

อิทธิพลของการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วย Si69 และการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹ เอกชัย วิมลมาลา² และ วีระศักดิ์ หมากผิน²

Abstract

Sombatsompop, N., Wimolmala, E. and Markpin, T.

Effects of Si69 treatment on fly ash particles and thermal ageing on the properties of NR/SBR blend

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2007, 29(5) : 1377-1391

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, tears strength and percent compression set, but led to decreases in elongation at break, abrasion, percent resilience and tensile strength. When adding the silane coupling agent the cure

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

¹Ph.D. (Polymer Processing & Rheology) ศาสตราจารย์ ²M.Eng. (Materials Technology) นักวิจัย กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

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

รับต้นฉบับ 4 กันยายน 2549 รับลงพิมพ์ 16 กุมภาพันธ์ 2550

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

บทคัดย่อ

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ เอกชัย วิมลมาลา และ วีระศักดิ์ หมากรผิน
อิทธิพลของการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วย Si69 และการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่มีต่อ
สมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(5) : 1377-1391

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยที่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีในประเทศไทย เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ โดยศึกษาถึงปริมาณของซิลิกาที่มีในเถ้าลอย เพื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาเกรดการค้าที่ใช้กันทั่วไป และศึกษาผลการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารกลุ่มควาซิลิโคน Si69

ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง ส่วนสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็ง ความต้านแรงฉีกขาด เปอร์เซ็นต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด การต้านทานต่อการขีดถู เปอร์เซ็นต์การกระดอน และความต้านแรงดึง เมื่อเพิ่มปริมาณสารกลุ่มควาซิลิโคน เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลง

ผลการวิจัยได้ข้อสรุปว่า ซิลิกาจากเถ้าลอยที่มีปริมาณสัดส่วน 20 phr และผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารกลุ่มควาซิลิโคน 2% โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมที่จะนำมาเติมลงในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ และสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งทดแทนซิลิกาเกรดการค้าได้

ปัจจุบันยางธรรมชาติเป็นยางที่ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม และสามารถผลิตยางดิบได้เองในประเทศไทย 2.93 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2548 และเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับ 1 ของโลกด้วย ส่วนยางเอสบีอาร์เป็นยางสังเคราะห์ที่มีปริมาณการใช้ที่มากด้วยเช่นกัน ซึ่งประเทศไทยมีกำลังการผลิตต่อปี ประมาณ 60,000 ตัน (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2545) สำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ส่วนที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมทำสายพาน พื้นรองเท้า ยางอัดเบ้า สายเคเบิล และท่อยาง เป็นต้น จากการที่ปริมาณการผลิตยางดิบในประเทศเพิ่มขึ้นและความต้องการใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รัฐบาลไทยจึงพยายามส่งเสริมให้มีการแปรรูป

วัตถุดิบยางเพื่อเพิ่มมูลค่าเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางให้มากขึ้น (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2546)

กระบวนการผสมยางจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีการศึกษาและพัฒนาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากกระบวนการผลิตยางผสมมีกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ เช่น การสังเคราะห์ยางผสมชนิดใหม่ขึ้นมาจากโมโนเมอร์หลายๆ ชนิด ซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า อีกทั้งวิธีการนี้ยังต้องใช้ผู้ที่มีความรู้เฉพาะด้านเกี่ยวกับเคมีพอลิเมอร์ในการทำงาน และเมื่อพิจารณาในแง่ของการผลิตในปริมาณมาก ๆ วิธีการสังเคราะห์ยางผสมน่าจะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูงกว่า ในขณะที่การผสมพอลิเมอร์โดยตรงสามารถทำได้ง่ายกว่า และได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (% Yield) ที่สูงมากกว่า

เหตุผลโดยทั่วไปของการทำยางผสม คือ การปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองต่อเงื่อนไขของสภาวะการใช้งาน โดยสามารถผสมกับพอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามความต้องการได้

สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตสายพานลำเลียง (ในส่วนของยางผ้าใบ) รองเท้ายาง และยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ยางรถจักรยาน เป็นต้น ในการผลิตยางสายพานการลำเลียงนั้น การเติมยางธรรมชาติลงในยางเอสบีอาร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้สายพานมีความเหนียวที่สามารถยึดติดกับชั้นของผ้าได้ดี และมีความนุ่มเพื่อที่จะได้แนบบนชั้นผ้าได้ง่าย ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถจักรยานนั้น การเติมยางเอสบีอาร์เข้าไปในยางธรรมชาติเพื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการชำรุดใช้งานได้ดีขึ้น

ถ้าลดยจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีปริมาณสูงถึง 3 ล้านตัน/ปี และหากไม่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะกลายเป็นของเสียในที่สุด อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาการกำจัดของเสียในส่วนนี้ด้วย (มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545) ซึ่งการนำวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ประโยชน์แล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่มีข้อดีดังนี้ (1) ลดปริมาณการใช้วัสดุหรือสารตั้งต้นบริสุทธิ์ได้ (2) ลดปริมาณของเสียที่ใช้ประโยชน์แล้วอันจะส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนและพลังงานที่จะใช้ในการกำจัดของเสีย เช่น การขนย้ายในระหว่างการกำจัด การเผาหรือถมดิน (3) ลดปริมาณมลพิษหรือสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษ อันเนื่องมาจากการย่อยสลายของเสีย (4) ทำให้ราคาสินค้าที่ได้จากการนำวัสดุที่ใช้ประโยชน์แล้วกลับมาใช้ใหม่ลดต่ำลง และ (5) พัฒนาวัสดุชนิดใหม่จากการที่กลุ่มนักเทคโนโลยีดีเด่นประจำปี พ.ศ. 2545 ที่พัฒนาการใช้ถ่านลดยลิกไนต์ในประเทศไทย พบว่า ในปัจจุบันเริ่มมีการนำถ่านลดยมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ในปี พ.ศ.2545 มีปริมาณการใช้ถ่านลดยสูงถึง 1.8 ล้านตัน/ปี คิดเป็นร้อยละ 60 ของที่ผลิตได้ (มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545) อย่างไรก็ตาม ปริมาณของถ่านลดยในประเทศไทยยังมีอยู่เป็นจำนวนมาก ไม่เพียงแต่ถ่านลดยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะเท่านั้น แต่ยังมีถ่านลดยจากการเผาถ่านหินในแหล่งต่างๆ ในประเทศด้วย อาทิ ถ่านลดยถ่านหิน

ซับพิทูนีส จากจังหวัดระยอง ถ่านหินแอนทราไซต์ จากจังหวัดกาญจนบุรี ถ่านลดยจากแหล่งต่างๆ นั้น ล้วนแล้วแต่มีส่วนประกอบของซิลิกาอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ โลหะออกไซด์ ซึ่งมีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางอีกด้วย (ชัย และคณะ, 2542)

