดยพิจารณาจากความเรียบของพื้นผิว ของสารตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และข้อมูลทางสัณฐานวิทยา

หลังจากนั้นนำยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนเท่ากับ 98:2 ไปผสมร่วมกับสารตัวเติม คือ ผงเขม่าดำและซิลิกา เพื่อศึกษาสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง การบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน และข้อมูลทางสัณฐานวิทยา พบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่าแรงบิดและสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในกรณียางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรกับยางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับผงเขม่าดำให้ค่าแรงบิด และสมบัติเชิงกลสูงกว่าในกรณีของยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับซิลิกา เมื่อนำยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับสารตัวเติมไปทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการบ่มเร่ง พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด ความทนทานต่อการฉีกขาด และความแข็งมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลก่อนการบ่มเร่งในทุกปริมาณของสารตัวเติม เนื่องจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนส่งผลให้ยางผสมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น ร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมปริมาณ 5 phr มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณของสารตัวเติมอื่นๆ หลังการทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อเทียบกับก่อนการบวมตัว เนื่องจากการเติมสารตัวเติมส่งผลต่อการเกิดรูพรุนในยางผสมขยายขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซับของน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลด้อยลง การทดสอบความต้านทานโอโซนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

การศึกษาข้อมูลทางสัณฐานวิทยาพบว่าพื้นผิวของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมมีความขรุขระเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันผลการทดสอบการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้

ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติคือที่อัตราส่วน 98:2 เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้นในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติ ส่งผลให้ร้อยละการบวมตัวในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณของสารตัวเติมเท่ากับ 5 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมลงในยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติเพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E10 และ E85
2. อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบความทนทานต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ควรมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับในเครื่องยนต์ที่ใช้จริง
3. ควรมีการปรับปรุงสูตรที่ใช้ในการผสมยาง เพื่อเพิ่มปริมาณยางพาราในการผสมร่วมกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรให้มีปริมาณมากกว่าที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทั้งนี้จะได้เป็นการลดต้นทุนในการผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้จริงในแง่ของทางอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

1. Brydson, J. A. Rubber Materials and their Compounds. Elsevier Applied Science, London,1988, 238-253.
2. Hofmann, W. Handbook Rubber Technology. Hanser Publishers, Munich, 1989, 119-126.
3. Ohm, R. F. The Vanderbilt Rubber Handbook. R. T. Vanderbilt Company, Inc., Norkwalk, 1990, 211-222.
4. Frame, E. and McCormick, R. L. Elastomer Compatibility Testing of Renewable Diesel Fuels. Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, 2005, NREL/TP-540-38834.
5. Abu-Isa, I. A. Effects of Methanol/Gasoline Mixtures on Elastomers. SAE Publications, 1984, Document No. 840411.
6. Eirich, F. R. Science and Technology of Rubber. Academic Press, New York, 1978, 325-333.
7. Taguet, A,. Ameduri, B. and Boutevin, B. Crosslinking of vinylene fluoride-containing fluoropolymers. *Adv. Polym. Sci*., 2005, 184, 127-211.
8. ดร.พงษ์ธร แซ่อุย, สารเคมียาง. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2548, 70-98.
9. Apostolo, M. and Triulzi, F. Properties of fluoroelastomer/semicrystalline perfluoropolymer nano-blends. *J. Fluorine Chem*., 2004, 125, 303–314.
10. Flitney, B. Which elastomer seal materials are suitable for use in biofuels?. *Sealing Technology*, 2007, 9, 8-11.
11. Turii, S,. Levi, M,. Cristini, M. and Sanguineti, A. Dynamic and thermo-mechanical properties of some specialty fluoroelastomers for low Tg seal material. *J. Polym. Res*., 2007, 14, 141-145.
12. Trakarnpruk, W. and Porntangjitlikit, S. Plam oil biodiesel synthesized with potassium loaded calcined hydrotalcite and effect of biodiesel blend on elastomer properties. *Renew. Energ*., 2007, in press.
13. Duin, M. V. and Dikland, H. A chemical modification approach for improving the oil resistance of ethylene-propylene copolymers. *Polym. Degrad. Stabil.*, 2007, 92, 2287-2293.

