

**สมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ
ยางเอสบิอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งโดยใช้สารคู่ควบไซเลน Si69 ปรับปรุงผิวเถ้าลอย**
**Mechanical properties and Thermal ageing of NR/SBR blend - Fly ash Composites
using Si69 Silane Coupling Agent for Surface Treatment**

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, เอกชัย วิมลมาลา และธีระศักดิ์ หมากผิน

Narongrit Sombatsompop, Ekachai Wimolmala and Teerasak Markpin

กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials,
King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Bangmod, Tungkr, Bangkok, 10140, Thailand.

Corresponding e-mail: narongrit.som@kmutt.ac.th



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบิอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยที่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีในประเทศไทย เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบิอาร์ โดยศึกษาถึงปริมาณของซิลิกาที่มีในเถ้าลอย เพื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาเกรดการค้าที่ใช้กันทั่วไป และศึกษาผลการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง ส่วนสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็ง และความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความต้านแรงดึงเมื่อเพิ่มปริมาณสารคู่ควบไซเลน เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลง ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่า ซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่ปริมาณสัดส่วน 20 phr และผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ 2% โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมที่จะนำมาเติมลงในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบิอาร์ และสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งทดแทนซิลิกาเกรดการค้าได้

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ, ยางเอสบิอาร์, เถ้าลอย, การปรับปรุงผิว, สารคู่ควบไซเลน, การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน



Abstract

The research involved property development of NR/SBR blend filled fly ash particles used for reinforcement in comparison with commercial silica. The effects of silica content and surface treatment by Si69 silane coupling agent were studied. The experimental results suggested that as the silica content from fly ash particles increased the cure time decreased. The increase in silica content in fly ash resulted in increases in tensile modulus, hardness and tears strength, but led to decreases in elongation at break and tensile strength. When adding the silane coupling agent the cure time and overall mechanical properties were improved. After thermal ageing, the tensile modulus and tensile strength increased, but the elongation at break decreased. Overall results recommended that 20 phr of silica in 2% Si69-treated fly ash particles gave the optimum mechanical properties of the blend and can be used to replace the commercial silica.

Key words : Natural Rubber, SBR Rubber, Fly Ash, Surface Treatment, Silane Coupling Agent, Thermal Aging

คำนำ

กระบวนการผสมยางจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีการศึกษาและพัฒนาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากเป็นกระบวนการผลิตยางผสม มีกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น การสังเคราะห์ยางผสม ซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า และต้องใช้ผู้ที่มีความรู้เฉพาะด้านเกี่ยวกับเคมีพอลิเมอร์ และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูงกว่า ในขณะที่การผสมพอลิเมอร์โดยตรงสามารถทำได้ง่ายกว่า และได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (% Yield) ที่สูงมากกว่า และเป็นการปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบิอาร์ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตสายพานลำเลียง (ในส่วนของฉาบผ้าใบ) การเติมยางธรรมชาติลง

ในยางเอสบีอาร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้สายพานมีความเหนียวที่สามารถยึดติดกับชั้นของผ้าได้ดี และมีความนุ่มเพื่อที่จะได้แบบบนชั้นผ้าได้ง่าย อย่างไรก็ตามในการเติมยางเอสบีอาร์เข้าไปเพื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการขัดถูขณะใช้งานได้ดีขึ้น ส่วนถั่วลอจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีปริมาณสูงถึง 3 ล้านตัน/ปี และหากไม่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะกลายเป็นของเสียในที่สุด อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาการกำจัดของเสียในส่วนนี้ด้วย (มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545) วัสดุถั่วลอจัดมีส่วนประกอบของซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ โลหะออกไซด์ ซึ่งมีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางอีกด้วย (ชัย และคณะ, 2542)

