

สมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของยางผสมเขม่าดำ/ยางเอชเอ็นบีอาร์/ยางเอ็นบีอาร์

ที่เติมด้วยผงซิลิกาเกรดการค้าและผงเถ้าลอย

Mechanical and Oil-Resistant Properties of Carbon Black/HNBR/NBR Vulcanizates Filled with Commercial Silica and Fly Ash Particles

ชุลีพันธ์ พันธุ์เอี่ยม (Chuleepan Paniame)* เอกชัย วิมลมาลา (Ekachai Wimolmala)**

ธีระศักดิ์ หมากพิน (Teerasak Markpin) ** ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (Narongrit Sombatsompop)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของวัสดุยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลักและปรับเปลี่ยนปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ที่ 10-30 ส่วน โดยศึกษาถึงระบบการคงรูป 2 แบบ ดังนี้ ระบบคงรูปซัลเฟอร์และระบบเปอร์ออกไซด์ ในงานนี้ใช้สารตัวเติม ผงเถ้าลอยหรือผงซิลิกาเกรดการค้าเป็นสารเติมแต่งรอง ผลการทดสอบพบว่า การเติมยางเอชเอ็นบีอาร์ในยางเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติโดยรวมของวัสดุยางผสมในการคงรูปทั้ง 2 ระบบ และการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมที่ใช้การคงรูประบบซัลเฟอร์แต่สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลภายหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมันไฮดรอลิก สำหรับผลของสารเติมแต่งกลุ่มซิลิกาพบว่า การเติมซิลิกาเกรดการค้าในวัสดุยางผสมทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการเติมซิลิกาจากเถ้าลอย ในขณะที่การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมันส่งผลให้ ค่ามอดูลัส ความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น แต่ความต้านแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง

ABSTRACT

This work studied the properties of carbon black filled acrylonitrile-butadiene rubber (NBR) that was incorporated by hydrogenated NBR at various loadings from 10 to 30 parts per hundred rubber (phr). The rubber blends were vulcanized using two different vulcanization systems, these being referred to as sulphur and peroxide curing systems. In addition, two silica based fillers were used, namely commercial silica (PSi) and fly ash particles (FASi). The experimental results suggested that the addition of HNBR into the carbon black filled NBR did not affect the overall mechanical properties of both vulcanization. The addition of antioxidant (6PPD) resulted in better thermal stabilities under heat and oil for the sulphur-cured vulcanizates. For the effect of silica based fillers, it was found that the mechanical properties for the PSi filled vulcanizates were greater than those for the FASi filled vulcanizates. The thermal aging was found to improve the modulus and hardness, except for the tensile strength, tear strength and elongation at break.

คำสำคัญ : ยางไนไตรล์ ยางไนไตรล์ไฮโดรจิเนต ซิลิกา

Key Words : Nitrile Rubber, Hydrogenated Nitrile Rubber, Silica

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** ศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหรือยานยนต์ เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ ชุดเกียร์ส่งกำลัง ที่มี น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารหล่อลื่น หรือรถแทรกเตอร์ของ ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวส่งถ่ายกำลัง ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ ยางซีล/ยางทนน้ำมันจึงมีบทบาทความสำคัญในการ ใช้งานในชิ้นส่วนอุปกรณ์ยานยนต์ หรือเครื่องจักรกล โดยที่วัตถุดิบส่วนใหญ่เลือกใช้ยางสังเคราะห์ หรือจาก ยางผสมหลายชนิด ขึ้นอยู่กับการเลือกไปใช้งานเป็น ปัจจัยหลัก อย่างไรก็ตาม การผสมยางเป็นวิธีการหนึ่ง ที่นิยมใช้ เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติเด่นเฉพาะของ ยางแต่ละชนิด หรือต้องการลดต้นทุนการผลิต โดย ผลิตภัณฑ์ยางซีล หรือยางทนน้ำมันต้องมีสมบัติด้าน ความแข็งแรง สามารถรับแรงและมีความสามารถ ด้านทนต่อการขัดสีได้ดี และต้องทนต่อโอโซนและ อุณหภูมิในการใช้งานได้สูง และที่สำคัญยางซีลต้อง ด้านทนการบวมตัวต่อน้ำมันได้ดีอีกด้วย ส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ยางซีลทนน้ำมันที่ใช้กันมากมีสองชนิดคือ ยางเอ็นปีอาร์และยางเอชเอ็นปีอาร์ โดยยางเอ็นปีอาร์ และยางเอชเอ็นปีอาร์สามารถทนน้ำมันปิโตรเลียม, น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ (พงษ์ธร, 2548) แต่ยางเอ็นปีอาร์ มีขอบเขตการใช้งานช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่ต่ำและ สมบัติที่ดีกว่ายางเอชเอ็นปีอาร์ในด้านความทนทาน ต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน การทนต่อ โอโซน ความต้านทานต่อการขัดสี การกินตัวเมื่อได้รับ แรงอัด จากข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงของยาง เอ็นปีอาร์ และสมบัติที่ดีต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ของยางเอชเอ็นปีอาร์ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจปรับปรุง สมบัติยางเอ็นปีอาร์ ให้มีสมบัติเชิงกลและการทน น้ำมันเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับยางเอชเอ็นปีอาร์ ในช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่สูง โดยการผสมยางเอช เอ็นปีอาร์ลงในยางเอ็นปีอาร์ที่เป็นส่วนผสมหลัก และ มีการเสริมแรงด้วยผงเขม่าดำ ซึ่งจากโครงสร้างยางทั้ง สองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ เนื่องจากยางทั้งสอง สามารถเลือกความหนืดของยางทั้งสองให้ใกล้เคียงกัน