ภาคผนวก

ตารางที่ ก สมบัติการคงรูปของยางสังเคราะห์ฟลูออโรผสมกับยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม

Sample Code	Scorch Time (min)	t_{90} (min)	Torque Minimum (dNm)	Torque Maximum (dNm)
FN3	1.17	8.50	17.05	8.50
CB5	1.29	6.83	15.79	77.32
CB10	1.17	11.25	16.77	91.61
CB15	1.17	8.04	17.65	86.19
CB20	1.21	11.33	19.72	106.48
Si5	1.04	12.92	19.72	82.99
Si10	1.17	9.63	25.60	86.50
Si15	1.08	12.00	31.17	100.70
Si20	1.17	3.92	40.36	106.79

ตารางที่ ข การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติที่อัตราส่วน 98:2 ผสมร่วมกับสารตัวเติมก่อนและหลังการบ่มเร่ง

Sample code	Mechanical properties									
	Before ageing					After ageing				
	T_B[1](MPa)	E_B[2](%)	M^3_{100}(MPa)	M^3_{200}(MPa)	M^3_{300}(MPa)	T_B[1](MPa)	E_B[2](%)	M^3_{100}(MPa)	M^3_{200}(MPa)	M^3_{300}(MPa)
FN3	11.43	416.	0.99	1.65	3.14	10.92	385.8	1.08	1.93	4.22
CB5	16.34	359.9	1.54	3.95	9.6	15.97	387.7	1.54	3.65	8.1
CB10	19.57	353.5	2.41	7.12	13.99	19.89	361	2.5	7.32	14.17
CB15	20.8	362.4	3.28	9.31	16.01	21.2	374.5	3.27	9.44	15.84
CB20	21.28	323	4.76	12.77	19.87	22.24	332.7	5.12	13.5	20.39
Si5	14.62	382	1.58	3.1	6.01	15.88	389.9	1.63	3.54	6.98
Si10	18.57	364.7	2.41	4.88	9.89	20.72	381.4	2.45	5.68	11.19
Si15	19.29	341.5	3.5	7.13	14.11	24.16	364.6	3.87	8.98	16.61
Si20	20.72	371.2	4.18	8.1	13.77	23.12	339.8	5.27	11.29	18.43

[1] ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) [2] ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) [3] M_{50} M_{100} และ M_{300} : ค่ามอดูลัส (Modulus) ที่ 50% 100% และ 300% elongation ตามลำดับ

ตารางที่ ค การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติมหลังแช่น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) และเอทานอลบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 168 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Sample code	Mechanical properties																			
	After swelling at room temperature, 168 h										After swelling at 50 ^{0}C , 24 h									
	T_B[1](MPa)		E_B[2](%)		M^3_{100}(MPa)		M^3_{200}(MPa)		M^3_{300}(MPa)		T_B[1](MPa)		E_B[2](%)		M^3_{100}(MPa)		M^3_{200}(MPa)		M^3_{300}(MPa)	
	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH	E20	EtOH
FN3	7	8	376	455	1	0.9	1.7	1.5	3.2	2.5	5	6	388	401	1	0.9	1.4	1.5	2.5	2.6
CB5	11	11	342	378	1.4	1.4	3.4	2.8	7.5	6.2	7	10	306	301	1.3	1.6	3	4.2	6.2	10.4
CB10	12	14	282	350	2.2	2	6.5	5.4	13.3	11.1	12	14	308	321	2	2.3	5.5	6.1	10.8	12.4
CB15	14	15	270	281	3	3.1	9	9.1	0	0	14	18	267	379	3	2.9	9	8.5	0	14
CB20	14	16	242	277	3.9	3.9	11.4	11.2	0	0	16	19	264	324	3.9	4.2	11.7	11.9	0	17.4
Si5	11	11	367	395	1.4	1.4	2.6	2.6	5.1	4.6	8	11	386	374	1.3	1.6	2.2	3	3.8	5.5
Si10	12	14	373	412	1.9	1.9	3.4	3.5	6	6	9	16	401	382	1.7	2.1	2.9	3.8	4.9	6.9
Si15	13	14	372	371	2.4	2.3	4.4	4.3	7.7	7.8	12	17	361	383	2.3	2.7	4.1	4.8	7.2	8.6
Si20	14	14	369	359	2.9	2.8	5.1	4.9	8.6	8.7	16	20	376	380	2.8	3.7	5	6.7	8.9	12
FN3	7	8	376	455	1	0.9	1.7	1.5	3.2	2.5	5	6	388	401	1	0.9	1.4	1.5	2.5	2.6
CB5	11	11	342	378	1.4	1.4	3.4	2.8	7.5	6.2	7	10	306	301	1.3	1.6	3	4.2	6.2	10.4