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์เป็นจำนวนมาก ยางทั้งสองชนิดสามารถนำมาผสมเข้ากันได้ดี (Findik และคณะ, 2004) เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่ไม่มีขั้วเหมือนกันและมีค่าความสามารถในการละลายที่ใกล้เคียงกัน จากงานวิจัยพบว่าเมื่อนำยางธรรมชาติผสมในยางเอสบีอาร์ ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมด้านความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวและความแข็งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติเมื่อรับแรงดึงสามารถเกิดเป็นผลึก ทำให้ยางผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น (Boochathum และ Chiewnawin, 2001) ในส่วนการใช้สารเติมแต่งในยาง มีการค้นคว้าโดย Chuayjuljit และคณะ (2001) ได้ศึกษาการนำซิลิกาจากถ่านลดยเป็นสารเสริมแรงในยางธรรมชาติเทียบกับซิลิกาเกรดการค้า พบว่าซิลิกาจากถ่านลดยที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลด้านการต้านแรงดึง ความต้านการฉีกขาด การกระดอนที่เพิ่มขึ้น ส่วน Yin และคณะ (2003) ได้ศึกษาการนำซิลิกาเกรดการค้าแบบไม่ปรับปรุงและที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน มาเป็นสารเสริมแรงในยางเอสบีอาร์ พบว่า ซิลิกาเกรดการค้าที่ไม่ปรับปรุงผิวมีการเกาะกลุ่มกันเองในยางเอสบีอาร์ แต่เมื่อทำการปรับปรุงผิวทำให้ซิลิกาเกรดการค้ามีการกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการเชื่อมโยงพันธะข้ามเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารคู่ควบไซเลนทำให้เกิดพันธะเคมีและการยึดเกาะที่ดีระหว่างผิวของซิลิกากับยางเอสบีอาร์ ในส่วนของการนำซิลิกาที่มีในถ่านลดยมาใช้ในยางนั้น มีงานวิจัยของ Sombatsompop และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของการเติมซิลิกาเกรดการค้าและซิลิกาจากถ่านลดยที่ไม่ปรับปรุงผิวในยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ ในส่วนของยางธรรมชาติ พบว่า ในถ่านลดยมีองค์ประกอบของซิลิกาประมาณ 40% การเติมซิลิกาเกรดการค้าและซิลิกาจากถ่านลดยที่ปริมาณสัดส่วนไม่เกิน 30 phr มีสมบัติเชิงกล ด้านความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาดและความแข็งที่คล้ายคลึงกัน แต่เมื่อปริมาณสัดส่วนของซิลิกามากกว่า

30 phr พบว่า การเติมซิลิกาเกรดการค้าในยางธรรมชาติ สมบัติเชิงกลด้านมอดุลัส ความแข็ง และความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมซิลิกาที่มีในเถ้าลอย มีแนวโน้มคงที่ ส่วนในกรณีของยางเอสปีอาร์ที่เติมซิลิกาทั้งสองชนิดนั้น พบว่า สมบัติเชิงกลโดยรวมคล้ายคลึงกับระบบของยางธรรมชาติ ยกเว้นความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกขาดที่ลดลง ส่วนงานวิจัยของ Thongsang และ Sombatsompop (2006) ได้ศึกษาการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ในยางธรรมชาติ โดยพบว่า การปรับปรุงเถ้าลอยที่ปริมาณความเข้มข้นสารคู่ควบไซเลนที่เหมาะสม 2 และ 4% โดยน้ำหนัก ทำให้เวลาในการคงรูปร่างลดลงเล็กน้อย ส่วนสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการเชื่อมโยงพันธะข้ามในยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น ส่วนงานวิจัยของ เอกชัย และคณะ (2549) ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวและที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ปริมาณและสัดส่วนต่างๆ ของเถ้าลอยเติมในยางเอสปีอาร์ โดยพบว่า การปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนที่ปริมาณความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก ทำให้เวลาในการคงรูปร่างลดลง ส่วนสมบัติเชิงกล ด้านมอดุลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และความแข็ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงผิวเถ้าลอย

บทความวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเถ้าลอยมาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางผสม เพื่อทดแทนการใช้สารเติมแต่งซิลิกาเกรดการค้า โดยการนำเถ้าลอยมาผสมในผลิตภัณฑ์ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ ซึ่งยังไม่มีหลักฐานการวิจัยมาก่อน โดยทำการศึกษาปริมาณของซิลิกาที่มีในเถ้าลอย และผลการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของยางผสม และศึกษาผลของการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้

- 1) ยางธรรมชาติ เกรด STR 20 (Standard Thai Rubber 20) จากบริษัท ช่วยชวน จำกัด (กรุงเทพมหานคร)
- 2) ยางเอสปีอาร์ เกรด SBR 1712 มีส่วนประกอบ

ของ สไตรีน 24.5% น้ำมัน 28.8% และกรดอินทรีย์ 5.7% จากบริษัท BST Elastomers จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

3) สารคู่ควบ (coupling agents) ประเภทไซเลน bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfane (Si69), $[(C_2H_5O)_3Si-(CH_2)_3-S_4-(CH_2)_3-Si-(C_2H_5O)_3]$ จากบริษัท JJ-DEGUSSA (THAILAND) จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

4) สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท อุกิศ อินเทอร์ไพรส์ จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

5) สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท Imperial Industrial จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

6) สารเร่งปฏิกิริยาเมอร์แคปโตเบนโซไทโธล (Mercaptobenzthiazole, MBT) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เป็นเกรด ZAP ACCEL M-R จากบริษัท Zeon Advanced Polymix จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

7) สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางจากออกซิเจนและสภาวะแวดล้อม เลือกใช้เกรด Butylated hydroxytoluene, BHT เป็นเกรดรวมที่ใช้กับยางและพลาสติก จากบริษัท ยาง 5 มังกร จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

8) กำมะถัน (Sulfur) เป็นสารช่วยในการคงรูปร่าง ในกระบวนการผลิตยาง ในงานวิจัยนี้ใช้กำมะถันขนาด 325 mesh จากบริษัท สยามเคมี จำกัด (มหาชน) (กรุงเทพมหานคร)

9) เถ้าลอย (Fly ash) มีองค์ประกอบของซิลิกาประมาณ 40% และยังมีโลหะออกไซด์อื่นๆ ประกอบอยู่ เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกเถ้าลอยจากถ่านหินลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ขนาดอนุภาคไม่เกิน 250 ไมครอน เถ้าลอยมีความหนาแน่น 2.65 กรัม/ลบ.ซม. จากบริษัท K.N.R. Group จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

10) ซิลิกาเกรดการค้า (Commercial silica) เป็นสารเติมแต่งประเภทสารเสริมแรงที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง เลือกใช้ซิลิกาแบบตกผลึก (Precipitated) เกรด TOKUSIL 233 มีขนาดอนุภาคประมาณ 50 -100 ไมครอน