เพื่ออำนวยความสะดวกและการกระจายตัวของสารเติมแต่ง ในยาง ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของยางผสม เพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยการผลิต และขึ้นรูปพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้มีการศึกษาการนำผงเถ้าลอยมาใช้ในยาง ผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางเอ็นปีอาร์ (ชัชวาลย์ และคณะ, 2550) ซึ่งในผงเถ้าลอยมีปริมาณซิลิกาถึง 40% ที่สามารถนำไปใช้เป็น สารเติมแต่ง ใน กระบวนการผลิตยางได้ จากการเติมผงเถ้าลอยในยาง ดังกล่าวพบว่า สามารถใช้ทดแทนซิลิกาเกรดการค้าได้ ในปริมาณถึง 20-30 phr โดยให้สมบัติเชิงกลด้านความ ด้านแรงดึง ความต้านทานแรงฉีกขาด และความแข็ง เพิ่มขึ้น และพบว่าการปรับปรุงผิวผงเถ้าลอยทำให้ สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้นอีก และได้มีการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นปีอาร์โดย มีเถ้าลอยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารควบคู่ไซเลน bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfane (Si69) ปริมาณ 4 % โดยน้ำหนัก เป็นสารเติมแต่ง พบว่า สามารถเติมเถ้าลอยได้ถึง 15 phr และสามารถเติมยาง ธรรมชาติในยางเอ็นปีอาร์ได้ถึง 20 ส่วน นอกจากนี้ได้ มีการศึกษาการพัฒนาสูตรยางทนน้ำมันกันรั่วสำหรับ งานไฮดรอลิก โดยได้ออกสูตรยางเอชเอ็นปีอาร์ (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2551) พบว่าระบบวัลคาไนซ์ โดยใช้สารคงรูปเปอร์ออกไซด์ให้สมบัติเชิงกล โดยรวมของยางที่เหมาะสม และเมื่อเพิ่มปริมาณผง เขม่าดำที่ 80 phr พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่วนการปรับปรุงสมบัติของยางเอ็นปีอาร์โดยการผสม ด้วยยางเอชเอ็นปีอาร์ จากข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวยังมี ไม่แพร่หลาย และไม่ค้นพบการนำเถ้าลอยมาเป็น สารเติมแต่งในยางผสมระหว่างเอ็นปีอาร์กับเอชเอ็นปี อาร์

สำหรับงานวิจัยนี้ สนใจเรื่องการปรับปรุงสมบัติ ยางเอ็นปีอาร์ โดยการผสมด้วยยางเอชเอ็นปีอาร์ใน ปริมาณสูงสุด 30 phr และใช้ผงเขม่าดำเป็นสารเติม แต่งหลัก และปรับเปลี่ยนปริมาณผงเถ้าลอย ผงซิลิกา เกรดการค้า

เป็นสารเติมแต่งรอง และทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ความต้านแรงดึง การต้านแรงฉีกขาด การต้านทานการขาด ความแข็ง การยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัดและใช้ผงถ่านลอยเป็นสารเติมแต่งรอง เพื่อปรับปรุงสมบัติการคืนกลับตัวและเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตด้วย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- ยางไนไตรล์ (Nitrile Rubber: NBR) (เกรด NIPOL N32; มีปริมาณ ACN ร้อยละ 33) ยางไนไตรล์ไฮโดรจิเนต (Hydrogenated nitrile Rubber: HNBR) (เกรด ZETPOL 2030L; มีปริมาณ ACN ร้อยละ 36) จากบริษัท ซีโออน แอคควานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

- สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid) (เกรด ST-DDK) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ที่ใช้เกรด WHITE SEAL สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerators) ชนิด 2,2'-Dithiobis benzothiazole (MBTS) Tetramethylthiuram disulfide (TMTD) สารช่วยในการคงรูปยาง (Curing agent) ชนิด กำมะถัน (Sulphur) โดยใช้ขนาด 325 mesh จาก บริษัท ซีโออน แอคควานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด

- ผงเขม่าดำ (Carbon black) (เกรด N660) จากบริษัท ไทยคาร์บอนแบล็ค จำกัด ซิลิกาเกรดการค้า (Commercial silica) เกรด TOKUSIL 233 จากบริษัท Tokuyama Siam Silica จำกัด ถ่านลอย (Fly ash) คัดขนาดอนุภาคไม่เกิน 125 ไมครอน จากบริษัท K.N.R. Group จำกัด

- สารควบคู่ (Coupling agents) ประเภทไซเลน (Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide), $[(C_2H_5O)_3-Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$, (Couplink 89 C) ใช้ในการปรับปรุงผิวซิลิกาเกรดการค้าและถ่านลอย สารช่วยในการคงรูปยาง (Curing agent) ชนิดเปอร์ออกไซด์ ชนิด Dicumyl peroxide (DCP) และสารช่วยในการคงรูปยาง ชนิด Trimethylolpropane Trimethacrylate (TMPTMA) จากบริษัท Behn Mayer Chemical (T CO., LTD)

