

สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต และการคืนกลับตัวทางอีลาสติกของยางเอ็นบีอาร์ ที่มีสารตัวเติมซิลิกาเป็นองค์ประกอบ

Dynamic Mechanical Thermal Properties and Elastic Recovery of Silica Fillers Compound in NBR

ปิยะภรณ์ นิลทุ้ย¹ เอกชัย วิมลมาลา¹ และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹
Piyaporn Niltui¹ Ekachai Wimolmala¹ and Narongrit Sombatsompop¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ประกอบด้วยผงฟริชชีพีเตตซิลิกา ผงเถ้าลอย และผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน โดยเติมในยางเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารตัวเติมหลัก และปรับเปลี่ยนปริมาณซิลิกาที่มีในสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาตั้งแต่ 0-50 ส่วนในยางหนึ่งร้อยส่วน ทำการทดสอบค่าความหนืดมูนี การไหลตัวและการบ่มสุก สมบัติเชิงกลทางด้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด ความแข็ง การต้านทานต่อการขีดสี การต้านทานต่อน้ำมันไฮดรอลิก สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต ผลการวิจัยพบว่า การเติมสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทำให้ค่าความหนืดมูนีและความแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมซิลิกาจากเถ้าลอยทำให้เวลาในการบ่มสุกเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมผงฟริชชีพีเตตซิลิกาให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาชนิดอื่น ยกเว้นสมบัติการคืนกลับตัวของยางเอ็นบีอาร์ที่เติมผงฟริชชีพีเตตซิลิกาให้ค่าใกล้เคียงกับผงซิลิตินชนิดที่ปรับปรุงผิว สำหรับการต้านทานต่อน้ำมันไฮดรอลิกของยางเอ็นบีอาร์ไม่พบการบวมตัว และสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นบีอาร์ที่เติมผงฟริชชีพีเตตซิลิกา และผงซิลิตินชนิดที่ปรับปรุงผิว พบว่า การเติมผงฟริชชีพีเตตซิลิกามีค่ามอดุลัสสูงที่สุดสูงกว่าผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว สำหรับค่าแทนเจนต์สูญเสียและอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้วของยางเอ็นบีอาร์ที่ไม่ต่างกัน

คำสำคัญ: ยางเอ็นบีอาร์/สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต/การคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด/สารตัวเติมกลุ่มซิลิกา

ABSTRACT

This research studied the silica based fillers including precipitated silica, fly ash and silitin with and without silane treatment added into carbon black filled acrylonitrile-butadiene rubber (NBR) at various silica loadings form 0 to 50 parts per hundred rubber (phr). Mooney viscosity, scorch time, cure time and mechanical properties; compression set, hardness, abrasion resistance, hydraulic oil resistance, dynamic mechanical thermal properties were of interest. The experimental results suggested that the addition of silica based fillers in the NBR vulcanizates increased the Mooney viscosity and hardness. The addition of silica in fly ash resulted increase of cure time. It was found that the precipitated silica gave the highest overall mechanical properties of the black filled NBR vulcanizates, except for the compression set where the vulcanizates with treated silitin filler had comparable compression set with those with the precipitated silica. For hydraulic oil resistance of the NBR vulcanizates wasn't found swelling and dynamic mechanical analysis (DMA) of NBR vulcanizates with precipitated and silitin silica fillers, it was found that the vulcanizates with precipitated silica filler had higher storage modulus than those with the treated silitin. However, both NBR vulcanizates had similar glass-transition temperature and loss tangent values.

Key Words: NBR / Dynamic Mechanical Thermal Analysis / Elastic recovery / Silica fillers

¹ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Polymer Processing and Flow (P-PROF) Research Group, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