[1] ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) [2] ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) [3] M_{50} M_{100} และ M_{300} : ค่ามอดูลัส (Modulus) ที่ 50% 100% และ 300% elongation ตามลำดับ

ตารางที่ ง ความต้านทานโอโซนของยางผสมระหว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติร่วมกับสารตัวเติม

Sample code	Crack		
	6 hr	24 hr	48 hr
FN3	x	x	x
CB5	x	x	x
CB10	x	x	x
CB15	x	x	x
CB20	x	x	x
Si5	x	x	x
Si10	x	x	x
Si15	x	x	x
Si20	x	x	x

X: No crack

คำชี้แจงแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์

"ผลของสารตัวเติมต่อความคงทนของยางผสมระหว่างยางฟลูออโรและยางธรรมชาติที่ใช้กับน้ำมันแก๊สโซฮอล์"

RDG5150046

ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)

1. หัวข้อ "สารบัญเรื่อง" ควรแก้เป็น "สารบัญ"

   คำตอบ ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว

2. ควรระบุที่มาของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด เช่น ใช้ยางธรรมชาติชนิดใด ควรใช้คำว่า "ยางฟลูออโร" มากกว่า viton ซึ่งเป็นชื่อทางการค้า

   คำตอบ ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว

3. การเขียนผลการทดลอง ควรเขียนเป็นร้อยแก้วควบคู่ไปกับตาราง หรือถ้าแยกตารางควรอธิบายผลการทดลอง ไม่ใช่ผลการทดลองเป็นตารางหรือตัวเลขเพียงอย่างเดียว หรืออาจเขียนผลการทดลองและวิจารณ์ผลร่วมกัน ส่วนตารางจะแยกเป็นภาคผนวกก็ได้ (ผลการทดลองไม่ใช่แค่ตัวเลขหรือกราฟ ควรอธิบายเพิ่มด้วย)

   คำตอบ ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว โดยอธิบายผลการทดลองและวิจารณ์ผลควบคู่ไปกับผลการทดลองที่ได้ ตารางบางส่วนได้ถูกย้ายไปแสดงในภาคผนวก

4. การอ้างอิงเอกสาร ควรระบุหน้าที่อ้างอิงทุกรายการด้วย

   คำตอบ ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว

ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)

1. การทดสอบสมบัติต่างๆของยางในหัวข้อ 3.3 หน้า 16 ควรอ้างอิงมาตรฐานให้ครบถ้วนในทุกการทดสอบ

   คำตอบ ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว

2. ตารางที่ 3.1 ใช้ TAIC เพื่ออะไร การใช้ NR เพียง 1,2, และ 5 และจากที่สรุปว่าปริมาณที่เหมาะสมคือ 2 ส่วนนั้น ไม่น่าจะมีผลต่อสมบัติต่างๆตามที่สรุป เพราะว่าปริมาณน้อยมากเกินกว่าที่จะมีนัยสำคัญทำให้สมบัติต่างๆแปรไปได้