ค่า pH 6.8 และมีค่า Bulk density 0.232 g/cm³ จากบริษัท Tokuyama Siam Silica จำกัด (ระยอง)

11) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) เลือกใช้เกรด PEG # 4000 จากบริษัท Nicschem จำกัด (กรุงเทพมหานคร)

2. ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเถ้าลอยโดยใช้สารค้ำขวางไฮลีน มีขั้นตอนดังนี้ (Thongsang และ Sombatsompop, 2006)

1) เตรียมสารค้ำขวางไฮลีนที่ปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0 2 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเถ้าลอย

2) เติมสารค้ำขวางไฮลีนลงในเอทานอล โดยเตรียมเอทานอลในอัตราส่วน 100 มล./ น้ำหนักเถ้าลอย 100 กรัม และกวนสารละลายด้วยแท่งกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำเถ้าลอยเทลงในสารละลายระหว่างสารค้ำขวางไฮลีนกับเอทานอล

3) ใช้แท่งแก้วกวนให้ของผสมเข้ากันโดยใช้เวลา 15 นาที

4) ทำการอบเถ้าลอยที่อุณหภูมิ 100-110°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. ขั้นตอนการผสมและเตรียมตัวอย่างชิ้นงานยางผสมกับเถ้าลอย

ส่วนประกอบของสูตรสารประกอบยางผสมที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดงใน Table 1

1) ทำการบดผสมยางผสมและเถ้าลอยด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จากบริษัท Yong Fong Machinery จำกัด จำนวน 24 สูตร ตามส่วนประกอบของสารประกอบยางผสม ดังแสดงใน Table 1 โดยเติมปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยในยางผสมที่สัดส่วน 0 ถึง 50 phr (คำนวณจากการที่ทราบว่าเป็นเถ้าลอยมีองค์ประกอบของซิลิกาประมาณ 40%) โดยใช้เวลาในการผสมที่ 35 นาที อุณหภูมิในการผสมเท่ากับ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50%

2) นำสารประกอบยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งไปเตรียมขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 160°C ใช้แรงดันโมลด์ที่ 170 กก./ตร.ซม. และเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ การดัดแรงดึงด้วยแม่พิมพ์ตัด (Die stamping) เป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die C

4. การตรวจสอบหาเวลาในการคงรูปยาง

นำสารประกอบยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งที่ได้จากเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ทดสอบหาเวลาในการคงรูปที่ 90% (tc₉₀) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) จากบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิทดสอบ 160°C

Table 1. Formulation of NR/SBR blend compounds

Ingredients	content (phr*)
1. Natural rubber, STR 20 and Styrene butadiene rubber ,SBR 1712	100
2. ZnO (Zinc Oxide)	5.0
3. Stearic acid	3.0
4. MBT (Mercaptobenzthiazol)	0.3
5. Antioxidant BHT**	1.0
6. Sulfur	1.5
7. Filler (fly ash and commercial silica grade)	Varying 0 10 20 30 40 and 50

* phr: parts per hundred of rubber by weight

** BHT: Butylated hydroxytoluene

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง มีรายละเอียดดังนี้

1) ทำการทดสอบความต้านแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I ด้วยการจับยึด (grip) ขนาด 5 กิโลนิวตัน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C ความเร็วในการดึงคองที่ 500 มม./นาที ทดสอบหาค่ามอดูลัสที่การยืดตัว 200% ความต้านแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด ตามมาตรฐาน ASTM D412-98 และการทดสอบการต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624-00

2) ทำการทดสอบค่าความแข็งของแผ่นยางที่คงรูปโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240-03 Shore A

3) ทำการทดสอบความต้านทานต่อการขีดถู จากบริษัท Hampden Test Equipment จำกัด ตามมาตรฐาน DIN 53516

4) ทำการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัด โดยการอบที่อุณหภูมิ 100°C ในตู้อบ เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D395-01

5) ทำการทดสอบการกระดอน โดยใช้เครื่องทดสอบ Wallance Dunlop Tripsometer จากบริษัท H. W. Wallance จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D 2632-01

6. การทดสอบสมบัติกายภาพและโครงสร้างจุลภาค

การทดสอบสมบัติกายภาพและโครงสร้างจุลภาคของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง มีรายละเอียดดังนี้

1) การตรวจสอบภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค เตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยการเคลือบทองลงบนผิวชิ้นงานยางผสมด้วยเครื่องเคลือบระบบสุญญากาศ (Vacuum coating) รุ่น JEE-400 ของบริษัท JEOL จำกัด โดยใช้ความดันที่ 10^{-4} Pa ใช้กระแสไฟฟ้าในการเคลือบผิว 15 แอมแปร์ จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) จากบริษัท JEOL จำกัด

รุ่น JSM-5800 ด้วยกระแสไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า โดยตรวจสอบลักษณะรูปร่าง และการยึดเกาะระหว่างเฟสของเถ้าลอยกับยางผสม

2) การตรวจสอบปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม (Crosslink density)

ทำการทดสอบปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม (Crosslink density) ด้วยวิธีการบวมตัว (Swelling method) (Sombatsompop, 1999) โดยการเตรียมชิ้นงานยางผสมที่คงรูปมีขนาด 2x2 ตร.ซม. แล้วทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโทลูอีนที่ปริมาตร 25 ลบ.ซม. เป็นเวลา 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 โดยแสดงรายละเอียดการคำนวณไว้ในงานวิจัยของ Sombatsompop และคณะ (2006)

7. การทดสอบสมบัติหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน

นำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง มาทดสอบการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน (Thermal aging) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D573-99 โดยทำการอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมงในตู้อบ จากนั้นนำชิ้นงานออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ความแข็ง และตรวจสอบปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติกับชิ้นงานก่อนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในส่วนแรก นำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ โดยมีปริมาณยางธรรมชาติที่ 0 25 50 75 และ 100 ส่วน จากนั้นเติมเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวที่ปริมาณ 20 phr และทำการตรวจสอบเวลาในการคงรูป และสมบัติเชิงกล ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงใน Table 2 โดยพบว่าเมื่อสัดส่วนของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เวลาในการ

Table 2. Cure time and mechanical properties of NR:SBR blend with 20 phr silica content in fly ash

NR:SBR blends ratio (%)	Properties of NR:SBR adding silica content in fly ash at 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	1016±15	8.2±0.4	38±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	900±12	9.3±0.5	27±1

คงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเหตุผลหลักดังนี้

1. โครงสร้างของยางธรรมชาติมีตำแหน่งในการเกิดปฏิกิริยา (Reactive sites) มากกว่ายางเอสบีอาร์ จึงทำให้มีการเชื่อมโยงพันธะข้ามได้เร็วกว่า
2. โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติไม่ซับซ้อนและสามารถเคลื่อนไหวเมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่ายางเอสบีอาร์ ซึ่งมีหมู่เบนซีนที่อาจเข้าไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะข้ามได้ยากกว่า (Sombatsompop และคณะ, 2004)

ส่วนสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ พบว่า ที่สัดส่วนของยางธรรมชาติ 50 ส่วน ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด ดังนั้นคณะวิจัยฯ จึงเลือกมาเพื่อทำการศึกษาค้นคว้าของการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ปริมาณต่างๆ ต่อไป

ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อเวลาในการคงรูปของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 1 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาในการคงรูปของยางผสมลดลง เนื่องจากในเถ้าลอยมีโลหะออกไซด์เป็นองค์ประกอบ เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งโลหะออกไซด์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยารีดอกซ์ให้เร็วขึ้น (Sombatsompop และคณะ, 2004) เวลาในการคงรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารคู่ควบไซเลนเข้าไปเกิดพันธะเคมีระหว่างเฟสของยางผสมกับเถ้าลอย โดยปฏิกิริยา

เคมีการเชื่อมโยงพันธะของสารคู่ควบไซเลนในยางผสมระหว่างเถ้าลอยกับยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ แสดงดัง Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อมอดูลัสที่ปริมาณการยืดตัว 200% ก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 แสดงใน Figure 4 จากผลการทดลองพบว่าก่อนการปรับปรุงผิวเถ้า

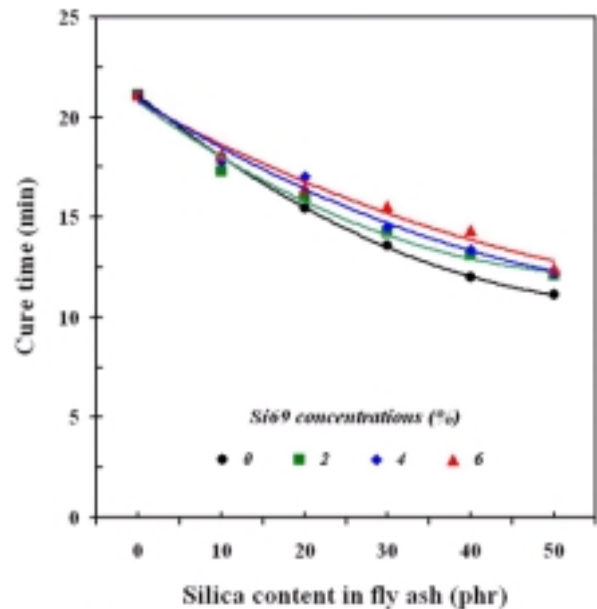


Figure 1. Effect of silica content in fly ash on cure time at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

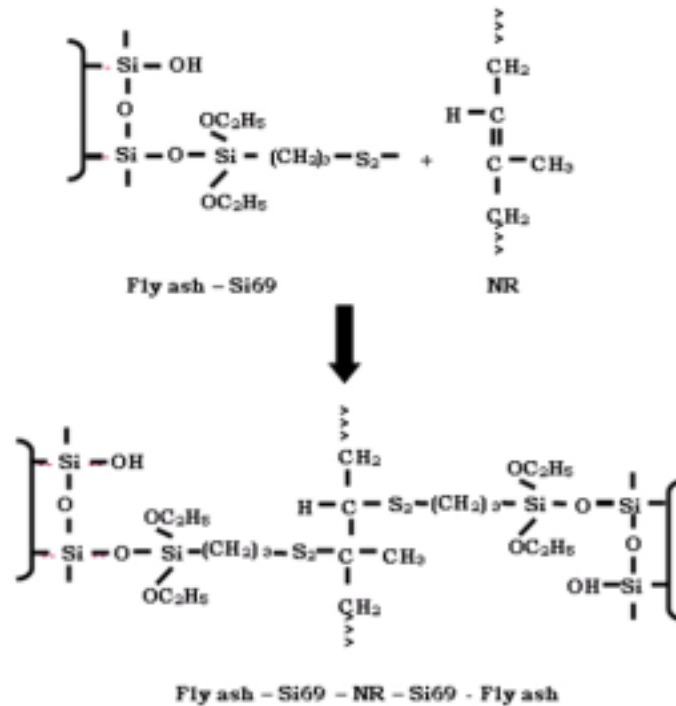


Figure 2. A chemical reaction of fly ash and NR via Si69

ลดยด้วยสารคู่ควบไซเลน ปริมาณเถ้าลอยไม่ส่งผลกระทบต่อค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสม เนื่องจากเถ้าลอยที่ไม่ปรับปรุงผิวไม่เกิดพันธะทางเคมีกับโมเลกุลของยางผสม แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนแล้ว ค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่มีเถ้าลอย เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงแรงสูง (Rigidity) และสารคู่ควบไซเลน ทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของยางผสมกับเถ้าลอย ค่ามอดูลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน เนื่องจากเถ้าลอยที่ทำการปรับปรุงผิวมีปริมาณการเชื่อมโยงพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 5 หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน ค่ามอดูลัสแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารวัลคาไนซ์ (Curatives) ที่เหลืออยู่ทำให้เกิดปริมาณพันธะข้ามของยางผสมเพิ่มขึ้นหลังการอบสุก (Sombatsompop และ Kumnuantip, 2003) นอกจากนี้ยังพบว่าผลของปริมาณสารคู่ควบที่มีต่อค่ามอดูลัสแรงดึงของวัสดุหลังการบ่มเร่งมีความชัดเจนกว่าก่อนการบ่มเร่ง ทั้งนี้เนื่องจากในสารคู่ควบไซเลน Si69 มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ (Sulfur donor) (Berlekamp และ

คณะ 2003) ที่ช่วยในปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะข้าม อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีเถ้าลอยที่มีต่อปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้าม ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 แสดงใน Figure 5 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซิลิกาที่มีเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของพันธะข้ามของยางผสมมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากอนุภาคเถ้าลอยเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงพันธะระหว่างยางผสมกับซัลเฟอร์ ปริมาณความหนาแน่นพันธะข้ามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน อาจเนื่องจากการเชื่อมโยงพันธะระหว่างยางผสมกับเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลนเป็นการสร้างพันธะเคมีอย่างหนึ่ง ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับวิธีการหาปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามที่ใช้ในบทความนี้ (ใช้วิธี swelling) ที่ไม่สามารถแยกหรือแตกพันธะของยางผสมออกจากกันโดยซัลเฟอร์และยางผสมกับเถ้าลอยออกจากสารคู่ควบไซเลนได้ หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม พบว่า ปริมาณความหนาแน่น

