

สมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของยางผสมเขม่าดำ/ยางเอชเอ็นบีอาร์/ยางเอ็นบีอาร์
ที่เติมด้วยผงซิลิกาเกรดการค้าและผงเถ้าลอย

MECHANICAL AND OIL-RESISTANT PROPERTIES OF CARBON BLACK/HNBR/NBR
VULCANIZATES FILLED WITH COMMERCIAL SILICA AND FLY ASH PARTICLES

ชูลีพันธ์ พันธุ์เยี่ยม (Chulepan 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

* มหาวิทยาลัย หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** ศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหรือยานยนต์ เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ ชุดเกียร์ส่งกำลัง ที่มี น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารหล่อลื่น หรือรถแทรกเตอร์ของ ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวส่งถ่ายกำลัง ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ยางซีล/ยางทนน้ำมันจึงมีบทบาทความสำคัญในการใช้งานใน ชิ้นส่วนอุปกรณ์ยานยนต์ หรือเครื่องจักรกล โดยที่ วัตถุประสงค์ส่วนใหญ่เลือกใช้อย่างสังเคราะห์ หรือจากยาง ผสมหลายชนิด ขึ้นอยู่กับการเลือกไปใช้ในงานเป็น ปัจจัยหลัก อย่างไรก็ตาม การผสมยางเป็นวิธีการหนึ่ง ที่ นิยมใช้ เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติเด่นเฉพาะของยาง แต่ละชนิด หรือต้องการลดต้นทุนการผลิต โดย ผลิตภัณฑ์ยางซีล หรือยางทนน้ำมันต้องมีสมบัติด้าน ความแข็งแรง สามารถรับแรงและมีความสามารถ ด้านทานต่อการขัดสีได้ดี และต้องทนต่อโอโซนและ อุณหภูมิในการใช้งานได้สูง และที่สำคัญยางซีลต้อง ด้านทานการบวมตัวต่อน้ำมันได้ดีอีกด้วย ส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ยางซีลทนน้ำมันที่ใช้กันมากมีสองชนิดคือ ยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์ โดยยางเอ็นบีอาร์ และยางเอชเอ็นบีอาร์สามารถทนน้ำมันปิโตรเลียม, น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ (พงษ์ธร, 2548) แต่ยางเอ็นบีอาร์มี ขอบเขตการใช้งานช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่ต่ำและ สมบัติที่ดีกว่ายางเอชเอ็นบีอาร์ในด้านความทนทาน ต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน การทนต่อ โอโซน ความต้านทานต่อการขัดสี การคืนตัวเมื่อได้รับ แรงอัด จากข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงของยาง เอ็นบีอาร์ และสมบัติที่ดีต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงของ ยางเอชเอ็นบีอาร์ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจปรับปรุงสมบัติ ยางเอ็นบีอาร์ ให้มีสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมัน เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับยางเอชเอ็นบีอาร์ในช่วง อุณหภูมิการใช้งานที่สูง โดยการผสมยางเอชเอ็นบีอาร์ ลงในยางเอ็นบีอาร์ที่เป็นส่วนผสมหลัก และมีการ เสริมแรงด้วยผงเขม่าดำ ซึ่งจากโครงสร้างยางทั้งสอง ชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ เนื่องจากยางทั้งสอง สามารถเลือกความหนืดของยางทั้งสองให้ใกล้เคียงกัน