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์เมื่อนำยางธรรมชาติผสมในยางเอสบีอาร์ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมด้านความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว และความแข็งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติเมื่อรับแรงดึงสามารถเกิดเป็นผลึกทำให้ยางมีความแข็งแรงมากขึ้น (Boochathum and Chiewnawin, 2001) ในส่วนการใช้สารเติมแต่งในยางมีการค้นคว้าโดย Chuayjulit และคณะ (2001) ได้ศึกษาการนำซิลิกาจากถั่วลอจัดเป็นสารเสริมแรงในยางธรรมชาติเทียบกับซิลิกาเกรดการค้า ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น ส่วน Yin และคณะ (2003) พบว่า ซิลิกาเกรดการค้าที่ไม่ปรับปรุงผิวมีการเกาะกลุ่มกันเองในยางเอสบีอาร์ แต่เมื่อทำการปรับปรุงผิวทำให้ซิลิกาเกรดการค้ามีการกระจายตัวได้ดีขึ้น ในส่วนของการนำซิลิกาที่มีในถั่วลอจัดมาใช้ในยางนั้น มีงานวิจัยของ Sombatsompop และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของการเติมซิลิกาเกรดการค้าและซิลิกาจากถั่วลอจัดที่ไม่ปรับปรุงผิวในยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ ในส่วนของยางธรรมชาติ พบว่า การเติมซิลิกาเกรดการค้าและซิลิกาจากถั่วลอจัดที่ปริมาณสัดส่วนไม่เกิน 30 phr มีสมบัติเชิงกลด้านความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความแข็งที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อปริมาณสัดส่วนของซิลิกามากกว่า 30 phr พบว่า การเติมซิลิกาเกรดการค้าให้สมบัติเชิงกลของยางที่ดีกว่า ส่วนงานวิจัยของ Thongsang and Sombatsompop (2006) และ เอกชัย และคณะ (2549) พบว่า การปรับปรุงถั่วลอจัดที่ปริมาณความเข้มข้นสารคู่ควบไซเลนที่ 2 และ 4% โดยน้ำหนัก ทำให้เวลาในการคงรูปยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ลดลง แต่ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น บทความวิจัยนี้เป็นการนำถั่วลอจัดมาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางผสม เพื่อทดแทนการใช้สารเติมแต่งซิลิกาเกรดการค้า โดยการนำถั่วลอจัดผสมในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ โดยศึกษาปริมาณของซิลิกาที่มีในถั่วลอจัด และผลการปรับปรุงผิวถั่วลอจัดด้วยสารคู่ควบไซเลนที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ต่อสมบัติเชิงกล และผลของการบ่มเร่งสภาพด้วยความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของยางผสม

๒๒๒ วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

- (1) ยางธรรมชาติ เกรด STR20 (Standard Thai Rubber 20) จากบริษัท ช่วยชวน จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (2) ยางเอสบีอาร์ เกรด SBR1712 มีส่วนประกอบของ สไตรีน 24.5% น้ำมัน 28.8% และกรดอินทรีย์ 5.7% จากบริษัท BST Elastomers จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (3) สารคู่ควบ (coupling agents) ประเภทไซเลน Bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfane (Si69), $[(C_2H_5O)_3Si-(CH_2)_3-S_2-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$ จากบริษัท JJ-DEGUSSA (THAILAND) จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (4) สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท อูทิส อินเทอร์เน็ต จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (5) สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท Imperial Industrial จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (6) สารเร่งปฏิกิริยาเมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Mercaptobenzthiazole, MBT) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรด ZAP ACCEL M-R จากบริษัท Zeon Advanced Polymix จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (7) สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางจากออกซิเจนและโลหะแวนดิลียม เกรด Butylated hydroxytoluene, BHT จากบริษัท ยาง 5 มังกร จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (8) กำมะถัน (Sulfur) เป็นสารช่วยในการคงรูปยางในกระบวนการผลิตยาง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาด 325 mesh จากบริษัท สยามเคมี จำกัด (มหาชน) (กรุงเทพฯ)
- (9) ถั่วลอจัด (Fly ash) มีองค์ประกอบของซิลิกาประมาณ 40% และมีโลหะออกไซด์อื่นๆ ประกอบอยู่ เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ถั่วลอจัดจากถ่านหินลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ขนาดอนุภาคไม่เกิน 250 ไมครอน จากบริษัท K.N.R. Group จำกัด (กรุงเทพฯ)
- (10) ซิลิกาเกรดการค้า (Commercial silica) เป็นสารเสริมแรงที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง เลือกใช้ซิลิกาแบบตกผลึก (Precipitated) เกรด TOKUSIL 233 มีขนาดอนุภาคประมาณ 50-100 ไมครอน ค่า pH 6.8 และค่า Bulk density 0.232 g/cm³ จากบริษัท Tokuyama Siam Silica จำกัด (ระยอง)
- (11) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) PEG#4000 จากบริษัท Nicschem จำกัด (กรุงเทพฯ)