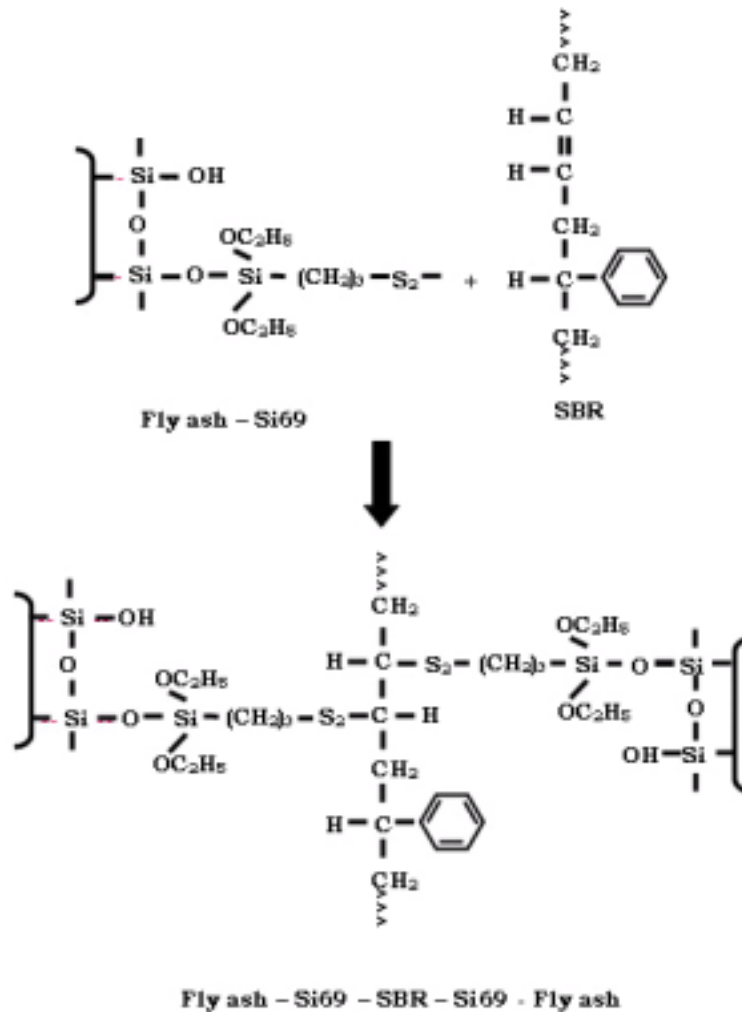


Figure 3. A chemical reaction of fly ash and SBR via Si69

พันธะข้ามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงพันธะข้ามของยางผสมเพิ่มมากขึ้นหลังการบ่มแรงด้วยความร้อน (Post curing)

ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อความต้านแรงดึงก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารควบไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 6 จากผลการทดลองพบว่าก่อนการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารควบไซเลน ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอย เนื่องจากเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวไม่เกิดการยึดเกาะกับเฟสของยางผสม แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคจากภาพ SEM

ใน Figure 7 (a) แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารควบไซเลนแล้ว พบว่าเมื่อเติมซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่ปริมาณ 10-20 phr ทำให้ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยสามารถยึดเกาะกับเฟสของยางผสมได้ดีขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงใน Figure 7 (b) แต่เมื่อเติมซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณ 30-50 phr ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเนื้อของยางผสมซึ่งเป็นเมทริกซ์เฟสลดลงด้วยปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นของเถ้าลอย ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว เนื่องจากการปรับปรุงผิวเถ้าลอยทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟสของ

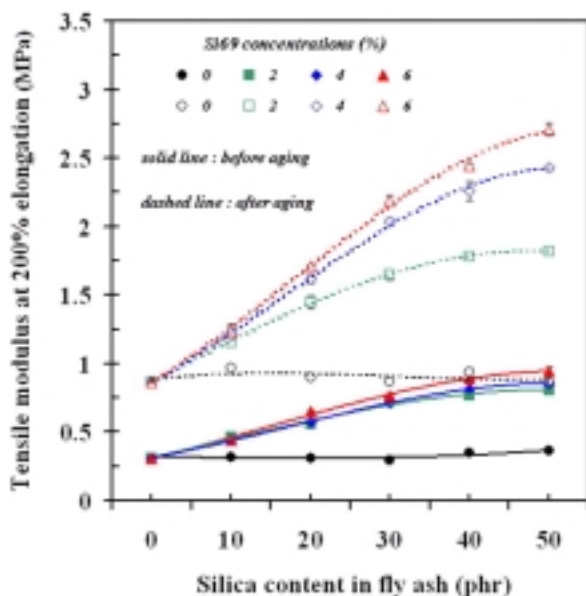


Figure 4. Influence of silica content in fly ash on tensile modulus at 200% elongation at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

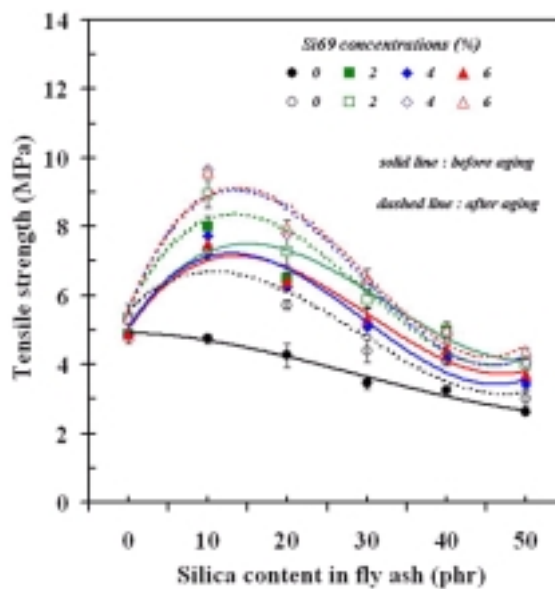


Figure 6. Influence of silica content in fly ash on tensile strength at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

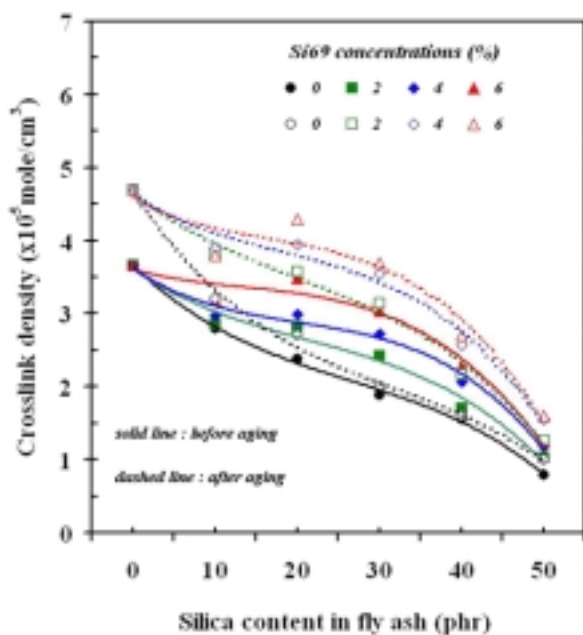
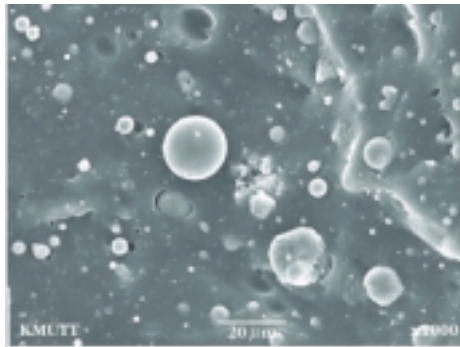