E-mail address: Lovein_bk@hotmail.com

บทนำ

โดยทั่วไปยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ สามารถปรับปรุงหรือดัดแปรสมบัติด้านต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ได้โดยใช้สารเติมแต่งต่างๆ อาทิเช่น การเติมสารเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทางกล สารกระตุ้นหรือสารเร่งปฏิกิริยาทำให้ ยางมีการสุกตัวได้เร็วขึ้น สารเติมแต่งที่ทำยางให้ทนต่อสภาวะโอโซน รังสียูวี สภาวะแวดล้อมได้ดีโดย สารเติมแต่งหรือสารตัว เติมนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้ กลุ่มแรก สารตัวเติมเสริมแรง คือ ผงเขม่าดำ และ ผงซิลิกา ที่สามารถเพิ่มสมบัติความต้านแรงดึง ความต้านการฉีกขาด และความต้านการขัดถูได้ดี กลุ่มที่สอง เป็นสารตัวเติมที่ ใช้ในการเพิ่มเนื้อ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ซอลค์ แป้ง ดิน เป็นต้น (พรพรรณ, 2528) เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งสารตัว เติมกลุ่มเสริมแรงมีความต้องการใช้อย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ยางรับแรงกระแทก ยางซีลกัน รั่วหรือซีลและยางขึ้นส่วนในเครื่องจักรกล เช่น ซีลยางในเครื่องยนต์ ชุดเกียร์ส่งกำลัง หรือซีลเพลลาขับเคลื่อน ซึ่งวัสดุดิบส่วน ใหญ่ที่ใช้ในการผลิตซีลยางจะเลือกใช้ยางสังเคราะห์ไนไตรต์ หรือยางเอ็นบีอาร์ (Nitrile rubber: NBR) เนื่องจากมีสมบัติ ด้านทานน้ำมัน ทนต่อโอโซนและอุณหภูมิการใช้งานค่อนข้างสูง สามารถรับแรง ด้านทานต่อการขัดสีได้ดี มีราคาถูก (พงษ์ธร, 2548) และสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ซีลยางคือมีความสามารถคืนกลับตัวได้ดีเมื่อได้รับแรงกดอัด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Sombatsompop *et al.* (2008) ได้ศึกษาสารตัวเติมผงเถ้าลอย (Fly ash) ซึ่งมีซิลิกาเป็น ส่วนประกอบหลัก โดยเติมในยางธรรมชาติ ยางเอ็นบีอาร์ และยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์ พบว่า การเติม ผงเถ้าลอยที่ปริมาณ 20 ส่วนต่อปริมาณยางร้อยละ (Parts per hundred rubber; phr) ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของยาง เพิ่มขึ้น และมีสมบัติเด่นด้านการกลับคืนตัวที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารตัวเติมผงพรีซิพิเตตซิลิกา ปัจจุบันมีบริษัทเอกชนที่ จำหน่ายสารเคมีได้เสนอสารตัวเติมชนิดที่ช่วยเพิ่มสมบัติการกลับคืนตัวยางให้ดีขึ้น โดยการนำซิลิกาจากแร่ Quartz และ Kaolinite มาเป็นสารตัวเติมในยาง มีชื่อทางการค้าว่า ซิลิติน (Sillitin) ที่มีองค์ประกอบของซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักที่ ปริมาณ 70% และโลหะออกไซด์เป็นองค์ประกอบรอง (Oggermuller, 2010) ซึ่งงานผลิตภัณฑ์ยางซีลต้องการสมบัติการใช้ งานการคืนกลับตัวที่สูง ดังนั้นจึงมีความสนใจศึกษาการนำสารตัวเติมซิลิตินเติมในยางเอ็นบีอาร์ โดยเปรียบเทียบกับผงเถ้า ลอย และผงพรีซิพิเตตซิลิกา ที่เน้นความสามารถในการคืนกลับตัวและสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของยางซีล

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและสารเคมี

ส่วนประกอบของสูตรสารประกอบยางเอ็นบีอาร์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 สูตรของสารประกอบยางเอ็นบีอาร์

Ingredients	Contents (phr)	Function	Company
1. NBR (grade KYRNAC 3345F), ACN 33%	100 part	Matrix phase	Chemical Innovations (Thailand) Co., Ltd
2. Zinc oxide (ZnO)	5.0	Activator	Thai -Lysaght (Thailand) Co., Ltd
3. Stearic acid	1.5	Co-Activator	Imperial Industrial Chemicals (Thailand) Co., Ltd
4. Dibenzothiazole disulphide (MBTS)	0.7	Accelerator	Zeon Chemicals (Thailand) Co., Ltd
5. Tetramethyl Thiuramdisulfide (TMTD)	2.5	Co-Accelerator	Zeon Chemicals (Thailand) Co., Ltd
6. Sulphur	2.0	Curing Agent	Zeon Chemicals (Thailand) Co., Ltd
7. Aromatic oil	10.0	Plasticizer	Poly Seal Track (Thailand) Co., Ltd
8. Carbon black (grade N 550)	50.0	Reinforcing Agent	Thai Carbon Black Public (Thailand) Co., Ltd
9. Filler (Silica base)	Varying from 0-50	Co-Reinforcing Agent	Tokuyama Siam Silica (Thailand) Co., Ltd
-Precipitated silica			K.N.R. Group (Thailand) Co., Ltd
-Silica from Fly ash			Behn Meyer Chemicals (T) (Thailand) Co., Ltd
-Silica from Silitin grade Z86 (Untreated), Aktisil PF216 (Treated)			