2. ขั้นตอนการปรับปรุงผิวแก้าลอยโดยใช้สารคู่ควบไซเลน มีขั้นตอนดังนี้ (Thongsang and Sombatsompop,2006)

- (1) เตรียมสารคู่ควบไซเลนที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆดังนี้ 0 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแก้าลอย
- (2) เติมน้ำสารคู่ควบไซเลนลงในเอทานอล โดยเตรียมเอทานอลในอัตราส่วน 100 มล./แก้าลอย 100 กรัม และกวนสารละลายด้วยแท่งกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที ต่อจากนั้นนำแก้าลอยเทลงในสารคู่ควบไซเลนกับเอทานอล และใช้แท่งกวนของผสมเข้ากันโดยใช้เวลา 15 นาที
- (3) ทำการอบแก้าลอยที่อุณหภูมิ 100-110°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. ขั้นตอนการผสมและเตรียมตัวอย่างชิ้นงานยางผสมกับแก้าลอย

- (1) ทำการบดผสมยางผสมและแก้าลอยด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จากบริษัท Yong Fong Machinery จำกัด จำนวน 24 สูตร ตามสูตรของสารประกอบยางผสม ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเติมปริมาณซิลิกาที่มีในแก้าลอยในยางผสมที่สัดส่วน 0 ถึง 50 phr (คำนวณปริมาณแก้าลอยที่มีองค์ประกอบของซิลิกาประมาณ 40%) โดยใช้เวลาในการผสมที่ 35 นาที อุณหภูมิในการผสมที่ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50%
- (2) นำสารประกอบยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่มีแก้าลอยเป็นสารเติมแต่ง ไปเตรียมขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 160°C แรงดันโมลด์ที่ 170 กก./ตร.ซม. และขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบการต้านแรงดึงด้วยแม่พิมพ์ดัด (Die stamping) เป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die C

4. การตรวจสอบหาเวลาในการคงรูปยาง

นำสารประกอบยางผสมที่มีแก้าลอยเป็นสารเติมแต่งทดสอบหาเวลาในการคงรูปที่ 90% (t_{90}) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) จากบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิทดสอบ 160°C

ตารางที่ 1 : สูตรสารประกอบยางผสมที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนผสม	ปริมาณ (phr)*
1. ยางธรรมชาติ, ชนิด STR 20 และยางเอสบีอาร์, ชนิด SER 1712	100
2. สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	5.0
3. สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid)	3.0
4. สารเร่งปฏิกิริยาเมอร์แคปโตนโซลโฟไซด์ (MBT)	0.3
5. สารแอนติออกซิแดนท์**	1.0
6. กำมะถัน (Sulfur)	1.5
7. สารเติมแต่ง (แก้าลอย และซิลิกาการคงรูป)	Varying 0, 10, 20, 30, 40 and 50

*phr parts per hundred of rubber by weight

** BHT: Butylated hydroxytoluene

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล

- (1) การทดสอบความต้านแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-1 ใช้ตัวจับยึด (grip) ขนาด 5 KN ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 25°C ความเร็วในการดึงคงที่ 500 มม./นาที ตามมาตรฐาน ASTM D412-98
- (2) การทดสอบการต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624-00
- (3) การทดสอบค่าความแข็งของแผ่นยางที่คงรูป โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240-03 Shore A

6. การทดสอบสมบัติกายภาพและโครงสร้างจุลภาค

- (1) การตรวจสอบภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค เตรียมชิ้นงานโดยการเคลือบทองลงบนผิวด้วยเครื่องเคลือบผิวระบบสุญญากาศ (Vacuum coating) รุ่น JEE-400 ของบริษัท JEOL จำกัด โดยใช้ความดันที่ 10⁻⁴ Pa กระแสไฟฟ้าในการเคลือบผิว 15 แอมแปร์ จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) จากบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5800 ด้วยกระแสไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า โดยตรวจสอบลักษณะรูปร่าง และการยึดเกาะระหว่างเฟสของแก้าลอยกับยางผสม
- (2) การตรวจสอบปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม (Crosslink density) ด้วยวิธีการบวมตัว (Swelling method) (Sombatsompop, 1999) โดยเตรียมชิ้นงานยางผสมคงรูปที่มีขนาด 2x2 ตร.ซม. แล้วทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโทลูอีนเป็นเวลา 168 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากสารละลายโทลูอีน ทำการชั่งน้ำหนักหลังการแช่อีกครั้ง โดยปริมาณของพันธะข้าม สามารถคำนวณได้จากสมการของ Flory-Rehner โดยใช้ค่า V_s ที่ 106.2 ลบ.ซม./โมล ค่า χ ของ NR กำหนดใช้ 0.379 ส่วน χ ของ SBR มีค่า 0.413 โดยแสดงรายละเอียดการคำนวณในงานวิจัยของ Sombatsompop และคณะ (2006)

7. การทดสอบสมบัติหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน

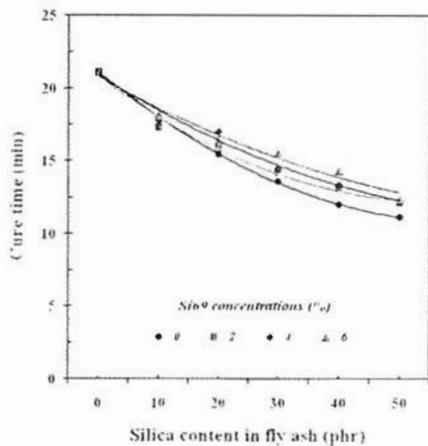
การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน (Thermal aging) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D573-99 โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ในตู้อบ ต่อจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกลต้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ความแข็ง และตรวจสอบปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม ทำการเปรียบเทียบสมบัติกับชิ้นงานก่อนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนแรกนำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบืออาร์ โดยมีสัดส่วนของยางธรรมชาติที่ 0, 25, 50, 75 และ 100 ส่วน ที่เติมแฉะลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวที่ปริมาณ 20 phr และทำการตรวจสอบเวลาในการคงรูป และสมบัติเชิงกล ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่า เมื่อสัดส่วนของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างของยางธรรมชาติมีตำแหน่งในการเกิดปฏิกิริยา (Reactive sites) มากกว่ายางเอสบืออาร์ จึงทำให้มีการเชื่อมโยงพันธะข้ามได้เร็วกว่า และโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติไม่ซับซ้อน และสามารถเคลื่อนไหวเมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่ายางเอสบืออาร์ซึ่งมีหมู่เบนซิน ที่อาจเข้าไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาคิวคลาไนซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะข้ามได้ยากกว่า (Sombatsompop และคณะ, 2004) ส่วนสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบืออาร์ พบว่า ที่สัดส่วนของยางธรรมชาติ 50 ส่วน ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังนั้น จึงเลือกมาเพื่อทำการศึกษาค่าผล ของการปรับปรุงผิวแฉะลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ปริมาณต่างๆ ต่อไป

ตารางที่ 2 : เวลาในการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/SBR เต็มซิลิกาที่มีในแฉะลอยที่ปริมาณ 20 phr

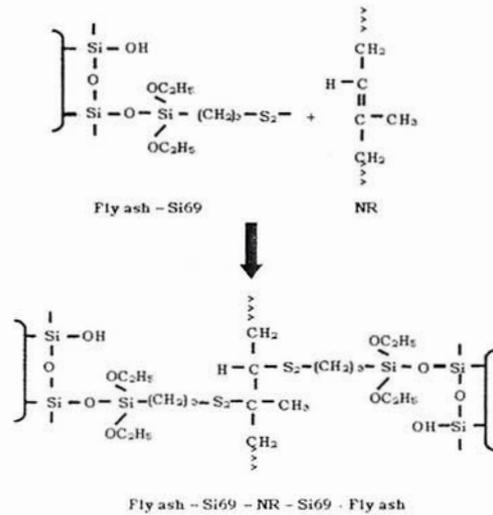
NR/SBR blends ratio (%)	สมบัติของยางผสม NR/SBR ที่เติมปริมาณซิลิกาที่มีในแฉะลอย 20 phr					
	Cure time (min)	Modulus at 200% ($\times 10^5$ Pa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Tear strength (kN/m)	Hardness (Shore A)
0:100	31	2.2 ± 0.1	1.2 ± 0.1	720 ± 10	6.8 ± 0.3	34 ± 1
25:75	21	2.7 ± 0.1	2.6 ± 0.2	1015 ± 15	8.2 ± 0.4	36 ± 0
50:50	16	3.1 ± 0.1	4.3 ± 0.3	1126 ± 26	10.0 ± 0.4	36 ± 0
75:25	15	3.0 ± 0.2	5.0 ± 0.6	1096 ± 20	9.7 ± 0.2	35 ± 1
100:0	12	2.2 ± 0.1	4.5 ± 0.1	990 ± 12	9.3 ± 0.5	27 ± 1