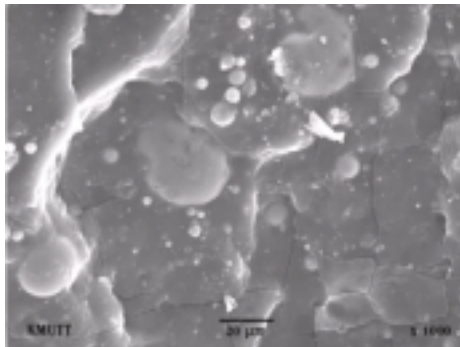
Figure 5. Effect of silica content in fly ash on crosslink density at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

เถ้าลอยกับยางผสมได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค Figure 7 (b) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงผิวทำให้ช่องว่างระหว่างเฟสของเถ้าลอยกับยางผสมลดลงและยังช่วยทำให้เถ้าลอยมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น (Herrera-Franco และ Valadez-Gonzalez, 2005) เนื่องจากสารควบปไซเลนเข้าไปเกาะกับหมู่ฟังก์ชัน OH บนผิวของเถ้าลอย จึงช่วยลดการจับตัวกันเองของเถ้าลอย แต่เมื่อเติมสารควบปไซเลนในปริมาณสูงขึ้นไป 4-6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเถ้าลอย ความต้านแรงดึงกลับมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารควบปไซเลนที่มีปริมาณสูงเกิดการจับตัวกันเองมากกว่าที่จะไปยึดเกาะกับโมเลกุลของยางผสมและเถ้าลอย (Thongsang และ Sombatsompop, 2006) และทำให้ความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์กับเถ้าลอยลดลง หลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนพบว่าความต้านแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นหลังการบ่มแรงตามที่ได้อธิบายมาแล้ว

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน



(a)



(b)

Figure 7. SEM fracture surfaces of silica in fly ash for NR/SBR blend
(a) without silane coupling agent
(b) with Si69 2%wt silane coupling agent

50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่คววไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 8 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดของยางผสมมีแนวโน้มลดลงด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายในส่วนของความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยึดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และลดลงตามปริมาณสารคู่คววไซเลน อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองของ Si69 ซึ่งเกิดการก่อตัวเป็นชั้นของโมเลกุลพอลิไซลอกเซนบนผิวของเถ้าลอย (Sae-oui และคณะ, 2004) ทำหน้าที่คล้ายกับเป็นพลาสติกไซเซอร์ระหว่างยางผสมกับเถ้าลอย (Herrera-Franco และ Valadez-Gonzalez, 2004) หลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พบว่า เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นหลังการบ่มเร่งตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

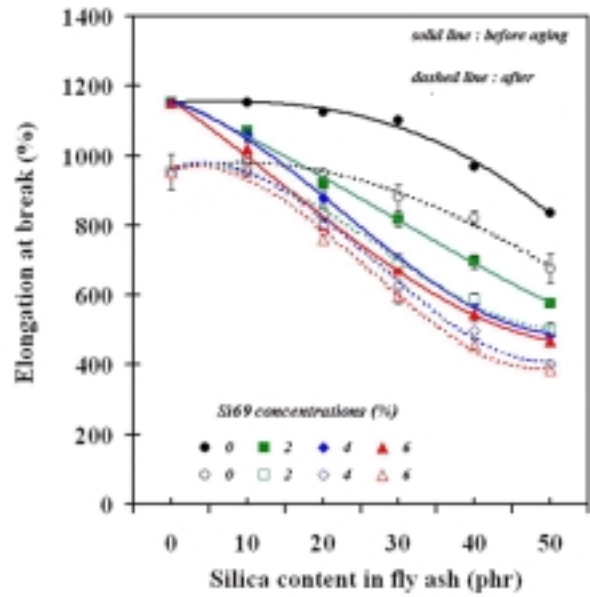


Figure 8. Influence of silica content in fly ash on elongation at break at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

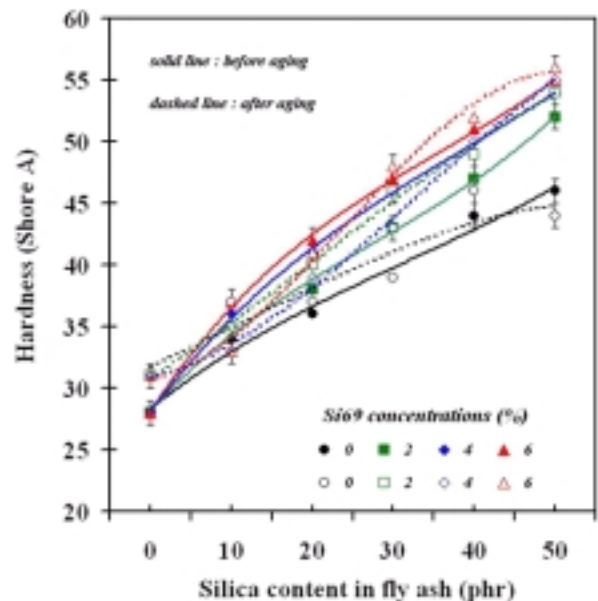


Figure 9. Effect of silica content in fly ash on hardness at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

ผลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อความแข็งก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม

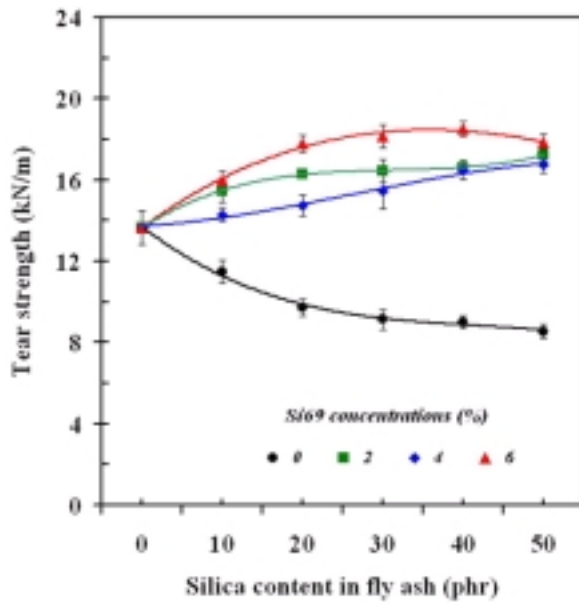


Figure 10. Influence of silica content in fly ash on tear strength at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