เพื่ออำนวยความสะดวกและการกระจายตัวของสารเติมแต่ง ในยาง ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของยางผสม เพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยการผลิต และขึ้นรูปพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี ได้มีการศึกษาการนำผงถ่านลอยมาใช้ในยาง ผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางเอ็นบีอาร์ (ชัชวาลย์ และคณะ, 2550) ซึ่งในผงถ่านลอยมีปริมาณซิลิกาถึง 40% ที่สามารถนำไปใช้ เป็น สารเติมแต่ง ใน กระบวนการผลิตยางได้ จากการเติมผงถ่านลอยในยาง ดังกล่าวพบว่า สามารถใช้ทดแทนซิลิกาเกรดการค้าได้ ในปริมาณถึง 20-30 phr โดยให้สมบัติเชิงกลด้านความ ด้านแรงดึง ความต้านทานแรงฉีกขาด และความแข็ง เพิ่มขึ้น และพบว่าการปรับปรุงผิวผงถ่านลอยทำให้ สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้นอีก และได้มีการศึกษาพอลิ เมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์โดยมี ถ่านลอยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารควบคู่ไซเลน bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfane (Si69) ปริมาณ 4 % โดยน้ำหนัก เป็นสารเติมแต่ง พบว่า สามารถเติมถ่าน ลอยได้ถึง 15 phr และสามารถเติมยางธรรมชาติในยาง เอ็นบีอาร์ได้ถึง 20 ส่วน นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการ พัฒนาสูตรยางทนน้ำมันกันรั่วสำหรับงานไฮดรอลิก โดยได้ออกสูตรยางเอชเอ็นบีอาร์ (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2551) พบว่าระบบวัลคาไนซ์โดยใช้สารคงรูปเปอร์ ออกไซด์ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของยางที่เหมาะสม และเมื่อเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำที่ 80 phr พบว่าสมบัติ เชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่วนการปรับปรุงสมบัติของยาง เอ็นบีอาร์โดยการผสมด้วยยางเอชเอ็นบีอาร์ จากข้อมูล งานวิจัยดังกล่าวยังมีไม่แพร่หลาย และไม่ค้นพบการนำ ถ่านลอยมาเป็นสารเติมแต่งในยางผสมระหว่างเอ็นบีอาร์ กับเอชเอ็นบีอาร์

สำหรับงานวิจัยนี้ สนใจเรื่องการปรับปรุงสมบัติยาง เอ็นบีอาร์ โดยการผสมด้วยยางเอชเอ็นบีอาร์ในปริมาณ สูงสุด 30 phr และใช้ผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลัก และปรับเปลี่ยนปริมาณผงถ่านลอย ผงซิลิกาเกรดการค้า เป็นสารเติมแต่งรอง และทำการทดสอบสมบัติเชิงกล

ความต้านแรงดึง การต้านแรงลิกซาด การต้านทานการ
ขัดถู ความแข็ง การยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัดและใช้ผงเถ้า
ลอยเป็นสารเติมแต่งรอง เพื่อปรับปรุงสมบัติการคืน
กลับตัวและเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตด้วย

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 แอดวานซ์ 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 แอดวานซ์ โพลิมิกซ์ จำกัด
- ผงเขม่าดำ (Carbon black) (เกรด N660) จากบริษัท ไทยคาร์บอนแบล็ค จำกัด ซิลิกาเกรดการค้า (Commercial silica) เกรด TOKUSIL 233 จากบริษัท Tokuyama Siam Silica จำกัด เถ้าลอย (Fly ash) กัดขนาดอนุภาคไม่เกิน 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) ใช้ในการปรับปรุงผิวซิลิกาเกรดการค้าและเถ้าลอย 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 และใช้ระบบการเชื่อมโยงสายโซ่ด้วยสารคงรูปเปอร์ออกไซด์หรือสารคงรูปซัลเฟอร์ สำหรับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทำการผสมในวัสดุยางผสมที่ปริมาณ ตั้งแต่ 0 10 20 30 40 และ 50 ส่วนในยางร้อยละซึ่งผงเถ้าลอย (คิดเทียบจากปริมาณซิลิกาที่อยู่ในเถ้าลอย 30%) เตรียมโดยผ่านกระบวนการคัดขนาดอนุภาคไม่เกิน 125 ไมครอนและปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบประเภทไซเลน โดยผสมในเถ้าลอยปริมาณ 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 (t_{c90})