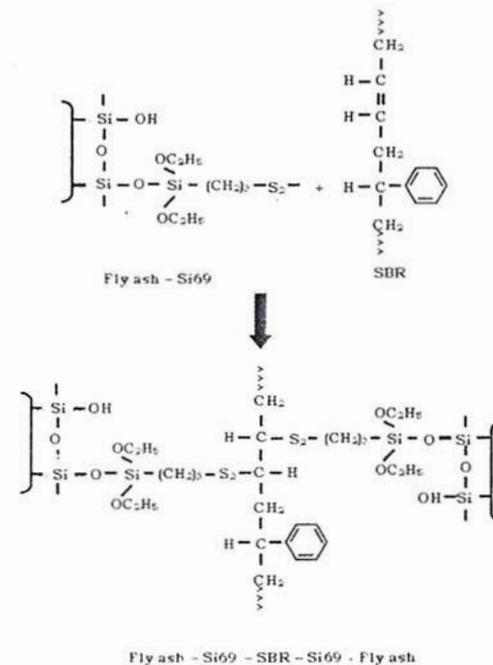
รูปที่ 1 : ผลของซิลิกาที่มีในแฉะลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ที่เติมในยางผสม 50NR/50SBR ที่มีต่อเวลาในการคงรูป

จากรูปที่ 1 แสดงผลของปริมาณซิลิกาที่มีในแฉะลอยที่มีต่อเวลาในการคงรูปของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 พบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มี

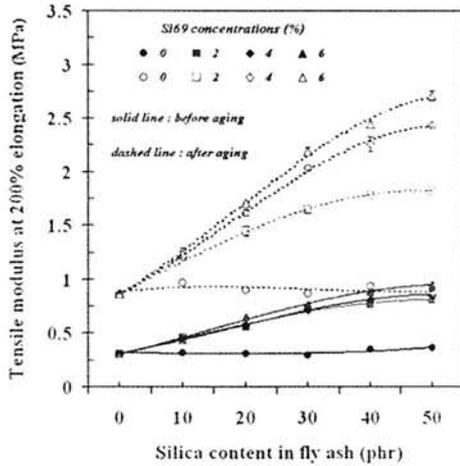
ในแฉะลอยเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาในการคงรูปของยางผสมลดลง เนื่องจากในแฉะลอยมีโลหะออกไซด์เป็นองค์ประกอบ อาทิเช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งโลหะออกไซด์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาคิวคลาไนซ์ให้เร็วขึ้น (Sombatsompop และคณะ, 2004) เวลาในการคงรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารคู่ควบไซเลนเข้าไปเกิดพันธะเคมีระหว่างเฟสของยางผสมกับแฉะลอยโดยปฏิกิริยาเคมีการเชื่อมโยงพันธะของสารคู่ควบไซเลนในยางผสมระหว่างแฉะลอยกับยางธรรมชาติและยางเอสบืออาร์ แสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาเคมีของ Si69 ที่มีต่อแฉะลอยและยางธรรมชาติ



รูปที่ 3 ปฏิกิริยาเคมีของ Si69 ที่มีต่อแฉะลอยและยางเอสบืออาร์

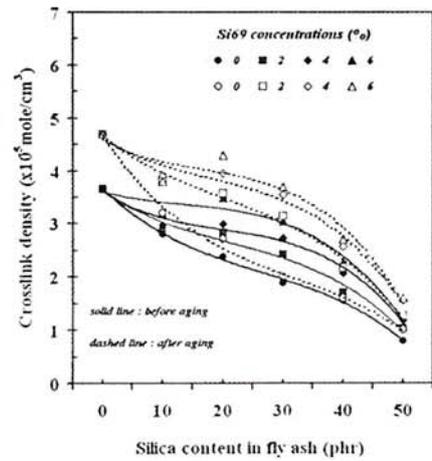


รูปที่ 4 | ผลของซิลิกาในเถ้าลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ในยางผสมต่อค่ามอดูลัสแรงดึงที่การยืดตัว 200%

ส่วนอิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อมอดูลัสที่การยืดตัว 200% ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบซิลเลน Si69 แสดงในรูปที่ 4