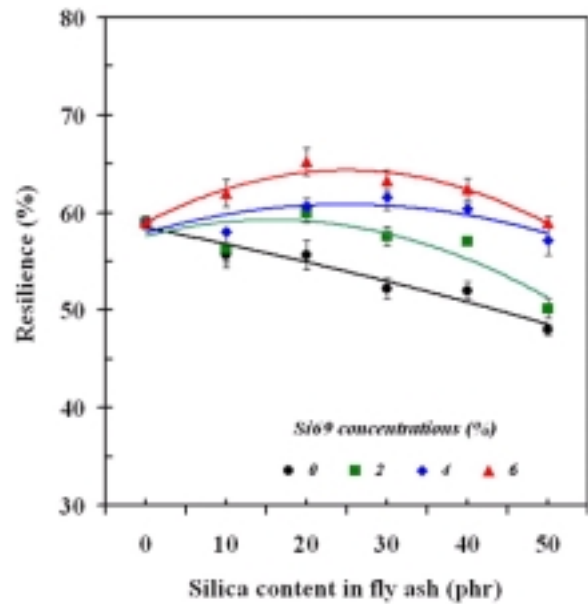


Figure 12. Influence of silica content in fly ash on resilience at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

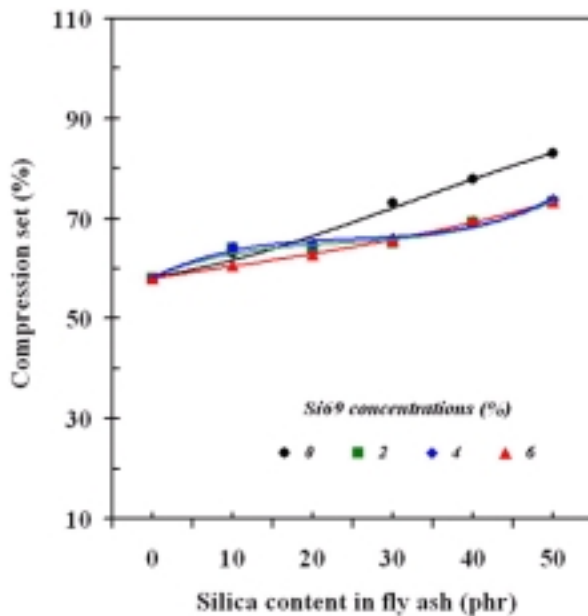


Figure 11. Effect of silica content in fly ash on compression set at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

ระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 9 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่ามอดูลัสแรงดึงที่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารคู่ควบไซเลน ซึ่งสอดคล้องกับค่ามอดูลัสแรงดึงและปริมาณพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน พบว่าความแข็งแรงโดยรวมของยางผสมมีค่าไม่แตกต่างกับความแข็งแรงก่อนการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในเถ้าลอยที่มีต่อความต้านแรงฉีกขาดก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 10 จากผลการทดลองพบว่าก่อนการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารคู่ควบไซเลน ความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเถ้าลอย เนื่องจากเถ้าลอยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวไม่เกิดการยึด

เกาะกับเฟสของยางผสม แต่หลังจากที่ปรับปรุงผิวแล้ว โดยสารค้ำเคลือบไซเลนแล้ว ความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อย เนื่องจากแก้วล้อยสามารถยึดเกาะกับเฟสของยางผสมได้ดีขึ้น ความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแก้วล้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารค้ำเคลือบไซเลน เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามที่เพิ่มขึ้นและยางผสมกับแก้วล้อยมีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารค้ำเคลือบไซเลน Si69 ดังแสดงใน Figure 11 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกลับคืนตัวของยางผสมที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณที่ลดลงของเนื้อยางผสมซึ่งเป็นเฟสที่มีสมบัติความเป็นอีลาสติก เปอร์เซ็นต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง (สมบัติการคืนตัวกลับดีขึ้น) เมื่อเทียบกับแก้วล้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกลับคืนตัวของยางผสมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางผสมกับแก้วล้อยมีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การกระดอนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารค้ำเคลือบไซเลน Si69 แสดงใน Figure 12 จากผลการทดลองพบว่าก่อนการปรับปรุงผิวแก้วล้อยด้วยสารค้ำเคลือบไซเลน เปอร์เซ็นต์การกระดอนมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแก้วล้อย หลังจากปรับปรุงผิวแก้วล้อยด้วยสารค้ำเคลือบไซเลนแล้ว พบว่าเมื่อเติมซิลิกาที่มีในแก้วล้อยที่ปริมาณ 10-20 phr ทำให้เปอร์เซ็นต์การกระดอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแก้วล้อยสามารถยึดเกาะกับเฟสของยางผสมได้ดีขึ้น แต่เมื่อเติมซิลิกาที่มีในแก้วล้อยเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณ 30-50 phr เปอร์เซ็นต์การกระดอนมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณที่ลดลงของเนื้อยางผสมซึ่งเป็นเฟสที่มีสมบัติความเป็นอีลาสติกสูง

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยที่มีต่อการสูญเสียเนื้อวัสดุจากการขัดถูชิ้นงานทดสอบของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่สัดส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงผิวด้วยสาร

ค้ำเคลือบไซเลน Si69 ในปริมาณต่างๆ แสดงใน Table 3 จากผลการทดลองพบว่าการสูญเสียเนื้อวัสดุของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการสูญเสียเนื้อวัสดุของยางผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับแก้วล้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว และลดลงตามปริมาณสารค้ำเคลือบไซเลน ทั้งนี้เนื่องจากสารค้ำเคลือบไซเลนช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเฟสของยางผสมกับแก้วล้อยดีขึ้น

การเปรียบเทียบสมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่ปริมาณสัดส่วน 50:50 ที่เติมด้วยสารเติมแต่งซิลิกาที่มีในแก้วล้อย และซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณ 20 และ 30 phr และปรับปรุงผิวด้วยสารค้ำเคลือบไซเลน Si69 ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก แสดงใน Table 4 ผลการทดลองพบว่ายางผสมที่มีการเติมซิลิกาจากแก้วล้อยใช้เวลาในการคงรูปน้อยกว่า และมีสมบัติเชิงกลด้านการต้านการยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัด ความต้านแรงฉีกขาด เปอร์เซ็นต์การกระดอน และการต้านทานต่อการขัดถูที่ดีกว่ายางผสมที่มีการเติมซิลิกาเกรดการค้า ในขณะที่สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับยางผสมที่เติมซิลิกาเกรดการค้า ส่วนสมบัติด้านความแข็งของยางผสมที่เติมสารเติมแต่งทั้งสองชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาที่ปริมาณซิลิกา 20 phr