- 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 : Mercaptobenzothiazole

³ TMPTMA : Trimethylolpropane Trimethacrylate

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

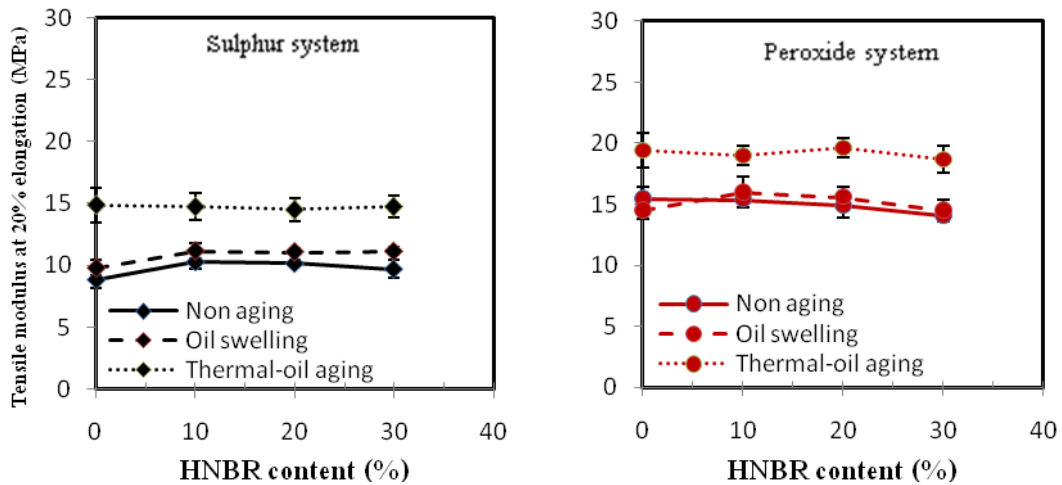
- การทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นยางคกรูปไข่ใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240-05 Shore A

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

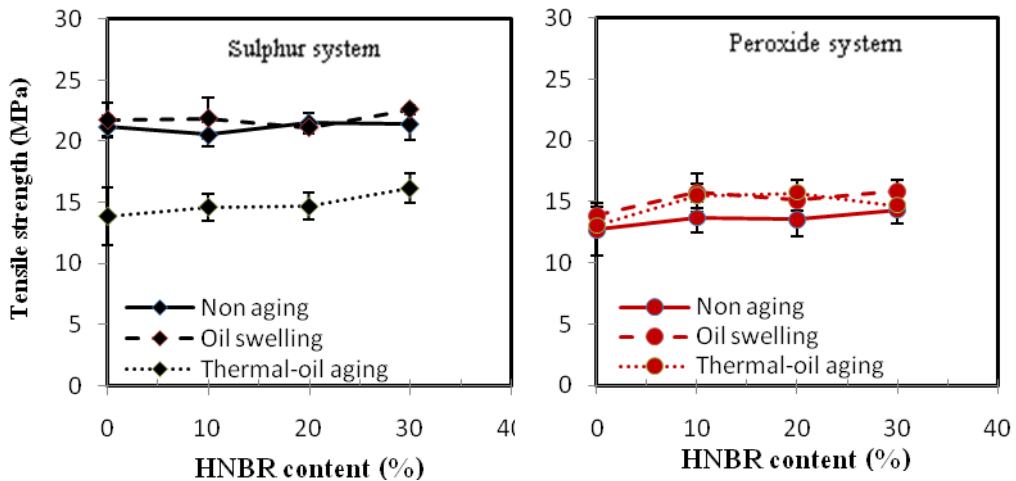
ชั่วโมงตามมาตรฐาน ASTM D471-06

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของสัดส่วนยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าคาร์บอนเป็นสารเติมแต่งหลักและถั่วลันเตาหรือซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ผลการทดสอบสมบัติค่ามอดูลัส ความต้านแรงดึงสูงสุด ระยะยืด ณ จุดขาด และความแข็ง ได้แสดงดัง ภาพที่ 1-6 พบว่าปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล โดยรวมของวัสดุยางผสมทั้งระบบการคกรูปด้วยซัลเฟอร์และเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก สัดส่วนของยางเอชเอ็นบีอาร์ในวัสดุยางผสมมีปริมาณน้อย อีกทั้งยังใช้ผงเขม่าคาร์บอนปริมาณมากจึงทำให้ผลของสารเติมแต่งมีผลมากกว่าและกรณีทดสอบ