ขั้นตอนการผสมและการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ (NBR:HNBR) ที่สัดส่วน ดังนี้ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยมีผงเขม่าดำเกรด N660 ที่ปริมาณ 80 phr และใช้ระบบการเชื่อมโยงสายโซ่ด้วยสารคงรูปเปอร์ออกไซด์หรือสารคงรูปซัลเฟอร์สำหรับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทำการผสมในวัสดุยางผสมที่ปริมาณตั้งแต่ 0 10 20 30 40 และ 50 ส่วนในยางร้อยละซึ่งผงถ่านลอย (คิดเทียบจากปริมาณซิลิกาที่อยู่ในถ่านลอย 30%) เตรียมโดยผ่านกระบวนการบดคั้นขนาดอนุภาคไม่เกิน 125 ไมครอนและปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบประเภทไซเลนโดยผสมในถ่านลอยปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

- การผสมวัตถุดิบ เริ่มจากการบดยางด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) ของบริษัท Yong Fong Machinery จำกัด แล้วเติมวัตถุดิบต่างๆ ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยใช้เวลาในการบดผสมรวม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

- การหาเวลาที่ใช้ในการคงรูปยาง จากการทดสอบโดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) ของบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 อุณหภูมิทดสอบ 170 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าเวลาในการคงรูปที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (tc90)

- การเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยนำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้จากเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) ของบริษัท LAB TECH จำกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 170 องศาเซลเซียส แรงดันแม่พิมพ์ที่ 170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นตัดเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ

ตารางที่ 1 Vulcanization recipes for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates

Ingredient	Function	Peroxide system (phr)	Sulphur system (phr)
1. NBR (ACN 33%): HNBR (ACN 36%) (100:0, 90:10, 80:20, 70:30)	Matrix	100 Part	
2. Zinc oxide (ZnO)	Activator	5.0	
3. Stearic acid	Activator	--	1.5
4. Carbon black (N660)	Reinforcement	80	
5. TMTD ¹	Accelerator	--	2.5
6. MBTS ²	Accelerator	--	0.7
7. DOP (Diocetyl phthalate)	Plasticizers/Processability	8.0	--
8. Aromatic oil	Plasticizers/Processability	--	6.0
9. DCP (Dicumyl peroxide)	Crosslinker	7.5	--
10. TMPTMA ³	Peroxide Co-agent	12	--
11. Sulphur 325 mesh	Crosslinker	--	2.0
12. Antioxidant (6PPD)	Antioxidant	3.0	
13. Precipitated silica (PSi) and Fly ash particles (FASi)	Reinforcement/filler	Varied 0, 10, 20, 30, 40 and 50	

¹ TMTD : Tetramethyl Thiuramdisulfide

² MBTS : Mercaptobenzoazole

³ TMPTMA : Trimethylolpropane Trimethacrylate

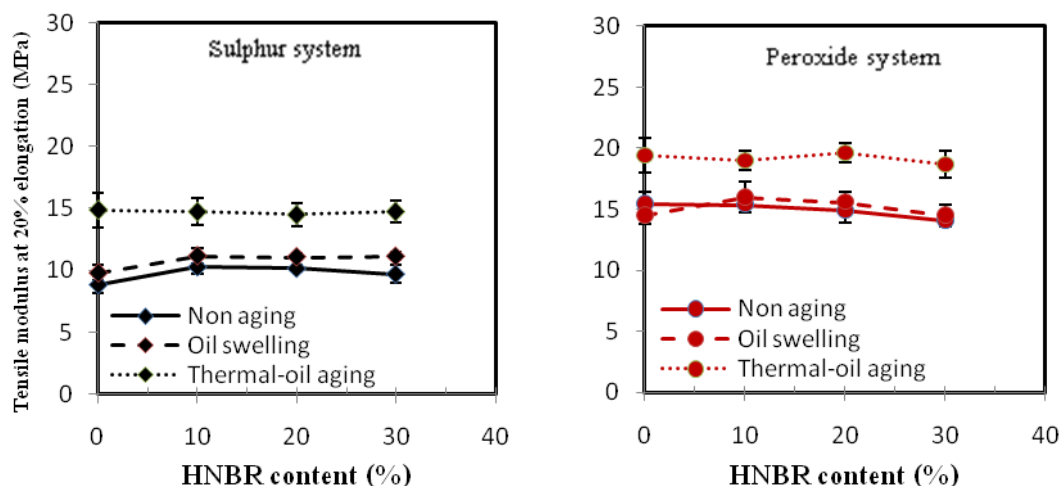
- การทดสอบความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกขาดของแผ่นยางคงรูปใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 และตามมาตรฐาน ASTM D624-07 ตามลำดับ

- การทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นยางคงรูปใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240-05 Shore A