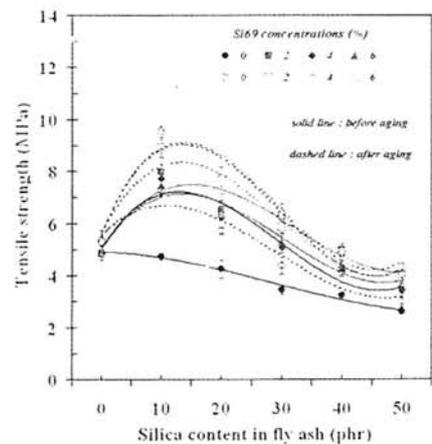
รูปที่ 4 แสดงว่า ก่อนการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบซิลเลน ปริมาณเถ้าลอยไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสมเนื่องจากเถ้าลอยที่ไม่ปรับปรุงผิวไม่เกิดพันธะทางเคมีกับโมเลกุลของยางผสม แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบซิลเลนแล้ว ค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยเป็นวัสดุที่มีความแข็งแกร่งสูง (Rigidity) และสารคู่ควบซิลเลนทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของยางผสมกับเถ้าลอย ค่ามอดูลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบซิลเลน เนื่องจากการปรับปรุงผิวเถ้าลอยทำให้มีปริมาณการเชื่อมโยงพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน ค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารวัลคาไนซ์ (Curatives) ที่เหลืออยู่ทำให้เกิดปริมาณพันธะข้าม (Sombatsompop and Kumuanit, 2003) และยังคงพบว่า ปริมาณสารคู่ควบมีผลต่อค่ามอดูลัสแรงดึงหลังการบ่มเร่ง มีความชัดเจนกว่าก่อนบ่มเร่ง เนื่องมาจากในสารคู่ควบซิลเลน Si69 มีส่วนประกอบของซิลเฟออร์ (Berlekamp และคณะ, 2003)

ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้าม ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบซิลเลน Si69 แสดงในรูปที่ 5 พบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของพันธะข้ามมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอนุภาคเถ้าลอยเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะข้าม ปริมาณความหนาแน่นพันธะข้ามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบซิลเลน เนื่องจากการเชื่อมโยงพันธะระหว่างยางกับเถ้าลอยด้วยสาร

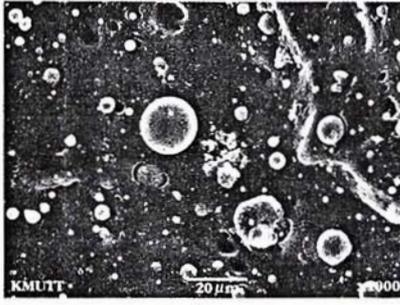


รูปที่ 5 | ผลของซิลิกาในเถ้าลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ในยางผสมที่มีต่อปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม

คู่ควบซิลเลนเป็นการสร้างพันธะเคมีอย่างหนึ่ง หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่า ความหนาแน่นพันธะข้ามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเชื่อมโยงพันธะข้ามของยางผสมเพิ่มขึ้นหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อน ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อความต้านแรงดึง แสดงในรูปที่ 6 จากผลการทดลองพบว่า ก่อนการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบซิลเลน ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอย เนื่องจากเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวไม่เกิดการยึดเกาะกับเฟสของยางผสม ดังภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 7 (ก) แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวเถ้าลอยพบว่า เมื่อเติมซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่ปริมาณ 10 ถึง 20 phr ทำให้ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยสามารถยึดเกาะกับเฟสของยางผสมได้ดีขึ้น โดยดูได้จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข)



รูปที่ 6 | ผลของซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ในยางผสม 50NR/50SBR ที่มีต่อความต้านแรงดึง