การผสมและเตรียมชิ้นงานยางกับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา

ในงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงผิวผงเถ้าลอย และพรีซิพิเตตซิลิกาด้วยสารคู่ควบไซเลนชนิด Bis-(3-triethoxysilypropyl) tetrasulfide, [(C₂H₅O)₃-Si-(CH₂)₃-S₄-(CH₂)₃-Si-(C₂H₅O)₃], (Couplink 89) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เป็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด (กรุงเทพฯ ประเทศไทย) โดยเตรียมสารคู่ควบไซเลนที่ปริมาณความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ชูลิพันธ์, 2552) เพื่อให้สารตัวเติมกระจายในยางได้ดี ทำการบดผสมยางเอ็นบีอาร์กับผงเขม่าดำที่เป็นสารตัวเติมหลัก ปริมาณ 50 phr และสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ดังนี้ ผงพรีซิพิเตตซิลิกา ผงเถ้าลอย และผงซิลิตินทั้ง 2 ชนิด (ปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว)

สารเคมีอื่นๆ ตามส่วนประกอบของสารประกอบยางเอ็นบีอาร์ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณซิลิกาที่มีในสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณสัดส่วน 0 10 20 30 40 และ 50 ส่วนต่อปริมาณยางร้อยละด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) จากบริษัท Yong Fong Machinery จำกัด ใช้เวลาในการผสมที่ 30 นาที อุณหภูมิผสมในช่วง 40-45 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้น นำสารประกอบยางเอ็นบีอาร์ขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot compression moulding) จากบริษัท Lab Tech จำกัด อุณหภูมิในการขึ้นรูป 170 องศาเซลเซียส แรงดันแม่พิมพ์ที่ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเตรียมขึ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต การคืนกลับตัวทางอีลาสติกและการต้านทานต่อการขีดสี

การทดสอบความเหนียว การไหลและการบ่มสุก สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต ความแข็ง และการทนต่อน้ำมัน

ทดสอบความเหนียวนี้ของยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน (ISO 289-1) ด้วยเครื่อง Mooney viscometer จากบริษัท Alpha Technologies Service Inc รุ่น ALPHA TM24 SIE2338 ประเทศสหรัฐอเมริกา ทดสอบเวลาการไหลและบ่มสุกของยางคอมปาวด์ ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating Disk Rheometer, ODR) จากบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ประเทศไต้หวัน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทดสอบการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด ตามมาตรฐาน ASTM D395-03 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ทดสอบความแข็งของชิ้นงานยาง ตามมาตรฐาน ASTM D2240-05 (Shore A) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ทดสอบการต้านทานต่อการขีดสี ตามมาตรฐาน DIN 53516 ด้วยเครื่อง DIN abrader จากบริษัท Hampden Test Equipment จำกัด ทดสอบการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D471-06 และสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตแบบการดึง ในช่วงอุณหภูมิ -60 ถึง 100 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ความถี่ 1 ครั้งต่อวินาที แอมพลิจูด 30 ไมโครเมตร ด้วยเครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer จากบริษัท Netzsch รุ่น 242 ประเทศเยอรมนี