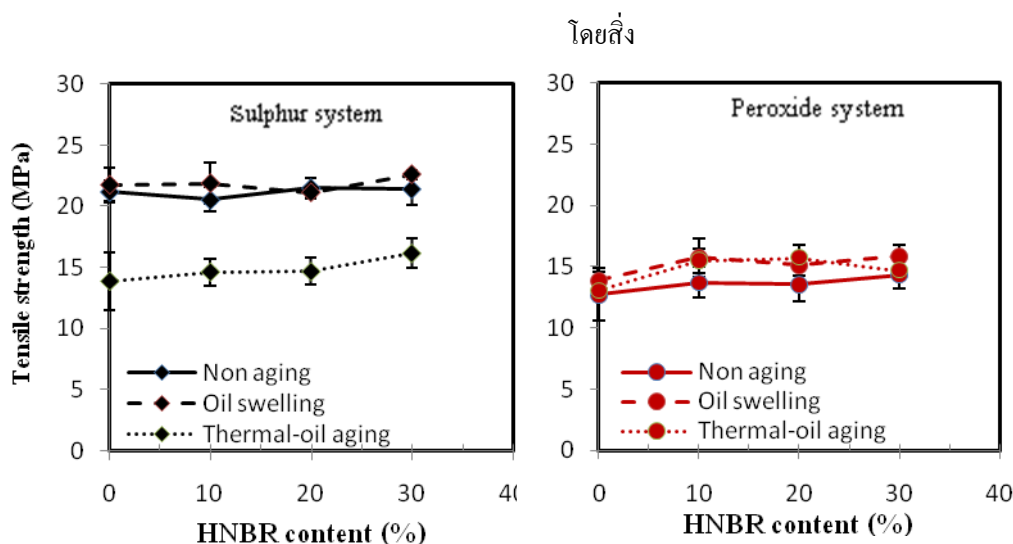
- สมบัติการทนต่อน้ำมันของยางผสมที่สภาวะต่างๆ โดยทดสอบความต้านทานการบวมในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิห้อง (Oil Swelling) เป็นเวลา 70 ชั่วโมง และการบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮดรอลิก (Thermal-oil aging) ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมงตามมาตรฐาน ASTM D471-06

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของสัดส่วนยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมระหว่างยางเอชเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลักและเติมลดยหรือซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ผลการทดสอบสมบัติค่ามอดูลัสความต้านแรงดึงสูงสุด ระยะยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรง ได้แสดงดัง ภาพที่ 1-6 พบว่าปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมทั้งระบบการคงรูปด้วยซิลเฟอร์และเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก สัดส่วนของยางเอชเอ็นบีอาร์ในวัสดุยางผสมมีปริมาณน้อย อีกทั้งยังใช้ผงเขม่าดำในปริมาณมากจึงทำให้ผลของสารเติมแต่งมีผลมากกว่าและกรณีทดสอบ



ภาพที่ 1 Influence of HNBR content on tensile modulus at 20% elongation for carbon black/NBR vulcanizates

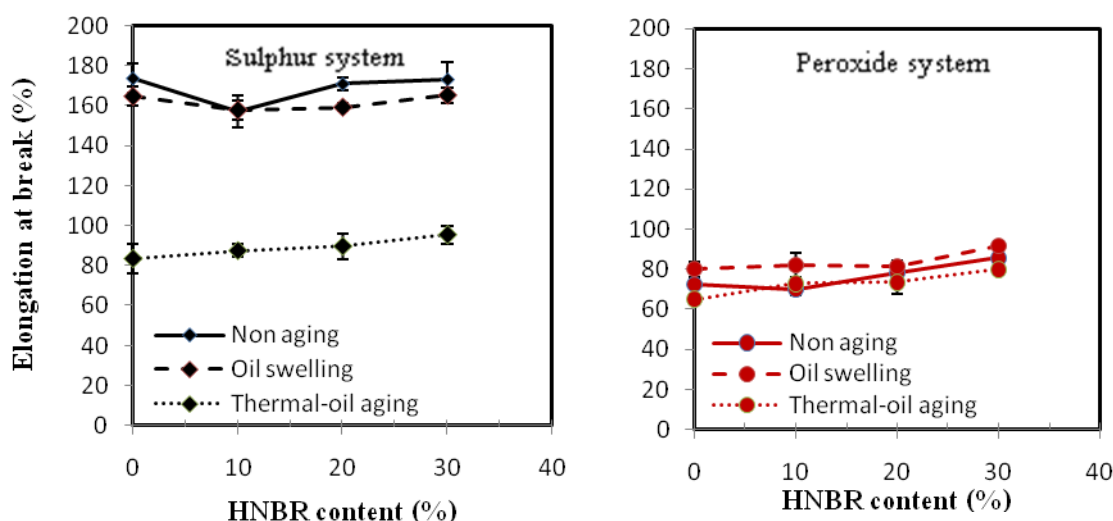


ภาพที่ 2 Influence of HNBR content on tensile strength for carbon black/NBR vulcanizates