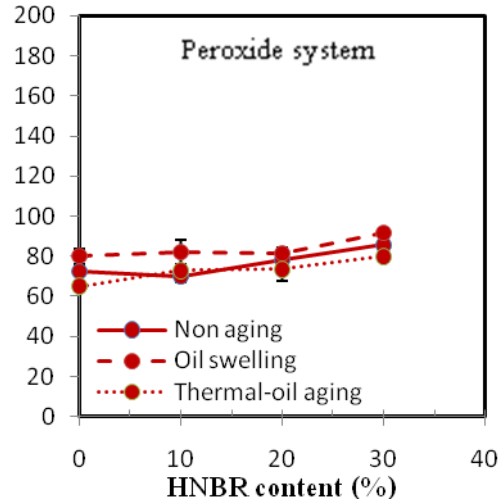
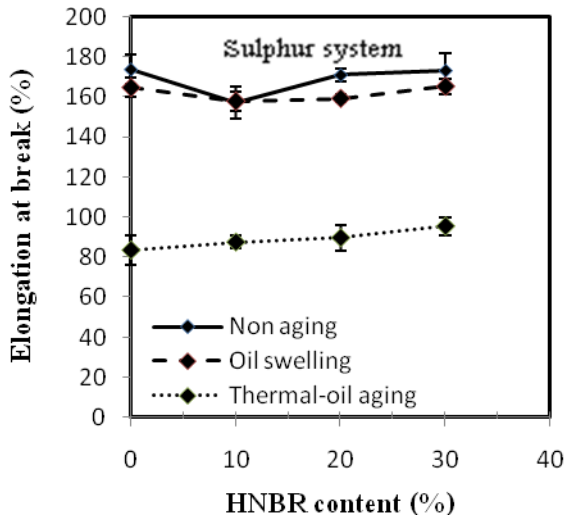
ภาพที่ 1 Influence of HNBR content on tensile modulus at 20% elongation for carbon black/NBR vulcanizates



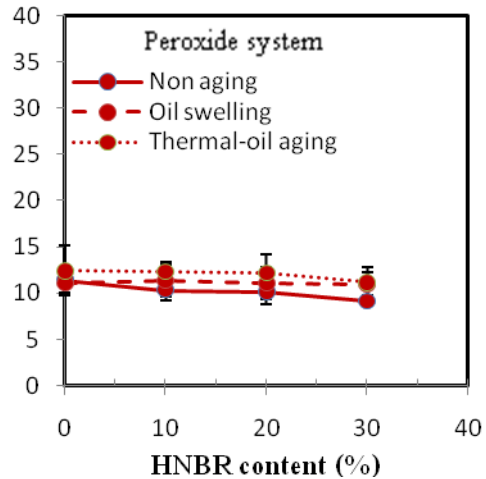
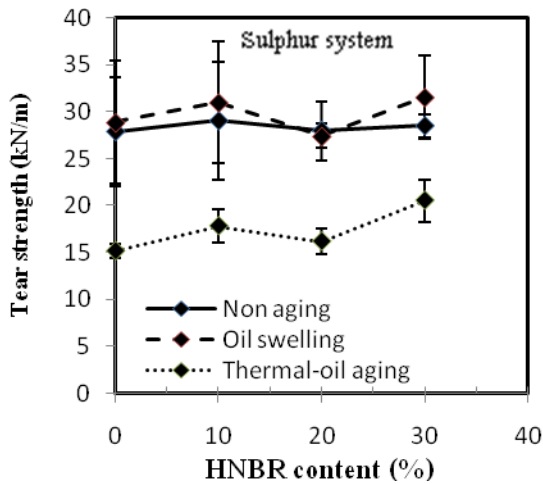
ภาพที่ 2 Influence of HNBR content on tensile strength for carbon black/NBR vulcanizates

การทนน้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง พบว่าสมบัติเชิงกลมีผลใกล้เคียงกับก่อนแช่น้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากยางเอ็นบีอาร์และยางเอชเอ็นบีอาร์เป็นยางที่มีขี้ผึ้งจึงสามารถทนต่อการแทรกตัวของน้ำมันได้ดี สำหรับกรณีบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 125°C เวลา 70 hr เมื่อพิจารณากระบวนการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ พบว่าค่ามอดูลัสและความแข็งที่ผิวของยางผสมเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงสูงสุด ระยะยืด ณ จุดขาด และความต้านทานการฉีกขาดลดลง ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากผลของการเกิดการสุกตัวต่อเนื่อง (Post curing) ของยางที่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซชันแล้วโดยสิ่ง

ที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลให้ยางผสมเกิดการเชื่อมโยงพันธะเชื่อมขวางมากขึ้นจากปริมาณของกำมะถันในยางที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง อีกทั้งความร้อนยังทำให้สายโซ่เชื่อมโยง และ/หรือพันธะซัลเฟอร์ระหว่างโมเลกุลเปลี่ยนจากสายโซ่ยาว (Polysulfidic) เป็นสายโซ่ที่มีขนาดสั้นลง (Mono- หรือ Di-sulfidic) ทำให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามเพิ่มสูงขึ้น (Sirisinha and Sittchokchuchi, 2001) และเมื่อพิจารณากระบวนการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่าค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของปริมาณพันธะข้ามมากขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซชันหลังได้