(ก) แก้วลอยที่ไม่ปรับปรุงผิว

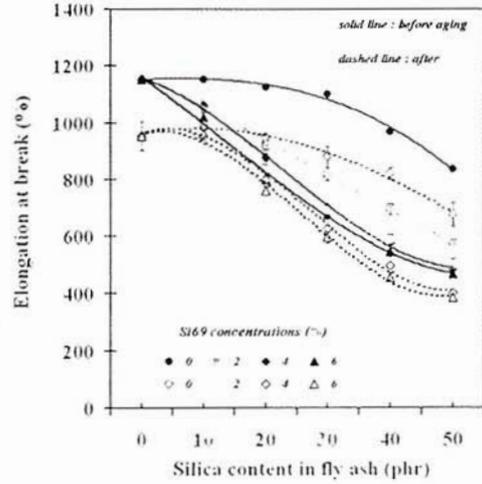


(ข) แก้วลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 2%

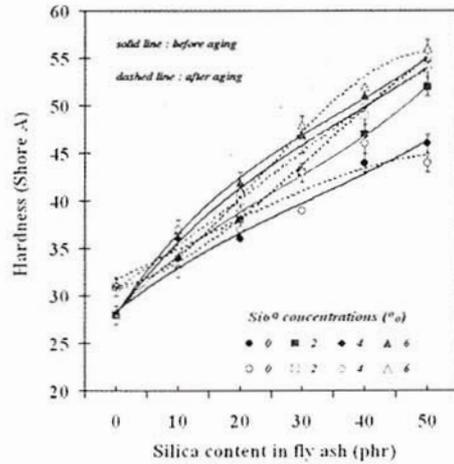
รูปที่ 7 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางผสม NR/SBR ที่เติม แก้วลอย

เมื่อเติมซิลิกาที่มีในแก้วลอยเพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 30-50 phr ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณเนื้อของยางผสมซึ่งเป็นเมทริกซ์เฟสลดลงด้วยปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นของแก้วลอย และพบว่าความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปรับปรุงผิวแก้วลอย เนื่องจากมีการยึดเกาะระหว่างเฟสของแก้วลอยกับยางผสมได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาครูปที่ 7 (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ช่องว่างระหว่างเฟสของแก้วลอยกับยางผสมลดลงและยังช่วยให้ แก้วลอยมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น (Herrera-Franco and Valadez-González, 2005) เนื่องจากสารคู่ควบไซเลนเข้าไปเกาะกับหมู่ฟังก์ชัน OH บนผิวของแก้วลอย จึงช่วยลดการจับตัวกันเองของแก้วลอย แต่เมื่อเติมสารคู่ควบไซเลนในปริมาณสูงขึ้นไป 4-6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแก้วลอย ความต้านแรงดึงกลับมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สารคู่ควบไซเลนที่มีปริมาณสูงเกิดการจับตัวกันเองมากกว่าที่จะไปยึดเกาะกับโมเลกุลของยางผสมและแก้วลอย (Thongsang and Sombatsompop, 2006) และทำให้ความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์กับแก้วลอยลดลง หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่าความต้านแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นหลังการบ่มเร่ง ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

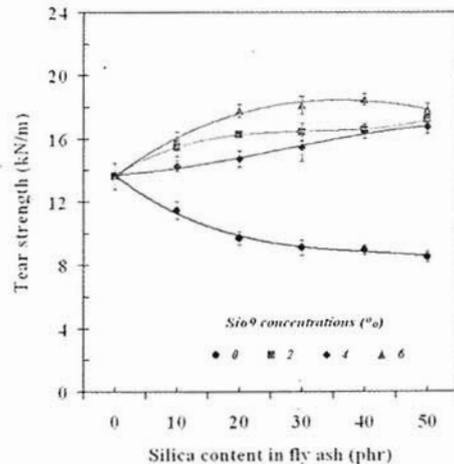
ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เปอร์เซ็นต์การยึดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับแก้วลอย



รูปที่ 8 ผลของซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ที่ปริมาณต่างๆ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของยางผสม



รูปที่ 9 ผลของซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ที่มีต่อค่าความแข็งของยางผสม 50NR/50SBR



รูปที่ 10 ผลของซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่ปรับปรุงผิวด้วย Si69 ที่มีต่อค่าความต้านแรงฉีกขาดของยางผสม

ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และลดลงตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองของ Si69 ซึ่งเกิดการก่อตัวเป็นชั้นของโมเลกุลพอลิไซลอคเซนบนผิวของแก้วลอย (Sae-oui และคณะ, 2004) ทำหน้าที่คล้ายกับเป็นพลาสติกไซเซอร์ระหว่างยางผสมกับแก้วลอย (Herrera-Franco and Valadez-González, 2004) หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่า เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นหลังการบ่มเร่ง ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่มีต่อความแข็งแรงก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่า ความแข็งแรงโดยรวมของยางผสมมีค่าไม่แตกต่างกับความแข็งแรงก่อนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน รูปที่ 10 แสดงผลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยที่มีต่อความต้านแรงฉีกขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50/50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 พบว่า ก่อนการปรับปรุงผิวแก้วลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน ความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแก้วลอย เนื่องจากแก้วลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวไม่เกิดการยึดเกาะกับเฟสของยางผสม แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวแก้วลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนแล้ว ความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นและยางผสมกับแก้วลอยมีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในแก้วลอย และปรับปรุงผิวแก้วลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนปริมาณความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สัดส่วนของยางธรรมชาติ 50 ส่วน ในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ 100 ส่วน ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่เหมาะสมที่สุด สมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในแก้วลอยเป็นสารเติมแต่ง ก่อนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วลอยเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง ส่วนสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็งแรง ความต้านแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด และความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณซิลิกาในแก้วลอย 20 phr เมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกล ด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็งแรง ความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด มี