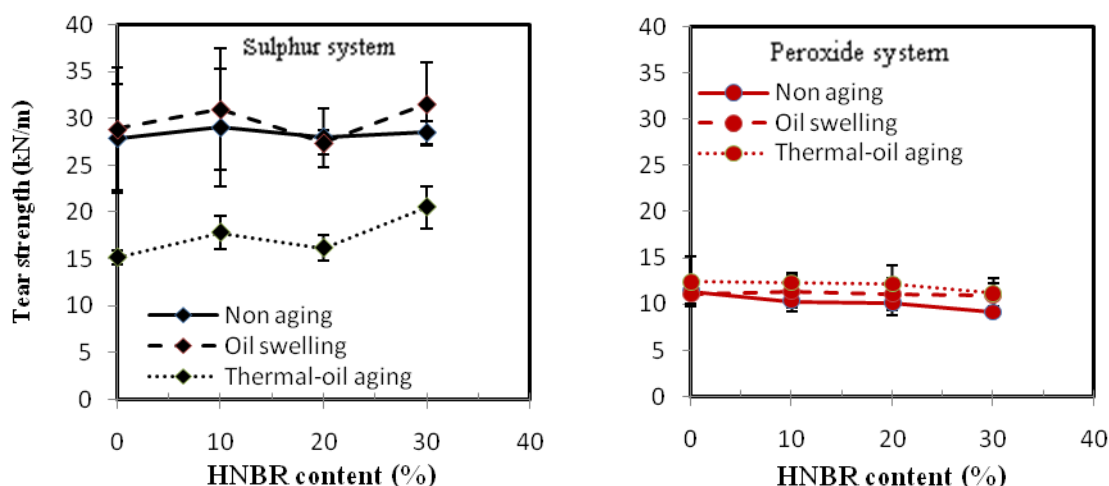
การทนน้ำมันไฮโดรลิคที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสมบัติเชิงกลมีผลใกล้เคียงกับก่อนแช่น้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์เป็นยางที่มีขั้วสูงจึงสามารถทนต่อการแทรกตัวของน้ำมันได้ดี สำหรับกรณีบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิคที่อุณหภูมิ 125°C เวลา 70 hr เมื่อพิจารณากระบวนการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ พบว่าค่ามอดุลัสและความแข็งที่ผิวของยางผสมเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงสูงสุด ระยะยืด ณ จุดขาด และความต้านทานการฉีกขาดลดลง ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากผลของการเกิดการสุกตัวต่อเนื่อง (Post curing) ของยางที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันแล้ว

ที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลให้ยางผสมเกิดการเชื่อมโยงพันธะเชื่อมขวางมากขึ้นจากปริมาณของกำมะถันในยางที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง อีกทั้งความร้อนยังทำให้สายโซ่เชื่อมโยง และ/หรือพันธะซัลเฟอร์ระหว่างโมเลกุลเปลี่ยนจากสายโซ่ยาว (Polysulfidic) เป็นสายโซ่ที่มีขนาดสั้นลง (Mono- หรือ Di-sulfidic) ทำให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามเพิ่มสูงขึ้น (Sirisinha and Sittichokchuchi, 2001) และเมื่อพิจารณากระบวนการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่าค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของปริมาณพันธะข้ามมากขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันหลัง

ได้ความร้อน (Post curing) (ญาติินี, 2549)



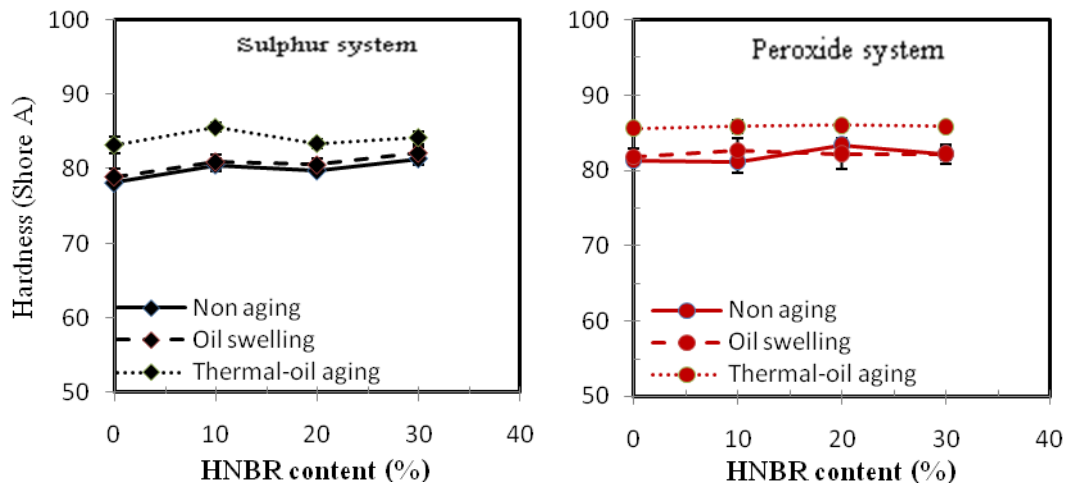
ภาพที่ 3 Influence of HNBR content on elongation at break for carbon black/NBR vulcanizate



ภาพที่ 4 Influence of HNBR content on tear strength for carbon black/NBR vulcanizates

จากการศึกษาผลของสารแอนติออกซิเดนต์ ชนิด 6PPD ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลักและถั่วลันเตาหรือ ซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ระบบการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมใกล้เคียงกับก่อนเติม แต่ในระบบการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่าสมบัติเชิงกล

โดยรวมของวัสดุผสมลดลง เนื่องจาก สารแอนติออกซิเดนต์ 6PPD จับกับแรดิคัล (Radical) ในระบบทำให้ปริมาณแรดิคัลลดลงส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ลดลง ส่วนกรณีการทนน้ำมันไฮโดรลิคที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สมบัติเชิงกลมีผลใกล้เคียงกับก่อนทดสอบ และสำหรับกรณีบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมัน ไฮโดรลิคเมื่อพิจารณาการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ พบว่า สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสม



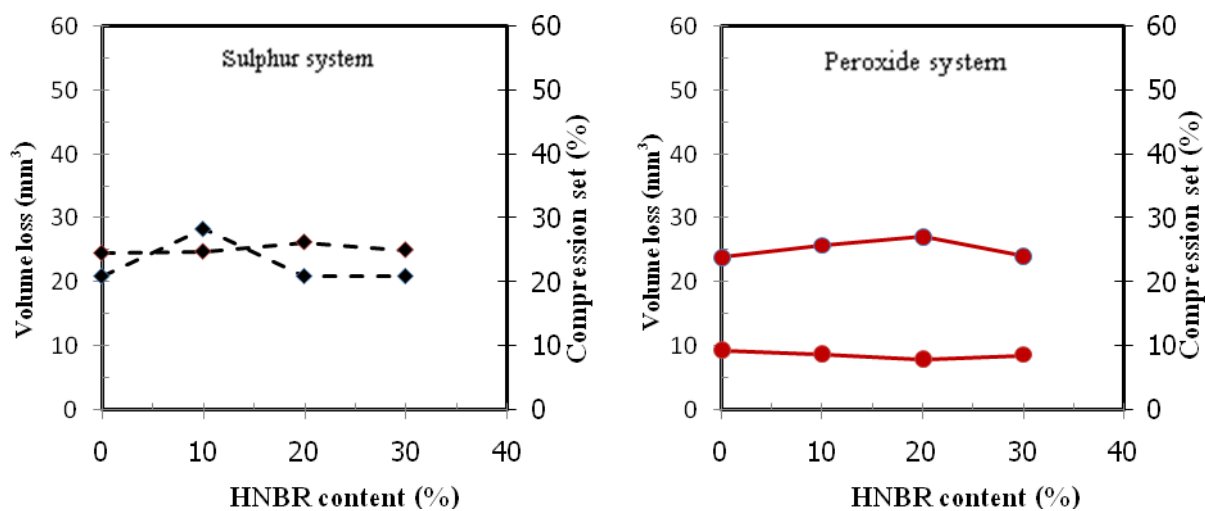
ภาพที่ 5 Influence of HNBR content on hardness for carbon black/NBR vulcanizates.

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมสารแอนติออกซิแดนต์ 6PPD แต่ในระบบการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่า สมบัติโดยรวมของวัสดุผสมลดลง

จากการทดลองพบว่า การใช้สารคงรูประบบซัลเฟอร์กับวัสดุยางผสมทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้สารคงรูปเปอร์ออกไซด์ จึงเลือกการคงรูประบบซัลเฟอร์เพื่อใช้ศึกษาผลของชนิดและปริมาณซิลิกาที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสม ภาพที่ 7 แสดงผลของชนิดสารตัวเติมต่อค่ามอดูลัสแรงดึงที่ระยะยืด 20% พบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกา ส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

ซิลิกามีความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิคที่อุณหภูมิสูง พบว่า ค่ามอดูลัสแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการสุกตัวต่อเนื่องหลังอบสุก (Post curing) ของยางที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันแล้ว

ผลของชนิดสารตัวเติมต่อความต้านแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมแสดงดัง ภาพที่ 8 พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาเกรดการคั่วไม่ทำให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากการเสริมแรงในวัสดุยางผสมเกิดจากผงเขม่าดำเป็นหลักทำให้ผลจากการเสริมแรงจากซิลิกาถูกบดบังไป นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณซิลิกาในแก้วลอยส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดลดลงเนื่องจาก แก้วลอยมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และที่ปริมาณ

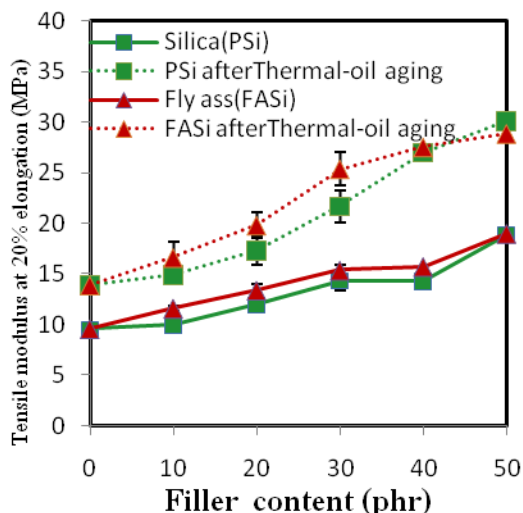


ภาพที่ 6 Influence of HNBR content on volume loss and compression set for carbon black/NBR vulcanizates.

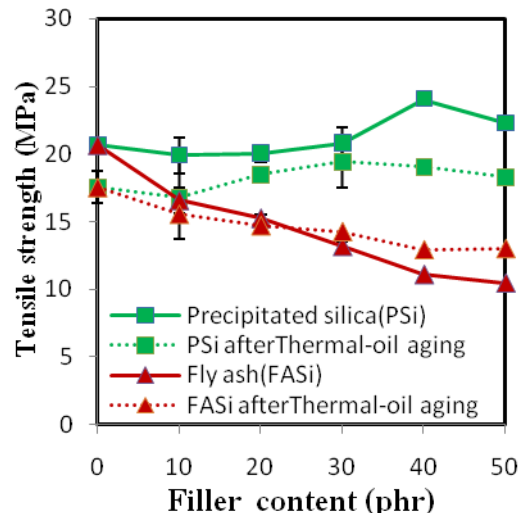
ตารางที่ 2 Mechanical properties of carbon black/HNBR/NBR added 6PPD at 3 phr