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



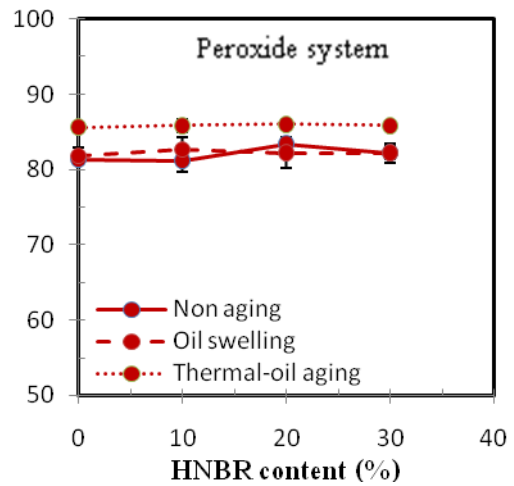
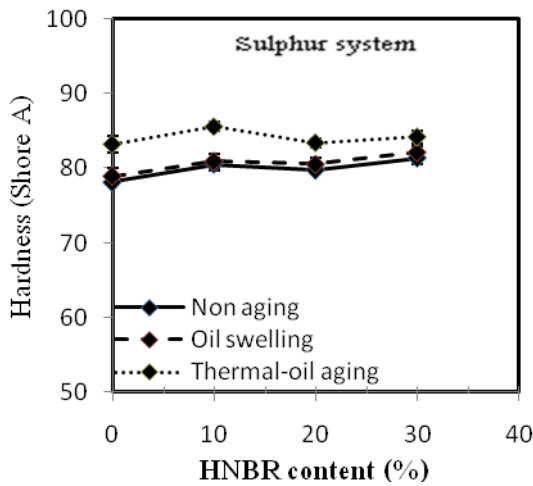
ภาพที่ 4 Influence of HNBR content on tear strength for carbon black/NBR vulcanizates

ความร้อน (Post curing) (ญาณินี, 2549)

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสม จึงเลือกสัดส่วนยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ เท่ากับ 90:10 เนื่องจากมีปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์น้อยที่สุดทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำที่สุด เพื่อใช้ในงานวิจัยต่อไป

จากการศึกษาผลของสารแอนติออกซิเดนต์ ชนิด 6PPD ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมระหว่างยางเอ็นบีอาร์กับยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลักและเถ้าลอยหรือ ซิลิกาเป็นสารเติมแต่งรอง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

พบว่า ระบบการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมใกล้เคียงกับก่อนเติม แต่ในระบบการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่าสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมลดลง เนื่องจาก สารแอนติออกซิเดนต์ 6PPD จับกับเรดิคัล (Radical) ในระบบทำให้ปริมาณเรดิคัลลดลงส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ลดลง ส่วนกรณีการทนน้ำมัน ไฮโดรลิกที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สมบัติเชิงกลมีผลใกล้เคียงกับก่อนทดสอบ และสำหรับกรณีบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิกเมื่อพิจารณาการคงรูปด้วยซัลเฟอร์ พบว่า สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมสารแอนติออกซิเดนต์ 6PPD แต่ใน