การพิสูจน์เอกลักษณ์สารตัวเติมกลุ่มซิลิกา

การคัดแยกขนาดอนุภาคผงเถ้าลอยด้วยตะแกรงร่อนขนาดไม่เกิน 125 ไมครอน ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีของสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) ยี่ห้อ Perkin Elmer (Spectrum one ประเทศสหรัฐอเมริกา) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีสารตัวเติมกลุ่มซิลิกา ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ยี่ห้อ HORIBA (MESA-500W ประเทศญี่ปุ่น)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผงฟริชปีเตตซิลิกา ผงเถ้าลอย ผงซิลิตินชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผงเถ้าลอย และผงซิลิตินด้วยเทคนิค XRF พบว่า ผงเถ้าลอย ผงซิลิตินทั้ง 2 ชนิด (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว) มีซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ที่ปริมาณตามลำดับดังนี้ 30.1% 72.6% และ 73.5% และมีกลุ่มโลหะออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบรอง นอกจากนี้ จากงานวิจัยของซูลีพันธ์ (2552) รายงานว่าผงฟริชปีเตตซิลิกามีปริมาณซิลิกา 98.8% เมื่อทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงเถ้าลอย และผงซิลิติน ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า ผงเถ้าลอย และผงซิลิตินมีหมู่ฟังก์ชันที่แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิลที่เลขคลื่นในช่วง 3433-3442 cm^{-1} หมู่ไฮดรอกซิลที่เลขคลื่นในช่วง 1631-1638 cm^{-1} และหมู่ไฮดรอกซิลที่เลขคลื่นในช่วง 1013-1116 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันในช่วงเลขคลื่นดังกล่าวมีความคล้ายกับฟริชปีเตตซิลิกา (Thongsang *et al.*, 2006) ที่สามารถใช้ทดแทนสารตัวเติมชนิดเสริมแรงในยางเอ็นบีอาร์ได้

การศึกษาความเหนียวนี้ของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นบีอาร์ที่มีสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าความเหนียวของยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาในสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาแต่ละชนิด นอกจากนี้พบว่า การเติมผงฟริชปีเตตซิลิกาในปริมาณ 50 phr ส่งผลทำให้ยางมีความเหนียวมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของซิลิกาที่มากที่สุด ส่วนการเติมผงเถ้าลอยในยางทำให้ยางมีความเหนียวต่ำกว่าการเติมผงฟริชปีเตตซิลิกา เนื่องจากมีปริมาณของซิลิกาที่น้อยและมีอนุภาคค่อนข้างกลม ทำให้มีการไหลตัวได้ง่าย (Thongsang *et al.*, 2008) ส่วนในกรณีการเติมผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวทำให้ยางมีความเหนียวต่ำกว่าผงซิลิตินชนิดไม่ปรับปรุงผิว ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงผิวทำให้ผงซิลิตินมีการกระจายตัวในยางได้ดี

ตารางที่ 2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผงฟริชพิเตตซิลิกา ผงเถ้าลอย ผงซิลิติน (ชนิดปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิว)

Characterization method	Type of filler			
	Precipitated silica	Flyash	Silitin (Treated)	Silitin (Untreated)
Functional group investigation: FTIR	Wavenumber (cm⁻¹)			
Silanol group OH stretching	3434	3442	3433	3440
OH stretch Vibration	1630	1638	1631	1638
Siloxane group Si-O-Si Stretching	1107	1013	1116	1113
Particle size distribution measurement (µm)	<40 (nm)	<125	<10	
Chemical composition investigation: XRF	Chemical composition (%)			
Silicon oxide(SiO ₂)	98.8	30.1	72.6	73.5
Alumina oxide (Al ₂ O ₃)	-	18.4	12.9	15.2
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	} 1.2	18.4	0.8	0.9
Potassium oxide(K ₂ O)		2.8	0.5	0.4
Calcium oxide(CaO)		21.4	0.2	0.1
Other metal oxide		8.9	13.1	9.9
(TiO ₂ , MgO ₂ , P ₂ O ₅ , SO ₂ , Na ₂ O ₂ , MnO, BaO and ZnO ₂)				

นอกจากนี้ ทำการศึกษาสมบัติการไหล การบ่มสุก การคืนกลับตัวทางอีลาสติก ความแข็ง การทนต่อน้ำมันไฮดรอลิก สมบัติเชิงกลด้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกดอัด และการต้านทานต่อการขีดสีของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพบว่า เมื่อเติมชนิดและปริมาณของสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาทั้ง 3 ชนิด ในวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์ เวลาการไหล (Scorch time) มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน และไม่ส่งผลต่อเวลาการบ่มสุก (Cure time) ของยาง ยกเว้นการเติมปริมาณซิลิกาจากผงเถ้าลอยทำให้เวลาในการบ่มสุกยางเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ผงเถ้าลอยมีส่วนประกอบของโลหะออกไซด์ที่สามารถเกิดการหน่วงปฏิกิริยาการเชื่อมขวางของสายโซ่กับส่วนที่มีขั้ว (-CN groups) ของยางเอ็นปีอาร์จึงส่งผลทำให้เวลาการบ่มสุกยางเพิ่มขึ้น (Kantala *et al.*, 2009)