Properties	No Antioxidant; 6PPD						Antioxidant ; 6PPD at 3 phr					
	Sulphur system			Peroxide system			Sulphur system			Peroxide system		
	Non aging	Oil swelling	Thermal-oil aging	Non aging	Oil swelling	Thermal-oil aging	Non aging	Oil swelling	Thermal-oil aging	Non aging	Oil swelling	Thermal-oil aging
Tensile modulus (MPa)	10.3	11.2	14.7	15.4	16.0	19.0	9.0	9.8	13.9	5.7	5.7	7.8
Tensile strength (MPa)	20.5	21.9	14.6	13.7	15.6	15.5	20.7	20.2	17.5	19.7	19.2	18.2
Elongation at break (%)	157	158	87	70	82	73	193	177	107	246	243	182
Tear strength (kN/m)	29.0	31.0	17.8	10.3	11.4	12.3	44.5	44.9	31.0	44.2	36.9	31.6
Hardness Shore A	80.6	81.0	85.6	81.2	82.6	85.8	79.8	81.2	84.8	72.8	75.0	80.4
Compression set (%)	24.8	N/A	N/A	8.8	N/A	N/A	23.2	N/A	N/A	13.9	N/A	N/A

N/A ไม่ได้ทำการทดสอบ



ภาพที่ 7 Influence of filler content on modulus for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates



ภาพที่ 8 Influence of filler content on tensile strength for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates

ซิลิกาเท่ากันต้องใช้เถ้าลอยปริมาณมากกว่า (เถ้าลอยมีปริมาณซิลิกาเพียง 30%) ทำให้เนื้อยางน้อยลง (Sombatsompop et al., 2008) อีกทั้งที่พื้นผิวเถ้าลอยยังมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) น้อยกว่าซิลิกาเกรดการค้าจึงทำให้การยึดเกาะระหว่างเถ้าลอยและเนื้อวัสดุยางลดลง และภายหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิค พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลง เนื่องจากการเกิดการสูกตัวต่อเนื่อง ทำให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามเพิ่มขึ้น (Crosslink density) ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดลดลง (Sombatsompop et al., 2008) ซึ่งจากการที่เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และที่ปริมาณ ซิลิกาอยู่น้อย อีกทั้งที่พื้นผิวเถ้าลอยยังมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) น้อยกว่าซิลิกาเกรดการค้าจึงทำให้การยึดเกาะระหว่างเถ้าลอยและเนื้อวัสดุยางลดลง ส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าระยะยืดสูงสุดได้เช่นกัน

ภาพที่ 9 แสดงผลของชนิดสารตัวเติมต่อระยะยืดสูงสุดของวัสดุยางผสมที่มีการเติมซิลิกา ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะยืด ณ จุดขาดของวัสดุยางผสมลดลง เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยง (Rubber-Filler interaction) ที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ระหว่างซิลิกาเกรดการค้ากับเนื้อวัสดุยางที่ดีรวมทั้งเนื้อยางมีปริมาณลดลงส่งผลให้การยืดตัวของ

วัสดุยางผสมลดลงและเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เถ้าลอยแล้ว พบว่ามีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันแต่การใช้ซิลิกาเกรดการค้าทำให้การยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่า เนื่องจากซิลิกาเกรดการค้ามีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าเถ้าลอยมีการเชื่อมโยงกับวัสดุยางผสมได้มากกว่า

ภาพที่ 10 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของวัสดุยางผสม พบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกาเกรดการค้าไม่ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณซิลิกาในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง

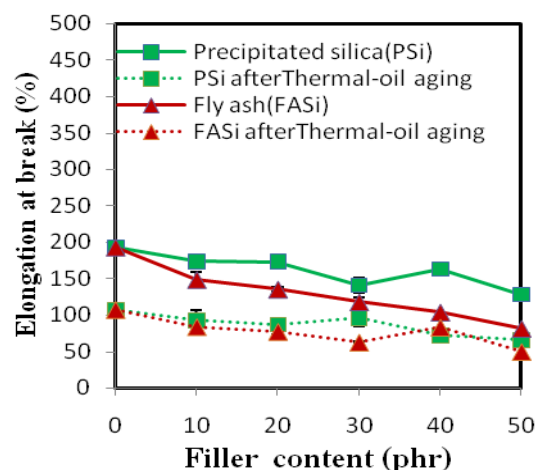
ภาพที่ 11 แสดงค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสม พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งให้แนวโน้มในลักษณะเดียวกับการใช้เถ้าลอย ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาเกรดการค้าและเถ้าลอยมีความแข็งแรง (Rigidity) สูงกว่าเนื้อยาง ส่งผลให้วัสดุยางผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยพบว่า การใช้ซิลิกาเกรดการค้าให้ความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสมใกล้เคียงกับการใช้เถ้าลอย ส่วนผลของการยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดที่ใช้สารตัวเติมต่างชนิดกันแสดงดัง ภาพที่ 12 พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มสูงขึ้นหรือวัสดุมีการคืนตัว