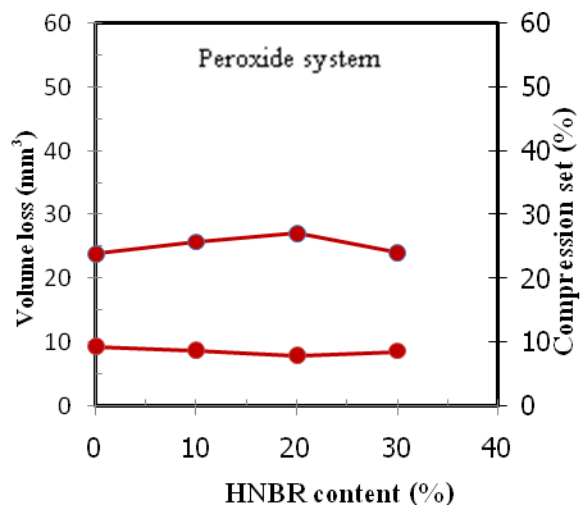
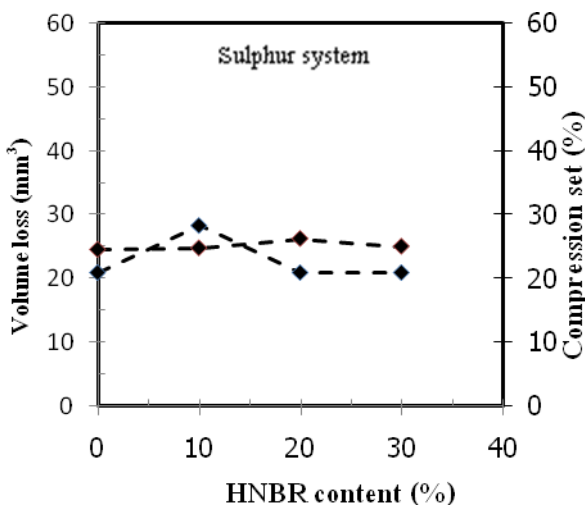
ภาพที่ 5 Influence of HNBR content on hardness for carbon black/NBR vulcanizates.

ระบบการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ พบว่า สมบัติโดยรวมของวัสดุผสมลดลง

จากการทดลองพบว่า การใช้สารคงรูประบบซัลเฟอร์กับวัสดุยางผสมทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้สารคงรูปเปอร์ออกไซด์ จึงเลือกการคงรูประบบซัลเฟอร์เพื่อใช้ศึกษาผลของชนิดและปริมาณซิลิกาที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสม ภาพที่ 7 แสดงผลของชนิดสารตัวเติมต่อค่ามอดูลัสแรงดึงที่ระยะยืด 20% พบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกาส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกามีความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิกที่อุณหภูมิสูงพบว่า ค่ามอ

ดูลัสแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการสุกตัวต่อเนื้อหลังอบสุก (Post curing) ของยางที่เกิดปฏิกิริยาคัลคาไนเซชันแล้ว

ผลของชนิดสารตัวเติมต่อความต้านแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมแสดงดัง ภาพที่ 8 พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาเกรดการค้าไม่ทำให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากการเสริมแรงในวัสดุยางผสมเกิดจากผงเขม่าดำเป็นหลักทำให้ผลจากการเสริมแรงจากซิลิกาถูกขบับไป นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณซิลิกาในถ้ำลอยส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดลดลงเนื่องจาก ถ้ำลอยมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และที่ปริมาณ

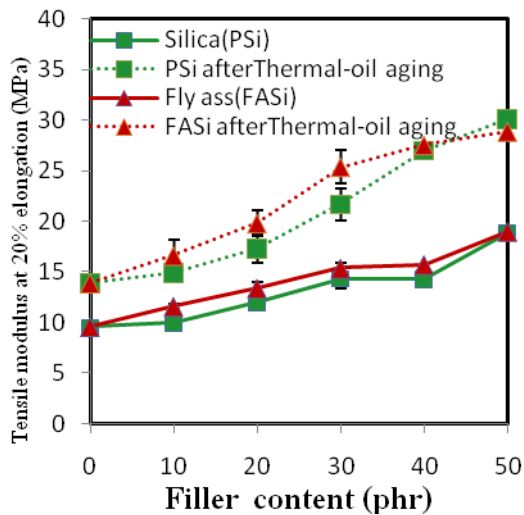


ภาพที่ 6 Influence of HNBR content on volume loss and compression set for carbon black/NBR vulcanizates.

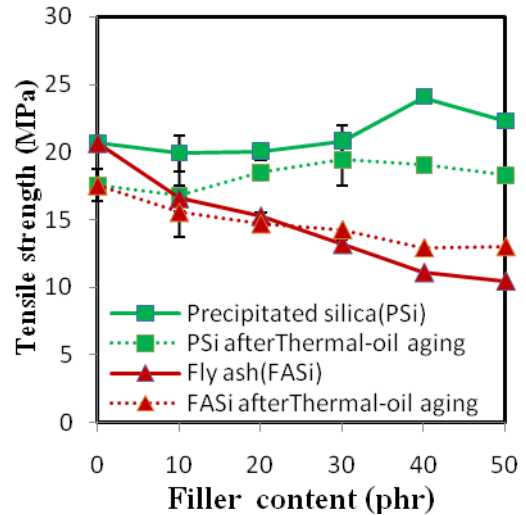
ตารางที่ 2 Mechanical properties of carbon black/HNBR/NBR added 6PPD at 3 phr