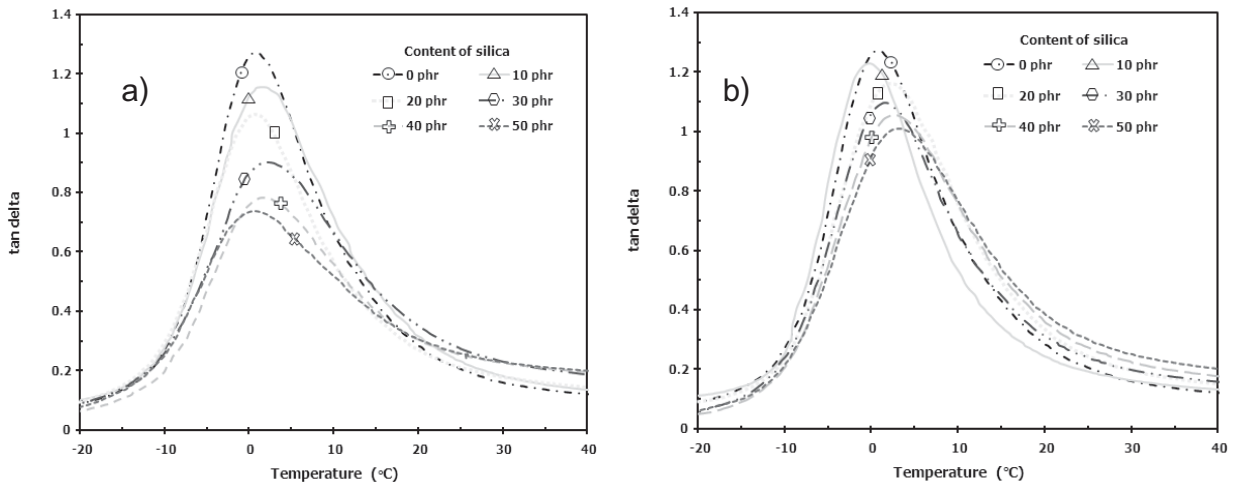
ตารางที่ 3 สมบัติการไหล การบ่มสุก สมบัติเชิงกล และการทนน้ำมันของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์

Type of silica	Content of silica (phr)	NBR composite properties							
		Mooney viscosity (ML 1'-4') 100°C	Cure characteristic		Mechanical properties		Volume loss (mm ³)	Swelling ratio (%)	
			Scorch time (min:sec)	Cure time (min:sec)	Compression set (%)	Hardness (Shore A)		at 30°C	at 125°C
No filler	0	51.6	1:01	2:42	17±2	73 ±1	103.3	0	3
Precipitated silica	10	54.4	0:59	2:30	26±1	72 ±1	95.7	0	3
	20	59.7	0:53	2:21	25±1	76 ±1	109.6	0	3
	30	68.9	0:53	2:30	26±1	78 ±1	111.7	0	3
	40	85.3	0:54	2:30	27±1	82 ±1	103.0	0	3
	50	89.1	0:55	2:32	24±1	87 ±1	100.8	0	3
Silica from Fly ash	10	58.0	1:00	3:20	17±2	76 ±1	169.3	0	3
	20	62.5	0:56	4:23	24±2	80 ±1	196.3	0	3
	30	69.3	0:56	5:34	29±2	82 ±1	208.0	0	3
	40	72.8	0:49	7:23	29±2	83 ±1	241.0	0	3
	50	76.3	0:49	9:17	34±2	91 ±1	265.0	0	3
Silica from Silitin (Treat)	10	45.7	0:57	2:25	25±1	77 ±1	116.9	0	3
	20	52.6	0:57	2:34	20±1	79 ±1	112.3	0	3
	30	62.1	0:54	2:17	26±1	87 ±1	130.8	0	3
	40	67.8	0:54	2:12	24±1	87 ±1	123.9	0	3
	50	69.6	0:54	2:12	22±1	88 ±1	127.6	0	3
Silica from Silitin (Un-Treat)	10	54.7	0:59	2:30	29±2	76 ±1	136.1	0	3
	20	58.2	1:00	2:30	24±2	77 ±1	124.0	0	3
	30	71.5	0:58	2:15	31±2	79 ±1	164.6	0	3
	40	73.0	1:00	2:05	33±2	80 ±1	158.3	0	3
	50	83.1	0:54	2:05	34±2	83 ±1	161.2	0	3