กลับที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุยางผสมมีเนื้อยางลดลง (นภลัย, 2552) และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ่านล่อย พบว่า การใช้ซิลิกาเกรดการค้าส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวมากกว่าการใช้ผงถ่านล่อยที่ปริมาณ 40 - 50phr

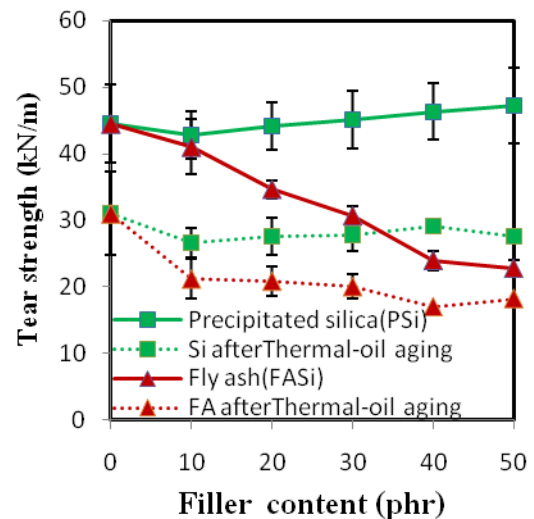
สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสม carbon black/ NBR/HNBR พบว่า

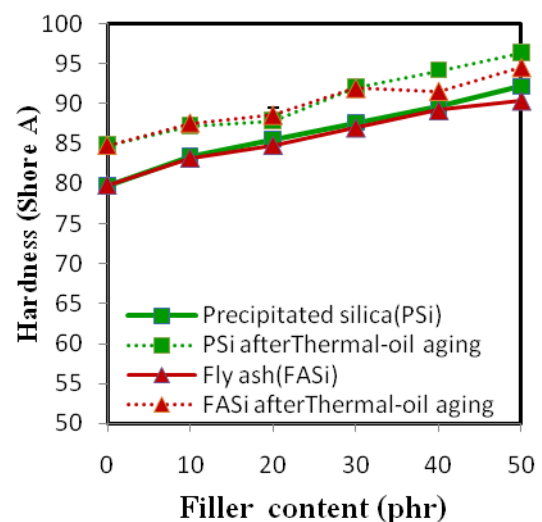
1. ปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลัก
2. การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมที่ใช้การคงรูประบบซิลเฟอร์แต่จะสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลภายหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมัน ไฮดรอลิก
3. การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมที่ใช้การคงรูประบบเปอร์ออกไซด์ลดลง
4. การเติมซิลิกาเกรดการค้าในวัสดุยางผสมทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้ซิลิกาในถ่านล่อย ยกเว้นสมบัติทางด้านการคืนตัวเมื่อได้รับแรงอัด



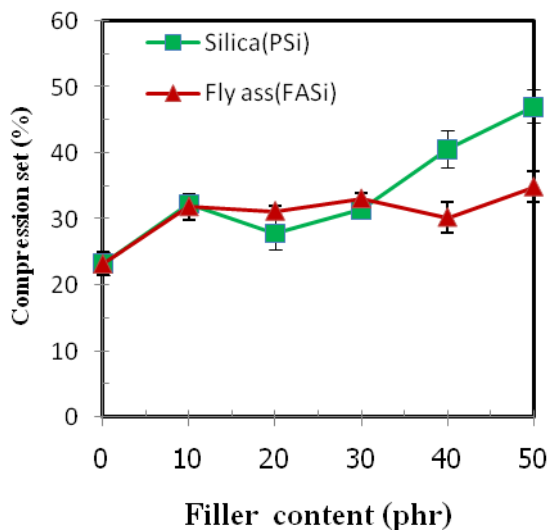
ภาพที่ 9 Influence of filler content on elongation for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates



ภาพที่ 10 Influence of filler content on tear strength for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates



ภาพที่ 11 Influence of filler content on hardness for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates



ภาพที่ 12 Influence of filler content on compression set for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยมหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยสัญญาเลขที่ MRG-WI515S054 ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณประจำปี 2551 และบริษัท เพาเวอร์ ซิล จำกัด

เอกสารอ้างอิง

ญาณิ ศรีสุวรรณ. 2549. วัดคาไนเซชันและสมบัติของยางไนไตรล์ไฮโดรจิเนตและยางไนไตรล์เบลนด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัชวาลย์ กันทะลา และคณะ. 2550. วารสารวิจัยและพัฒนาอิทธิพลของเถ้าลอยและสารช่วยประสานต่อสมบัติการไหลและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางธรรมชาติและยางเอ็นบีอาร์. 4: 681-691

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ. 2551. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาสูตรยางทนน้ำมันกันรั่วสำหรับงานไฮดรอลิก, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นภลัย คงวาสน์ . 2552. การพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางคลอโรพรีนโดยมีเถ้าลอยเป็นสารตัวเติม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2548. สารเคมียาง. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).

Sirisinha, C. and Sittchokchuchi, W., 2001. Molecular weight effect on antimicrobial activity of chitosan treated cotton fabrics. J. Appl. Polym. Sci, 80: 2495-2501.

Sombatsompop, N., Wimolmala, E., and Sirisinha, C., 2008. Fly Ash particles and precipitated silica as fillers in rubbers.III. cure characteristics and mechanical and oil-resistance properties of acrylonitrile-butadiene rubber. J. Appl. Polym. Sci. 110: 2877-2883.