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

ซิลิกาเท่ากันต้องใช้ตัวลดยปริมาณมากกว่า (ตัวลดยมีปริมาณซิลิกาเพียง 30%) ทำให้เนื้อยางน้อยลง (Sombatsompop et al., 2008) อีกทั้งที่พื้นผิวตัวลดยยังมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) น้อยกว่าซิลิกาเกรดการค้าจึงทำให้การยึดเกาะระหว่างตัวลดยและเนื้อวัสดุยางลดลง และภายหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนในน้ำมันไฮโดรลิก พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลง เนื่องจากการเกิดการสูกตัวต่อเนื่อง ทำให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามเพิ่มขึ้น (Crosslink density) ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดลดลง (Sombatsompop et al., 2008) ซึ่งจากการที่ตัวลดยมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และที่ปริมาณซิลิกาอยู่น้อย อีกทั้งที่พื้นผิวตัวลดยยังมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) น้อยกว่าซิลิกาเกรดการค้าจึงทำให้การยึดเกาะระหว่างตัวลดยและเนื้อวัสดุยางลดลง ส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าระยะยึดติดสูงสุดได้เช่นกัน

ภาพที่ 9 แสดงผลของชนิดสารตัวเติมต่อระยะยึดสูงสุดของวัสดุยางผสมที่มีการเติมซิลิกา ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะยึดติด จุดขาดของวัสดุยางผสมลดลง เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยง (Rubber-Filler interaction) ที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ระหว่างซิลิกาเกรดการค้ากับเนื้อวัสดุยางที่ดีรวมทั้งเนื้อยางมีปริมาณลดลงส่งผลให้การยึดตัวของ

วัสดุยางผสมลดลงและเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวลดยแล้ว พบว่ามีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันแต่การใช้ซิลิกาเกรดการค้าให้การยึดติด จุดขาดสูงกว่า เนื่องจากซิลิกาเกรดการค้ามีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่าตัวลดยมีการเชื่อมโยงกับวัสดุยางผสมได้มากกว่า

ภาพที่ 10 แสดงค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของวัสดุยางผสม พบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกาเกรดการค้าไม่ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณซิลิกาในตัวลดยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง

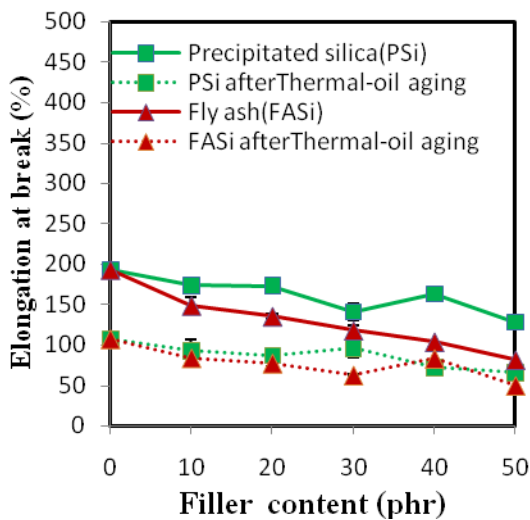
ภาพที่ 11 แสดงค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสม พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งให้แนวโน้มในลักษณะเดียวกับการใช้ตัวลดย ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาเกรดการค้าและตัวลดยมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) สูงกว่าเนื้อยาง ส่งผลให้วัสดุยางผสมมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยพบว่า การใช้ซิลิกาเกรดการค้าให้ความแข็งที่ผิวของวัสดุยางผสมใกล้เคียงกับการใช้ตัวลดย ส่วนผลของการยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดที่ใช้สารตัวเติมต่างชนิดกันแสดงดัง ภาพที่ 12 พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเกรดการค้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มสูงขึ้นหรือวัสดุมีการคืนตัว

กลับที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุยางผสมมีเนื้อยางลดลง (นภาคย์, 2552) และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ่านลอย พบว่า การใช้ซิลิกาเกรดการค้าส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยวบตัวมากกว่าการใช้ผงถ่านลอยที่ปริมาณ 40 - 50phr