ส่วนสมบัติด้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกดอัดของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์อยู่ในช่วง 17-34% ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า การเติมผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวให้ค่าการกลับคืนตัวใกล้เคียงกับผงฟริชพิเตตซิลิกา ทั้งที่มีปริมาณซิลิกาน้อยกว่า นอกจากนี้ ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาจากสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมอนุภาคสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาที่มีความแข็งแกร่ง (Rigidity) ส่งผลให้ความแข็งของยางโดยรวมเพิ่มขึ้นด้วย ในงานวิจัยนี้เน้นการใช้งานด้านซีลยางที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน และมีการขีดสีขณะใช้งานจึงทำการทดสอบการทนต่อน้ำมัน ไฮดรอลิก ที่สภาวะอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส พบว่า วัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์ที่เติมสารตัวเติมกลุ่ม ซิลิกาทุกชนิดต้านทานต่อการบวมตัวใน

น้ำมันไฮดรอลิกได้ดีทั้งสองสภาวะ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของยางเอ็นปีอาร์สามารถต้านทานต่อการแทรกตัวของน้ำมันได้ดี ส่วนการทดสอบการทนต่อการขีดสีของยางเอ็นปีอาร์ พบว่า การเติมปริมาณของซิลิกาจากสารตัวเติมกลุ่ม ซิลิกา (ผงฟริชพิเตตซิลิกา ผงซิลิติน) มีการสูญเสียเนื้อวัสดุจากการขีดสีค่อนข้างน้อย ยกเว้นการเติมปริมาณซิลิกาจากผงถั่วลันเตามีการสูญเสียเนื้อวัสดุจากการขีดสีมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของซิลิกาที่น้อย ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งปริมาณซิลิกาที่มีปริมาณน้อยส่งผลทำให้มีการเชื่อมขวางระหว่างยางกับสารตัวเติมลดลง การเสริมแรงระหว่างยางกับสารตัวเติมลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคถั่วลันเตาที่หลุดออกมาส่งผลทำให้ปริมาตรเนื้อวัสดุโดยรวมลดลง และอาจเนื่องจากอนุภาคผงถั่วลันเตาที่มีขนาดใหญ่เมื่อเกิดการหลุดออกเป็นตัวเร่งการขีดสีทำให้เนื้อยางมีการหลุดออกได้เพิ่มขึ้น

การทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต



รูปที่ 1 tan delta ยางเอ็นปีอาร์ที่เติมสารตัวเติม a) ผงฟริชพิเตตซิลิกา b) ผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว

ตารางที่ 4 สมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์

Type of silica	Content (phr)	DMTA results	
		T _g (°C)	E' at 30°C (MPa)
Unfilled silica	0	0.1	14.22
	10	1.6	17.50
	20	0.7	20.27
	30	2.2	32.60
	50	1.6	42.65
Precipitated silica	10	1.4	54.18
	20	-0.3	15.86
	30	2.3	21.09
	40	1.7	21.83
	50	2.7	26.40
Silitin (Treated)	40	2.7	26.40
	50	3.2	31.58

จากผลการทดลองที่กล่าวมาดังตารางที่ 3 พบว่า ยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวให้สมบัติโดยรวมที่ใกล้เคียงกับผงฟริชพิเตตซิลิกา จึงเลือกนำมาทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัต ดังแสดงในตารางที่ 4 แสดงค่า Storage modulus ของยางเอ็นปีอาร์ที่สารตัวเติมผงฟริชพิเตตซิลิกา และผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวที่ปริมาณ 0-50 phr ในปริมาณที่ต่างกัน โดยพบว่า ค่า Storage modulus ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของยางเอ็นปีอาร์ที่เติมสารตัวเติมกลุ่มซิลิกามีค่ามากกว่าที่ไม่มีสารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบกับยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกากับผงซิลิติน พบว่า ค่า Storage modulus ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกามีค่าสูงกว่าผงซิลิติน นอกจากนี้ ค่า Storage modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกา สำหรับค่า tan delta ดังแสดงในรูปที่ 1a และ 1b ของยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกามีค่าน้อยกว่าการไม่เติม ส่วนค่า tan delta ยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกามีค่าน้อยกว่าผงซิลิติน และค่า tan delta ลดลงตามปริมาณของซิลิกา เนื่องจากผงฟริชพิเตตซิลิกามีปริมาณของซิลิกาที่มากกว่าผงซิลิติน จึงเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างยางกับสารตัวเติม (Rubber-filler interaction) และสามารถเสริมแรงได้ดี (Kader, 2003) ส่งผลทำให้สมบัติความเป็นอิลาสติกของยางเอ็นปีอาร์ที่เติมผงฟริชพิเตตซิลิกาดีกว่าการเติมจากผงซิลิติน เมื่อพิจารณาว่า T_g ของวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นปีอาร์

ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ค่า T_g ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของซิลิกาในสารตัวเติมผงพีวีซีพีเตตซิลิกาและผงซิลิติน ปรับปรุงผิวในวัสดุประกอบยางเอ็นบีอาร์ ซึ่งบ่งบอกถึงการเสริมแรง (Reinforcement) ของสารตัวเติมในยางเอ็นบีอาร์ (Kader, 2003)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาประกอบด้วย ผงพีวีซีพีเตตซิลิกา ผงเถ้าลอย และผงซิลิติน ในวัสดุเชิงประกอบยางเอ็นบีอาร์สามารถสรุปได้ดังนี้ ผงเถ้าลอยและผงซิลิตินมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและไฮดรอกเซน เหมือนกับผงพีวีซีพีเตตซิลิกา นอกจากนี้ พบว่า ผงพีวีซีพีเตตซิลิกาให้ความหนืดสูงสุด และการเติมผงเถ้าลอยทำให้เวลาการบ่มสุกมากกว่าการเติมสารตัวเติมชนิดอื่น ส่วนสมบัติเชิงกลโดยรวมของผงพีวีซีพีเตตซิลิกาสูงกว่าสารตัวเติมชนิดอื่น ยกเว้นสมบัติการคืนกลับตัวเมื่อได้รับแรงกดอัดซึ่งผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิวให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผงพีวีซีพีเตตซิลิกา และไม่พบการการบวมตัวในน้ำมันไฮดรอลิกของยางเอ็นบีอาร์ สำหรับสมบัติความร้อนเชิงกลพลวัตของวัสดุประกอบยางเอ็นบีอาร์ที่เติมผงพีวีซีพีเตตซิลิกามีค่า Storage modulus สูงกว่าผงซิลิตินชนิดปรับปรุงผิว สำหรับค่า $\tan \delta$ และ T_g ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สำหรับงานวิจัยสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้งานของซีลยางที่ใช้ในงานระบบไฮดรอลิกที่มีความสามารถคืนกลับตัวได้ดีในสภาวะการกดอัด

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ MRG-WI525S074 ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนทุนวิจัย บริษัท พาวเวอร์ซีล จำกัด ที่ร่วมสนับสนุนทุนวิจัยและสารเคมียาง และบริษัทเป็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุผงซิลิติน

เอกสารอ้างอิง

- ชูลีพันธ์ พันธุ์เยี่ยม 2552. สมบัติทางกลและทนน้ำมันของยางผสมผงเถ้าลอย/ยางเอ็นบีอาร์/ยางเอชเอ็นบีอาร์ ที่เติมด้วยด้วยผงซิลิกาเกรดการค้าและผงเถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- พงษ์ธร แซ่ฮุย 2548. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). กรุงเทพฯ. 2-55.
- พรพรรณ นิธิอุทัย 2528. สารเคมีสำหรับยาง ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 173-175.
- Kader, M. A., and Bhowmick, A.K. 2003. Effect of Filler on the Mechanical, Dynamic Mechanical, and Aging Properties of Binary and Ternary Blends of Acrylic Rubber, Fluorocarbon Rubber, and Polyacrylate. J Appl Polym Sci 90: 278-286.
- Oggermuller, H. Improving the Processing Properties of SBR-Silica Compound by the Addition of Neuburg Siliceos Earth. [Online], Available: <http://www.hoffmannmineral.com> [2010, August 3].
- Kantala, C., Wimolmala, E., Sirisinha, C., and Sombatsompop, N. 2009. Reinforcement of Compatibilized NR/NBR Blend by Fly Ash Particles and Precipitated Silica. Polym Adv Techn 20: 448-458.
- Thongsang, S., Sombatsompop, N., and Ansarif, A. 2008. Effect of Fly Ash Silica and Precipitated Silica Fillers on the Viscosity, Cure, and Viscoelastic Properties of Natural Rubber. Polym Adv Techn 19: 1296-1304.
- Thongsang, S., and Sombatsompop, N. 2006. Effect of NaOH and Si69 Treatments on the Properties of Fly Ash/Natural Rubber Composites. Polym Compos 27: 30-40.