แนวโน้มลดลง นอกจากนี้พบว่าสมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในแก้วลอยเป็นสารเติมแต่งหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่า สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึดตัวมีแนวโน้มลดลง และความแข็งแรงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณซิลิกาจากแก้วลอยที่ปริมาณไม่เกิน 20 phr และผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ 2% โดยน้ำหนักแก้วลอย สามารถทำให้สมบัติโดยรวมของยางผสมมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับยางผสมที่ใช้ซิลิกาเกรดการค้าเป็นสารเติมแต่ง

คำขอบคุณ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนเงินอุดหนุนวิจัยตามสัญญาเลขที่ RDG4750027



เอกสารอ้างอิง

1. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และวราภรณ์ คุณวานากิจ. คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของเถ้าลอย. ว. กฟผ., 2542, 8(4), 13-23.
2. มุลินธิสังเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์. รางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่นปี 2545, 2545.
3. เอกชัย วิมลมาลา. ธีระศักดิ์ หมากผิน และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. การศึกษาวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางเอสบีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งโดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด Si69 สำหรับปรับปรุงผิวเถ้าลอย. ว.วิจัยและพัฒนา มจร., 2549, 2(3), 353-373.
4. Berlekamp, U.H., Mix, A., Neumann, B., Stammer, H.-G. and Jutzi, P. 2-(Dimethylphosphinomethyl) - and 2-(methylthiomethyl)phenyl silicon compounds: higher coordination with soft donors. J. Organomet. Chem., 2003, 667(1-2), 167-175.
5. Boochathum, P. and Chiewnawin, S. Vulcanization of cis- and trans-polyisoprene and their blends: crystallization characteristics and properties. Eur. Polym. J., 2001, 37(3), 429-434.
6. Chuayjuljit, S., Eiumnoh, S. and Potiyaraj, P. Using silica from rice husk as a reinforcing filler in natural rubber. J. Sci. Res. Chula. Univ., 2001, 26(2), 127-138.
7. Herrera-Franco, P.J. and Valadez-Gonzalez, A. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf., 2004, 35(3), 339-345.
8. Herrera-Franco, P.J. and Valadez-Gonzalez, A. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. Compos. Part B: Eng., 2005, 36(8), 597-608.
9. Sae-oui, P., Sirisinha, C., Thepsuwan, U. and Hatthapanit, K. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in a conventional vulcanization system. Polym. Test., 2004, 23(8), 871-879.
10. Sombatsompop, N. Practical concern regarding the use of the Mooney-Rilvin equation to assess degree of crosslinking of swollen rubber vulcanisates. Polym. Polym. Compos., 1999, 7(1), 41-44.
11. Sombatsompop, N. and Kumnuantip, C. Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties of Tire-Tread Reclaimed Rubber/NR Compounds. J. Appl. Polym. Sci., 2003, 87(10), 1723-1731.
12. Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T. and Wimolmala, E. Fly ash and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene-butadiene rubber compounds. J. Appl. Polym. Sci., 2004, 93(5), 2119-2130.
13. Sombatsompop, N., Kantala, C. and Wimolmala, E. Wood sawdust fibres as a secondary filler in carbon black filled NR vulcanizates. Polym. Polym. Compos., 2006, 14(4), 331-348.
14. Thongsang, S. and Sombatsompop, N. Effect of NaOH and Si69 treatments on the properties of fly ash filled NR composites. Polym. Compos., 2006, 27(1), 30-40.
15. Yin, D., Zhang, Y., Peng, Z. and Zhang, Y. Effect of fillers and additives on the properties of SBR vulcanizates. J. Appl. Polym. Sci., 2003, 88(3), 775-782.