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในแก้วล้อย และปรับปรุงผิวแก้วล้อยด้วยสารค้ำเคลือบไซเลนปริมาณความเข้มข้นต่างๆ สรุปผลได้ดังนี้

1. สัดส่วนของยางธรรมชาติ 50 ส่วน ในยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ 100 ส่วน ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่เหมาะสมที่สุด
2. สมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในแก้วล้อยเป็นสารเติมแต่ง ก่อนการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาที่มีในแก้วล้อยเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มลดลง ส่วนสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็ง ความ

Table 3. Effect of silica content in fly ash on volume loss at various Si69 concentrations for 50:50 NR/SBR blend

Silane coupling agent content (%)	Volume loss (mm ³) of 50 : 50 NR/SBR blend adding silica content in fly ash (phr)						Remark
	0	10	20	30	40	50	
0	N/A	197±4	201±5	178±4	207±5	241±4	
2	N/A	144±1	115±2	123±2	131±2	123±1	N/A
4	N/A	132±2	127±1	114±2	125±2	125±4	(Not Applicable)
6	N/A	113±4	116±4	115±2	124±2	123±2	

Table 4. Comparison of the properties of 50:50 NR/SBR blend filled with fly ash and commercial silica treated with 2% Si69

Properties	Silica content at 20 phr		Silica content at 30 phr	
	Fly ash silica	Commercial	Fly ash	Commercial silica
Cure time (min)	16	21	14	19
Tensile Modulus at 200% (x10 ⁵ Pa)	6±1	11±1	7±1	12±1
Tensile strength (MPa)	7±1	11±1	6±1	14±1
Elongation at break (%)	920±16	1084±20	819±22	1124±22
Tear strength (kN/m)	16±0	15±1	16±1	18±1
Hardness (Shore A)	38±1	38±1	43±1	43±1
Compression set (%)	64±1	71±0	65±1	76±1
Resilience (%)	60±1	37±0	58±1	31±0
Abrasion (mm ³)	115±2	126±2	123±2	111±1

ด้านแรงฉีกขาด เปอร์เซนต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาด การต้านทานต่อการขาดดู เปอร์เซนต์การกระดอน และความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณซิลิกาในเถ้าลอย 20 phr เมื่อปริมาณสารคู่ควบไซเลนเพิ่มขึ้น เวลาในการคงรูปของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็ง ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด การต้านทานต่อการขาดและเปอร์เซนต์การกระดอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง ส่วนเปอร์เซนต์การยุบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

3. สมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมซิลิกาที่มีในเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่ง หลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน พบว่าสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัส

แรงดึง ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซนต์การยืดตัวมีแนวโน้มลดลง และความแข็งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

4. ปริมาณซิลิกาจากเถ้าลอยที่ปริมาณไม่เกิน 20 phr และผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 ที่ 2% โดยน้ำหนักเถ้าลอย สามารถทำให้สมบัติโดยรวมของยางผสมมีประสิทธิภาพเทียบเท่ายางผสมที่ใช้ซิลิกาเกรดการค้าเป็นสารเติมแต่ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยตามสัญญาเลขที่ RDG 4750027

เอกสารอ้างอิง

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย และวราภรณ์ คุณาวนากิจ. 2542. คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของถั่วลย. ว. กฟผ. 8(4): 13-23.

ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2546. http://www.bot.or.th/BOTHomepage/DataBank/Real_Sector/agriculture/6-13-2002-Th-i/rubber_2001.pdf. ข้อมูล ณ วันที่ 22 สิงหาคม 2549.

มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. รางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่น ปี 2545.

หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2545. รายงานการศึกษาระดับสมบูรณั โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาผลิตภัณฑ์ยาง). สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. หน้า 29.

เอกชัย วิมลมาลา ธีระศักดิ์ หมากผิน และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. 2549. การศึกษาวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางเอสบีอาร์ที่มีถั่วลยเป็นสารเติมแต่งโดยใช้สารคู่ควบไซเลนชนิด Si69 ใช้ปรับปรุงผิวถั่วลย. ว. วิจัยและพัฒนา มจร. 2(3): 353-373.

Berlekamp, U.H., Mix, A., Neumann, B., Stammler, H.-G. and Jutzi, P. 2003. 2-(Dimethylphosphino-methyl)- and 2-(methylthiomethyl)phenyl silicon compounds: higher coordination with soft donors. *J. Organomet. Chem.* 667(1-2): 167-175.

Boochathum, P. and Chiewnawin, S. 2001. Vulcanization of cis- and trans-polyisoprene and their blends: crystallization characteristics and properties. *Eur. Polym. J.* 37(3): 429-434.

Chuayjuljit, S., Eiumnoh, S. and Potiyaraj, P. 2001. Using silica from rice husk as a reinforcing filler in natural rubber. *J. Sci. Res. Chula. Univ.* 26(2): 127-138.

Findik, F., Yilmaz, R. and Koksall, T. 2004. Investigation of mechanical and physical properties of several industrial rubbers. *Mater. Design.* 25(4): 269-276.

Herrera-Franco, P.J. and Valadez-Gonzalez, A. 2004. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.* 35(3): 339-345.

Herrera-Franco, P.J. and Valadez-Gonzalez, A. 2005. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Compos. Part B: Eng.* 36(8): 597-608.

Sae-oui, P., Sirisinha, C., Thepsuwan, U. and Hatthapanit, K. 2004. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in a conventional vulcanization system. *Polym. Test.* 23(8): 871-879.

Sombatsompop, N. 1999. Practical concern regarding the use of the Mooney-Rilvin equation to assess degree of crosslinking of swollen rubber vulcanisates. *Polym. Polym. Compos.* 7(1): 41-44.

Sombatsompop, N. and Kumnuantip, C. 2003. Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties of Tire-Tread Reclaimed Rubber/NR Compounds - *J. Appl. Polym. Sci.* 87(10): 1723-1731.

Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T. and Wimolmala, E. 2004. Fly ash and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene-butadiene rubber compounds. *J. Appl. Polym. Sci.* 93(5): 2119-2130.

Sombatsompop, N., Kantala, C. and Wimolmala, E. 2006. Wood sawdust fibres as a secondary filler in carbon black filled NR vulcanizates. *Polym. Polym. Compos.* 14(4): 331-348.

Thongsang, S. and Sombatsompop, N. 2006. Effect of NaOH and Si69 treatments on the properties of fly ash filled NR composites. *Polym. Compos.* 27(1): 30-40.

Yin, D., Zhang, Y., Peng, Z. and Zhang, Y. 2003. Effect of fillers and additives on the properties of SBR vulcanizates. *J. Appl. Polym. Sci.* 88(3): 775-782.