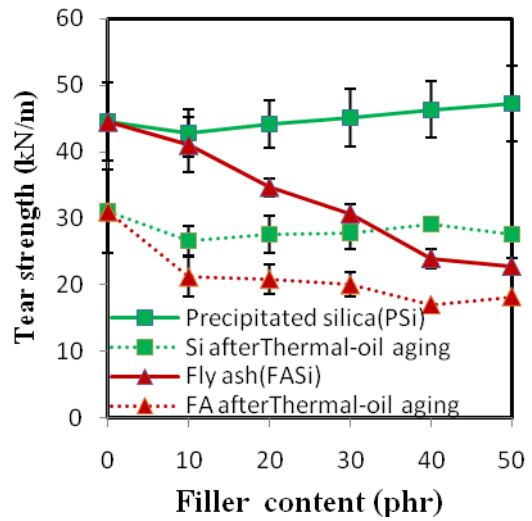
สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสม carbon black/ NBR/HNBR พบว่า

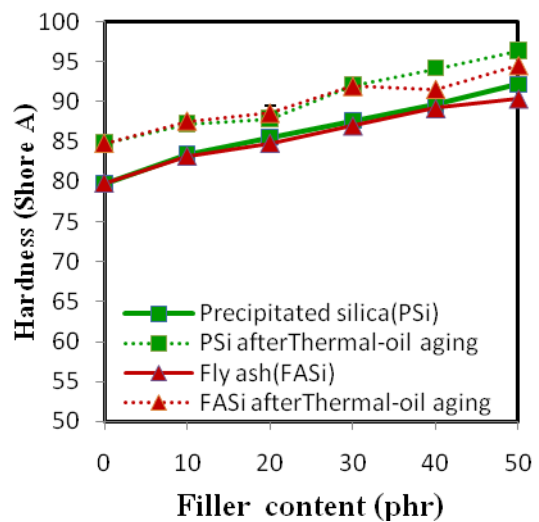
1. ปริมาณยางเอชเอ็นบีอาร์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและการทนน้ำมันของวัสดุยางผสมยางเอชเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่งหลัก
2. การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมที่ใช้การคงรูประบบซัลเฟอร์แต่จะสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลภายหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนในน้ำมันไฮดรอลิก
3. การเติมสารแอนติออกซิแดนท์ (6PPD) ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุยางผสมที่ใช้การคงรูประบบเปอร์ออกไซด์ลดลง
4. การเติมซิลิกาเกรดการค้าในวัสดุยางผสมทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าการใช้ซิลิกาในถ่านลอย ยกเว้นสมบัติทางด้านการคืนตัวเมื่อได้รับแรงอัด



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



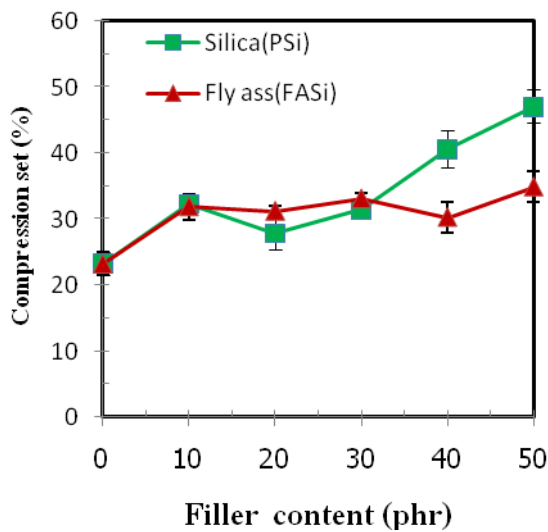
ภาพที่ 10 Influence of filler content on tear strength for carbon black/HNBR/NBR vulcanizates



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

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยสัญญาเลขที่ MRG-WI515S054 ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย งบประมาณประจำปี 2551 และบริษัท เพาเวอร์ ซิล จำกัด



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

เอกสารอ้างอิง

ณานิ ศรีสุวรรณ. 2549. วัลคาไนเซชันและสมบัติของยางไนไตรล์ไฮโดรจิเนตและยางไนไตรล์เบลนด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

นภลัย คงวาสน์. 2552. การพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางคลอโรพรีนโดยมีเถ้าลอยเป็นสารตัวเติม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะ

พลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

Sirsinha, 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 Sirsinha, 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.