   คำตอบ TAIC ในตารางที่ 3.1 ใช้เป็นสารกระตุ้นร่วมในระบบเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ผู้วิจัยเห็นด้วยกับคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิที่กล่าวว่าการใช้ปริมาณยางธรรมชาติน้อยเกินกว่าที่จะมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการที่ผู้วิจัยเลือกที่จะใส่ปริมาณยางธรรมชาติที่น้อยเนื่องมาจากคุณสมบัติของยางธรรมชาตินั้นมีผลต่อการบวมตัวในน้ำมันได้ง่ายกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์ ซึ่งถ้าใส่ยางธรรมชาติลงไปมาก ก็จะส่งผลให้ความทนทานต่อน้ำมันแก๊สโซฮอล์ของยางผสมระว่างยางสังเคราะห์ฟลูออโรและยางธรรมชาติลดลงได้ จากผลการทดสอบสมบัติการบวมตัว ผลการทดลองชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติ ทำให้การบวมตัวของยางผสมเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่พยายามเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติให้มากกว่า 5 ส่วนในร้อยส่วน และจากผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ เช่น การคงรูป เชิงกล และการบวมตัว จะเห็นได้ว่าการผสมยางฟลูออโรร่วมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 98:2 ให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ฟลูออโรบริสุทธิ์อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าการใช้ยางธรรมชาติ 2

ส่วนในร้อยส่วน แม้จะมีปริมาณน้อย แต่ก็ยังสามารถลดการใช้ยางสังเคราะห์ฟลูออโรได้เมื่อทำ Scale up

3. การใช้สารตัวเติมเขม่าดำและซิลิกา ต้องระบุเกรดที่ใช้ให้ชัดเจน อย่างไรก็ตามการสรุปว่า สารตัวเติมปริมาณที่เหมาะสมคือ 5 phr นั้น ไม่ถือว่ามีผลต่อการเปลี่ยนสมบัติเชิงกลแต่อย่างใด ปกติการเติมสารตัวเติมหวังผล reinforcement ควรมากกว่า 10 phr ผลของสมบัติต่างๆที่แปรปรวนอันเนื่องจากการแปรปริมาณสารตัวเติมเพียงเล็กน้อย ไม่น่ามีนัยสำคัญ

   <u>คำตอบ</u> ได้ระบุเกรดของสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิดแล้วในตารางที่ 3.2 นอกจากนี้ผู้วิจัยเห็นด้วยกับคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารตัวเติมในยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ เพื่อผลิตวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความคงทนต่อการใช้งานกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งจากผลการทดสอบการบวมตัวของยางผสมพบว่าที่ปริมาณสารตัวเติมน้อย ๆ (ในที่นี้คือปริมาณ 5 phr) ร้อยละการบวมตัวของยางผสมร่วมกับสารตัวเติมมีค่าใกล้เคียงกับยางฟลูออโรบริสุทธิ์ ส่วนสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองก็แสดงเป็นแนวโน้มว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลก็จะดีขึ้นตามด้วย และปริมาณสารตัวเติมที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้คือปริมาณตั้งแต่ 5-20 phr ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการใส่ในผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้กับเครื่องยนต์

4. การที่สมบัติทางกายภาพสูงขึ้นเล็กน้อยหลังจากการบ่มเร่งเกือบทุกสมบัติหรือทุกวิธีการ อาจเนื่องมาจากยางยังไม่ vulcanize สมบูรณ์ ทำให้เมื่อ aging มีผลให้สมบัติทางกายภาพสูงขึ้นอีก ดังเช่น ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะก่อนและหลังการบ่มเร่ง ค่า Tensile น่าจะบ่งชี้ว่า ยาง undercure มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม สมบัติทางกายภาพที่สูงขึ้นไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด เป็นเพียงแนวโน้มเท่านั้น

   <u>คำตอบ</u> ได้แก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว