

สมบัติยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติ กับยางเอสบีอาร์เสริมแรงโดยผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ

Properties of Cellular NR/SBR Vulcanizates with Fly Ash, Silica and Carbon Black Reinforcements

กฤษฎา คงนวล ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ เอกชัย วิมลมาลา*
กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จ.กรุงเทพมหานคร 10140

โทร 02-470-8647 โทรสาร 02-470-8647 *อีเมลล์ ekachai.wim@kmutt.ac.th

Kritsara Khongnual, Narongrit Sombatsompop, and Ekachai Wimolmala*
Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, School of Energy, Environment and Materials
King Mongkut's University of Technology Thonburi, (KMUTT), Bangkok, 10140, Thailand
Tel: 02-470-8647, Fax: 02-470-8647, *E-mail: ekachai.wim@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของประเภทและปริมาณของสารทำให้เกิดฟองทางเคมีในยางผสมที่เป็นโพรระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่อัตราส่วนยางผสมเท่ากัน (1:1) ที่มีผลต่อสมบัติการสุกตัว ทางกล และทางโครงสร้างจุลภาค โดยใช้สารทำให้เกิดฟอง 2 ชนิด คือ ออกซีบิสเบนซีนซัลโฟนิลไฮไดรไรด์ (Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide; OBSH) และเอโซไดคาร์บอนาไมด์ (Azo dicarbonamide; ADC) ที่ปริมาณ 0-10 phr สารเติมแต่งที่ใช้ คือ ผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่ปริมาณสัดส่วนคงที่ 40 phr โดยที่ผงเถ้าลอยและผงซิลิกา ทำการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจน ผลการทดลองพบว่าเวลาในการสุกตัว ความหนาแน่น สมบัติเชิงกลของยางผสมลดลงตามปริมาณของสารทำให้เกิดฟอง โดยที่ OBSH มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารทำให้เกิดฟอง ADC ยางผสมที่เติมผงเขม่าดำมีขนาดของเซลล์ฟองขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับยางผสมที่เติมผงซิลิกา และผงเถ้าลอย ส่วนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมไม่มีผลต่อสมบัติความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด แต่สมบัติความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกขาดลดลง เมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วยรังสียูวี

Abstract

This article studied the effect of type and content of chemical blowing agents in cellular rubber blend of natural rubber (NR) and styrene-butadiene rubber (SBR) at a fixed blending ratio of 1:1 on cure characteristics, and mechanical and morphological properties. The blowing agents used were Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide (OBSH) and Azo dicarbonamide (ADC), the dosages varying from 0 to 10 phr. The fillers used in this work were fly ash particles, precipitated silica, carbon black at a fixed content of 40 phr, the fly ash and silica particles being silane-treated. The results suggested that the cure time, density and mechanical properties of the NR/SBR blend decreased with increasing blowing agent content. The OBSH was more effective than the ADC. The NR/SBR blends with carbon black gave rubber foams with smaller cell size and better cell dispersion when comparing with those with silica and fly ash particles. The thermal aging hardly affected the tensile and tear strength while the UV ageing worsened the tensile and tear properties of the NR/SBR blends.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบยางซีลปะเก็นที่ทนต่อความร้อน [1] ที่มีการใช้สารเติมแต่งทั่วไป เช่น ผงเขม่าดำหรือผงซิลิกา และงานวิจัยโครงการวิจัยเรื่อง "การพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยาง

เอสปีอาร์ที่มีถั่วลอมเป็นสารเติมแต่ง” [2, 3] ได้มีการนำถั่วลอมที่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางผสม ซึ่งในผงถั่วลอมมีองค์ประกอบของซิลิกาอยู่ถึงประมาณ 40% ผลการวิจัยพบว่า เมื่อนำถั่วลอมที่ผ่านการปรับปรุงผิวเติมในยางผสม NR/SBR ทำให้เวลาในการคงรูปยางลดลงและสมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความแข็ง ความต้านแรงฉีกขาด เปอร์เซนต์การยวบตัวถาวรเมื่อได้รับแรงอัดเพิ่มขึ้น และเมื่อปมเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง ความต้านแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นเปอร์เซนต์การยวบตัวที่ลดลงและสมบัติเด่นของยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์เป็นที่ทราบกันดี [4] ทำให้มีแนวความคิดในการพัฒนาต่อยอด การนำวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ ศึกษาในรูปแบบของยางเซลล์ลูลาร์ ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นหรือยางกันกระแทก ที่มีความสามารถในการรับแรงเชิงกลและความยืดหยุ่นที่ดี ในขณะที่เดียวกันก็มีความสามารถในการต้านต่อการขูดถูเนื่องจากการเสียดสีได้ดีด้วย

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารทำให้เกิดฟอง ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ในรูปแบบยางเซลล์ลูลาร์ ที่มีต่อสมบัติก่อนและหลังปมเร่งสภาวะด้วยความร้อน และรังสียูวี ที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ดังนี้ ผงถั่วลอม ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ใช้สารเคมี ดังแสดงใน Table 1 ดังนี้ ยางธรรมชาติเกรด STR20 จากบริษัท ฮ่วยชว่น จำกัด ยางเอสปีอาร์ เกรด SBR 1712 จาก บริษัท บีเอสที อีลาสโตเมอร์ส จำกัด ผงถั่วลอมขนาดอนุภาคไม่เกิน 125 μm จากถ่านหินลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ผงซิลิกาแบบตกผลึก เกรด Tokusil 233 ขนาดอนุภาค ประมาณ 50-100 μm จากบริษัท โทกุยามา สยามซิลิกา จำกัด ผงเขม่าดำเกรด HAF N330 ขนาดอนุภาคประมาณ 32 μm จากบริษัท Siam united rubber จำกัด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารทำให้เกิดฟองที่มีลักษณะเป็นผง 2 ชนิด ดังนี้ Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide; OBSH อุนหนุมมีการสลายตัวที่ 160–170 $^{\circ}\text{C}$ ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ที เอ็ม เค ซูล์โปรดักชั่น จำกัด และชนิด Azodicarbonamide; ADC เกรด Supercell-AZ07 อุนหนุมมีการสลายตัว 160 $^{\circ}\text{C}$ จากห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี

2.1 การผสมยางผสมกับสารเติมแต่ง

การเตรียมยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่ปริมาณ 50:50 กับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยที่ผงถั่วลอม (ใช้อัตราส่วนที่คิดจากปริมาณซิลิกาที่มีในถั่วลอม 40% โดยไม่ได้แยกซิลิกาออกจากถั่วลอม) ผงซิลิกาเกรดการค้า หรือผงเขม่าดำ ที่สัดส่วนเท่ากันที่ 40 phr ซึ่งผงถั่วลอมและผงซิลิกาได้ทำการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide) (Couplink 89C) ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนัก [2] ใช้สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) 2 ชนิด ดังนี้ OBSH และ ADC ที่สัดส่วนตั้งแต่ 2 4 6 8 และ 10 phr ทำการผสมโดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) ตามส่วนประกอบของสารประกอบยาง ตามลำดับที่แสดงใน Table 1 โดยใช้เวลาในการผสม

สารประกอบยางเท่ากันที่ 40 นาที สภาวะการผสมเหมือนกันทุกสูตร โดยจะทำการเติมสารทำให้เกิดฟองและเติมกำมะถันใน 10 และ 5 นาที สุดท้าย ตามลำดับ

Table 1 Formulation of NR/SBR blend compounds

Ingredients	Content (phr)
1. NR:SBR (1:1)	100
2. Zinc Oxide	5.0
3. Stearic acid	3.0
4. Mercaptobenzothiazole (MBT)	1.0
5. Antioxidant BHT	1.0
6. Filler (Silica from fly ash, Silica or Carbon black)	40
7. Blowing agent (OBSH or ADC)	2 4 6 8 and 10
8. Sulfur	1.5

2.2 การหาเวลาคงรูปยาง การขึ้นรูปและการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำสารประกอบยางผสม NR/SBR ที่ได้จากเครื่องผสมทดสอบหาเวลาในการคงรูปที่ 90% (t_{c90}) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer; ODR รุ่น GT 70-70-S2 บริษัท GOTTECH Testing Machine จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}\text{C}$ นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ ขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด อุนหนุมที่ใช้ในการขึ้นรูป 160 $^{\circ}\text{C}$ ใช้แรงดันโมลด์ที่ 170 กก./ตร.ซม. และเตรียมชิ้นรูปชิ้นงานทดสอบการต้านแรงดึงด้วยแม่พิมพ์ตัดเป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die C

2.3 การทดสอบสมบัติของยางผสม

- การทดสอบสมบัติความต้านแรงดึงของยางผสมที่มีผงถั่วลอม ผงซิลิกาเกรดการค้า หรือผงเขม่าดำ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph AG-I ความเร็วในการดึงคงที่ 500 มม./นาที ตามมาตรฐาน ASTM D412-03 และทดสอบความต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624-00
- การทดสอบค่าความแข็งของแผ่นยางผสมที่คงรูป โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240-03 Shore A
- การปมเร่งสภาวะด้วยความร้อน โดยนำยางผสมไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D573-04 จากนั้นนำชิ้นงานออกไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกล
- การปมเร่งสภาวะด้วยเครื่อง Accelerated Weathering Tester; QUV ของยางผสมเป็นเวลา 96 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM G154-06 Cycle 3 โดยฉายรังสี UVB ที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมงสลับกับการควบแน่นไอน้ำที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เป็นเวลา 96 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานออกไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

- การตรวจสอบพื้นผิวหน้าตัด (Razor cut surface) และการกระจายของฟองในยางผสม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope – SEM) รุ่น JEOL-JSM-5800LV ที่ 15 kV Accelerating Voltage ตรวจสอบที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยตรวจสอบยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH หรือ ADC ปริมาณ 0 และ 6 phr

- การตรวจสอบความหนาแน่นของยางเซลล์ลูลาร์ NR/SBR ตามมาตรฐาน ASTM D792-68 ด้วยวิธี Archimedes water replacement technique

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

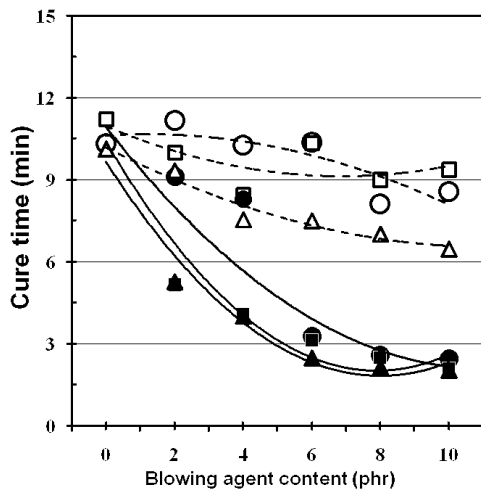


Figure 1 Effect of blowing agent content on cure time for NR/SBR rubber: Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, ▲▲-CB.

ผลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อเวลาการสุกตัวของยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงเถ้าลอย (FA-Si) ผงซิลิกาเกรดการค้า (Commercial precipitated Silica; P-Si) และผงเขม่าดำ (Carbon black; CB) แสดงใน Figure 1 ผลการทดลองพบว่า เมื่อเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ลงในยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงเถ้าลอย ผงซิลิกา ผงเขม่าดำ เวลาในการสุกตัวของยางผสมมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารทำให้เกิดฟองที่เพิ่มขึ้น โดยที่การเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ทำให้ยางผสมเวลาสุกตัวที่ต่ำกว่า เนื่องจากการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟอง ส่งผลให้เกิดฟองก๊าซในเนื้อยางซึ่งมีการเก็บความร้อนภายในฟองทำให้ช่วยเร่งให้ยางสุกเร็วขึ้น

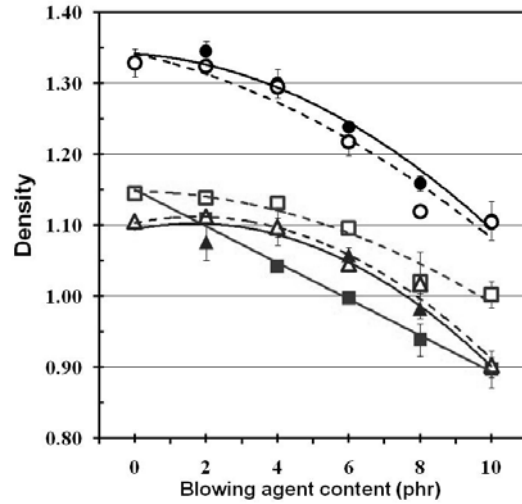


Figure 2 Effect of blowing agent content on density for NR/SBR rubber: Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, ▲▲-CB.

ผลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อค่าความหนาแน่นของยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงเถ้าลอย ผงซิลิกาและผงเขม่าดำ แสดงใน Figure 2 พบว่า ความหนาแน่นของยางเซลล์ลูลาร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองมากขึ้น เนื่องจาก ปริมาณรูพรุนที่เกิดจากการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟองและให้ก๊าซซึ่งแทรกตัวอยู่ในยางทำให้ยางมีการขยายตัวใหญ่ขึ้นขณะที่น้ำหนักของยางยังเท่าเดิมส่งผลให้ความหนาแน่นของยางผสมมีค่าลดลง ในยางผสมที่เติมซิลิกาความหนาแน่นเฉลี่ยของยางผสมในระบบที่เติม OBSH มีค่าน้อยกว่าระบบที่เติมชนิด ADC ชัดเจนซึ่งอาจเป็นผลจากการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟองและความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซทั้ง 2 ชนิดที่แตกต่างกัน [5] ซึ่งสารทำให้เกิดฟองชนิด ADC อาจเกิดการสลายตัวที่สมบูรณ์มากกว่าการใช้สาร OBSH โดยที่สาร ADC สลายตัวให้ก๊าซ 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่สาร OBSH สลายตัวให้ก๊าซไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว ซึ่งความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าไนโตรเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนาแน่นยางผสมที่เติมผงเถ้าลอยหรือผงเขม่าดำที่เติม OBSH และ ADC มีค่าใกล้เคียงกัน

การตรวจสอบยางผสม NR/SBR ที่เติมและไม่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH และ ADC ที่ปริมาณ 6 phr ที่มีสารเติมแต่งผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่ปริมาณ 40 phr ด้วยภาพถ่ายจากเทคนิค SEM แสดงใน Figure 3 พบว่า เมื่อเติมสารทำให้เกิดฟองในยางผสม NR/SBR ที่เติมซิลิกา หรือผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่ง มีลักษณะพื้นผิวชิ้นงานยางผสมที่เกิดจากการตัดที่มีความสม่ำเสมอและเรียบ

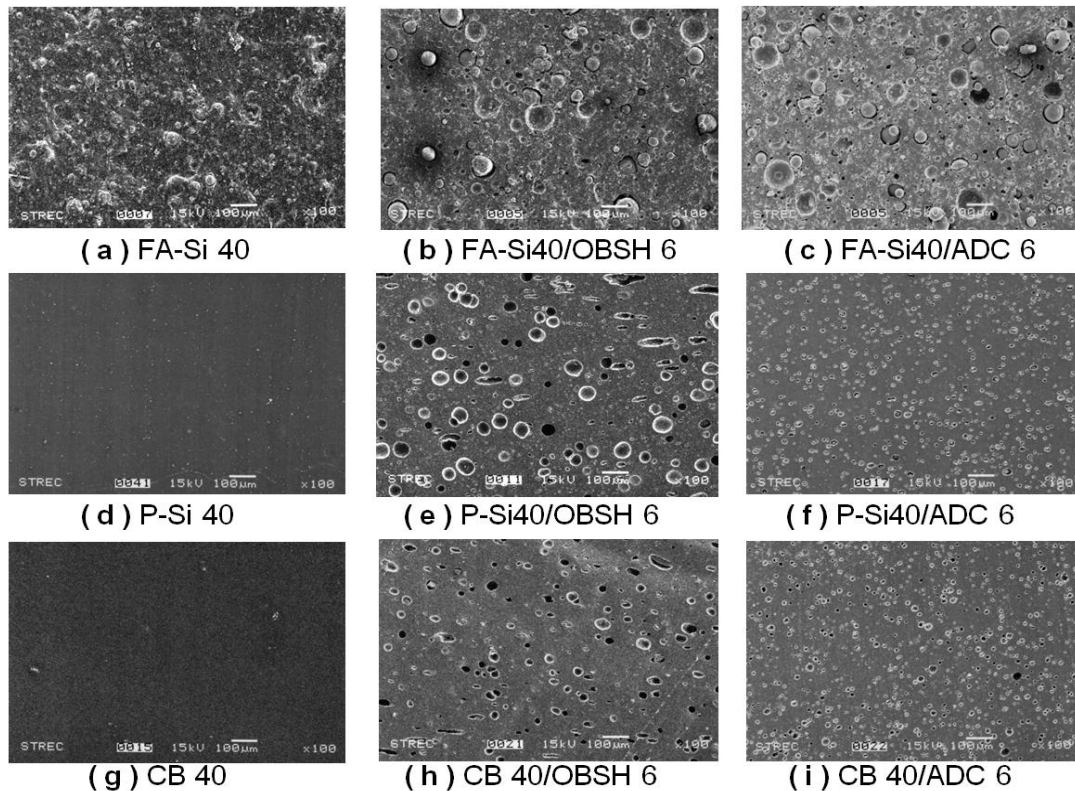


Figure 3 SEM micrographs at 100X of NR/SBR rubber of unfilled blowing agent and filled with OBSH or ADC blowing agent at 6 phr, (a - c): Silica from fly ash 40 phr, (d - f): Precipitated silica 40 phr, (g - i): Carbon black 40 phr

เนื่องจากอนุภาคของสารเติมแต่งมีขนาดอนุภาคเล็กและสามารถเข้ากับเนื้อยางได้ดี ขณะที่อนุภาคผงเถ้าลอยส่วนมากมีขนาดใหญ่เกิดผิวหน้าตัดที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคเถ้าลอยที่มีขนาดใหญ่ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 แล้ว ในขณะที่การบดผสมอาจเกิดการแตกย่อยของอนุภาคเถ้าลอยเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงอีก ซึ่งอนุภาคของเถ้าลอยขนาดเล็กที่แตกย่อยออกมาเป็น ส่วนที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน จึงทำให้มีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคยางกับสารเติมแต่ง (Rubber filler interaction) ที่ลดลง [6] นอกจากนี้ยังเกิดการรวมตัวกัน (Coalescence) ของฟองก๊าซรอบๆ ผิวอนุภาคของเถ้าลอยที่มีขนาดใหญ่เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพของฟองก๊าซจนเกิดเป็นช่องว่างรอบๆ อนุภาคผงเถ้าลอยชัดเจน แสดงใน Figure 4

ส่วนลักษณะฟองก๊าซที่เกิดจากสาร OBSH มีขนาดใหญ่กว่าและปริมาณฟองน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟองก๊าซที่เกิดจากสาร ADC ดังเหตุผลของการสลายตัวที่ได้กล่าวในตอนต้น ฟองก๊าซที่เกิดจาก ADC ในยางผสมที่เติมผงเขม่าดำกับยางผสมที่เติมผงซิลิกา พบว่ามีขนาดไม่แตกต่างกัน แต่ฟองก๊าซที่เกิดจาก OBSH ของยางผสมที่เติมผงซิลิกามีขนาดที่ใหญ่กว่าฟองก๊าซของ OBSH ที่เกิดในยางผสมที่เติมผงเขม่าดำ น่าจะมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ ประการแรก คือ การเกิดการรวมตัวของฟองก๊าซในยางผสมที่เติมผงซิลิกาเกิดขึ้นมากกว่า เนื่องจากผงซิลิกามีการเกิดเกาะกลุ่มกัน (Agglomeration) และอีกประการหนึ่งการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคยางกับสารเติมแต่งของผงซิลิกากับยาง

ผสมเกิดได้น้อยกว่าผงเขม่าดำ ทำให้การขยายตัวของฟองก๊าซเกิดได้มากกว่า

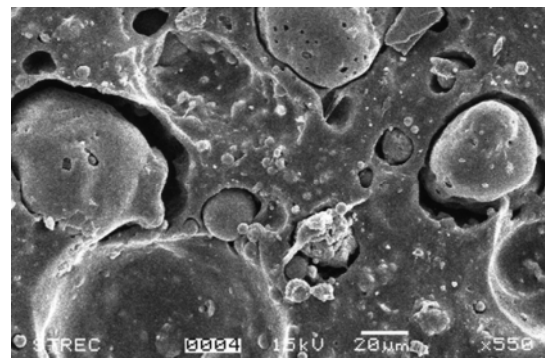


Figure 4 SEM micrographs at 550X of NR/SBR/FA with OBSH blowing agent at 6 phr displaying bubble coalescence around fly ash particle

ส่วนผลปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อสมบัติมอดูลัสแรงดึงที่การยืดตัว 200% ของยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงเถ้าลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ เมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อนและรังสียูวี แสดงใน Figure 5 พบว่าเมื่อเติมสารทำให้เกิดฟองในยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด

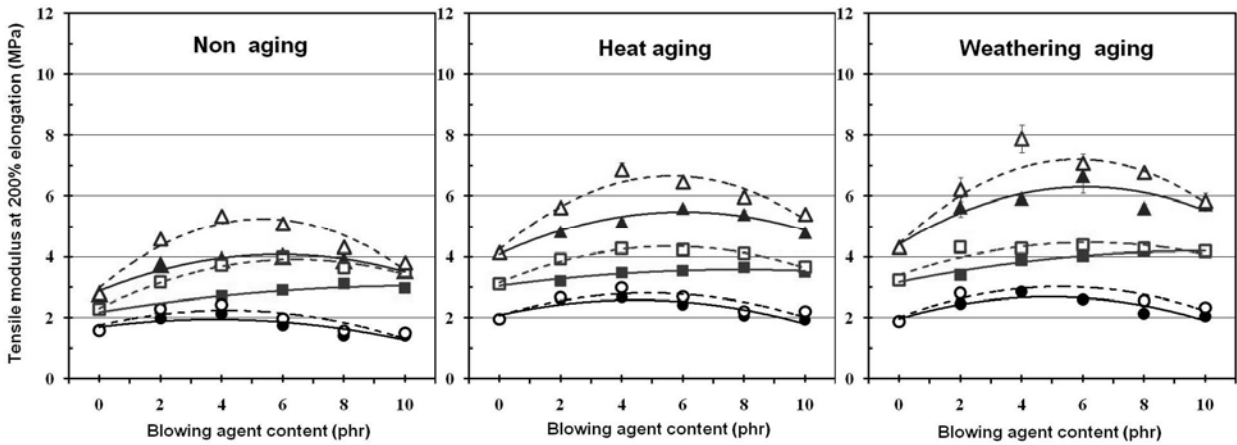


Figure 5 Effect of blowing agent content and aging conditions on tensile modulus at 200% elongation for NR/SBR rubber:
Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, △▲-CB

ค่ามอดูลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก สารทำให้เกิดฟองปริมาณดังกล่าว (6 phr) เกิดเซลล์ฟองในยางผสมในรูปแบบปิด ดังแสดงภาพถ่าย SEM ใน Figure 3 การอัดตัวของก๊าซในรูปฟองเมื่อมีแรงดึงทำให้ความดันของก๊าซสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงต้านหรือแรงดันภายในรูปฟองต้านแรงกระทำจากภายนอก ส่งผลทำให้ต้องใช้แรงจากภายนอกมากขึ้น [5] แต่เมื่อเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น ปริมาณของฟองมากขึ้นพื้นที่ในการรับแรงของฟองก๊าซลดลง และอาจเนื่องจากการทดสอบแรงดึงนี้ทำการวัดขนาดชิ้นงานทั้งหมดโดยไม่ได้หักลบเนื้อวัสดุที่หายไปจากการเกิดฟองทำให้ค่ามอดูลัสมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารทำให้เกิดฟอง OBSH และ ADC พบว่าสาร ADC ให้ค่ามอดูลัสแรงดึงที่สูงกว่าการเติม OBSH ในทุกอัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจาก การเกิดฟองก๊าซในยางผสมที่มีขนาดเล็กกว่าจึงมีเนื้อยางที่รับแรงได้มากกว่า และพบว่ายางผสมที่เติมผงเขม่าดำทำให้ค่ามอดูลัสสูงกว่าผงซิลิกา และผงถ่านลอย ตามลำดับ ส่วนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมค่ามอดูลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากยางผสมเกิดปฏิกิริยาหลังการอบสุก

(Post curing) ต่อไปได้อีก และการบ่มเร่งสภาวะของยางผสมด้วยเครื่อง QUV ค่ามอดูลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ายางผสมที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน เนื่องมาจากการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมนั้นมีการฉายรังสียูวี พร้อมทั้งให้ความร้อนเป็นการเร่งทำให้ยางผสมมีการเชื่อมสภาพที่เร็วขึ้น โดยการเชื่อมสภาพจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่แล้วเกิดการเชื่อมต่อเป็นพันธะเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดได้กับยางเอสปีอาร์มีกมีการเชื่อมสภาพแบบเกิดการแตกออกของพันธะเชื่อมขวางแบบพอลิซัลไฟดิก [7] เกิดเป็นพันธะที่สั้นลงส่งผลทำให้ยางผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ส่วนสมบัติความต้านแรงดึงของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารเติมแต่งผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่มีการเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ทำการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และรังสียูวี ดังแสดงใน Figure 6 พบว่า ยางผสม NR/SBR/ผงถ่านลอยความต้านแรงดึงของยางผสมมีค่าต่ำที่สุด เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองในยางผสมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เกิดเป็นช่องอากาศรอบๆอนุภาคผงถ่านลอย

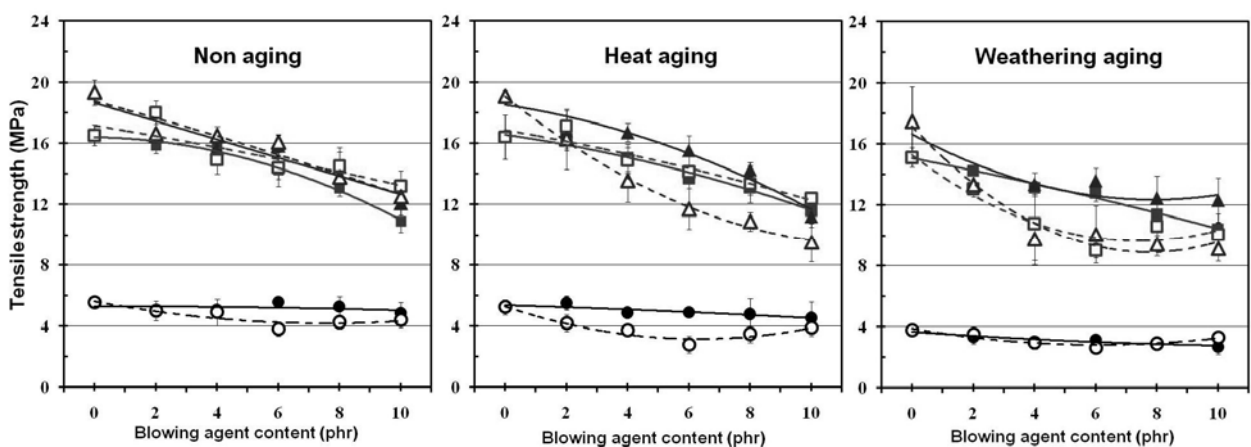


Figure 6 Effect of blowing agent content and aging conditions on tensile strength for NR/SBR rubber:
Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, △▲-CB

และเมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของฟองก๊าซรอบผิวแล้วลอยมากขึ้นด้วย ดังแสดงจากภาพถ่าย SEM ใน Figure 4 จึงทำให้การส่งถ่ายแรงที่มาจากเนื้อยางผสมไปยังเฟสของแล้วลอยเกิดได้ยาก ความต้านแรงดึงจึงมีค่าต่ำ ส่วนยางผสม NR/SBR/ผงซิลิกาเกรดการค้า และยางผสม NR/SBR/ผงเขม่าดำ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH หรือ ADC ที่ปริมาณต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณสารทำให้เกิดฟองที่คล้ายคลึงกัน เมื่อเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองลงในยางผสม NR/SBR เพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก ยางผสมมีฟองก๊าซแทรกแทนอยู่ในเนื้อยาง ทำให้ยางผสมมีพื้นที่ในการรับแรงลดลง

ส่วนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนยางผสมที่เติมผงแล้วลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ค่าความต้านแรงดึงโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจาก สารเคมีที่ใช้ในยางผสมที่หลงเหลืออยู่เกิดปฏิกิริยาหลังการอบสุก (Post curing) ต่อไปได้อีก แต่ยางผสมที่เติมสาร ADC กลับมีค่าความต้านแรงดึงลดลง เนื่องจาก การสลายตัวของ ADC เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นในระบบ [8] ซึ่งอาจจะไปเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพของยางผสมเพิ่มขึ้น และเมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยเครื่อง QUV ค่าความต้านแรงดึงของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกิดการเสื่อมสภาพของยางผสมในที่สภาวะที่รุนแรงกว่า โดยยางผสมที่เติมสาร ADC มีการลดลงมากกว่ายางผสมที่เติม OBSH

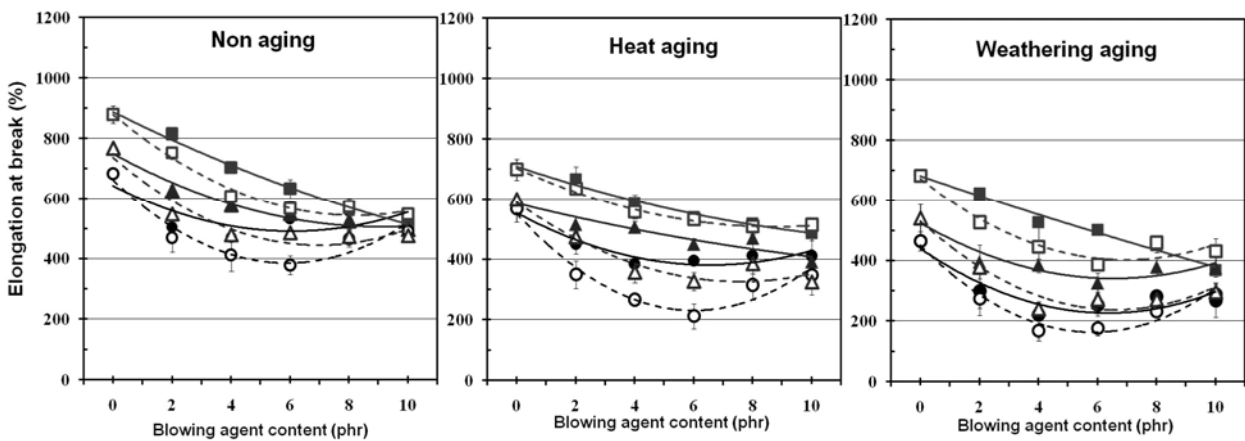


Figure 7 Effect of blowing agent content and aging conditions on elongation at brake for NR/SBR rubber:

Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, △▲-CB

ส่วนสมบัติการยึดตัวที่จุดขาดของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีสารเติมแต่งผงแล้วลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และรังสียูวี ดังแสดงใน Figure 7 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารทำให้เกิดฟองในยางผสม NR/SBR ค่าการยึดตัวที่จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกิดฟองเป็นการทำให้พื้นที่ในการรับแรงลดลง ส่งผลทำให้การดึงยึดมีค่าลดลงทั้งนี้ยางผสมที่เติมสารชนิด ADC การยึดตัวที่จุดขาดต่ำ

กว่ายางผสมที่เติมสาร OBSH เนื่องจาก ยางผสมสูตรที่เติมสาร ADC จะเกิดฟองก๊าซที่มีขนาดเล็กทำให้มีเฟสของเนื้อยางมากกว่าทำให้การดึงยึดลดลง ส่วนหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม ค่าการยึดตัวที่จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาหลังการอบสุก ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของพันธะเชื่อมขวางมากขึ้น และเกิดพันธะที่สั้นลง การบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV ทำให้ยางผสมมีการยึดตัวที่น้อยกว่าการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนและ

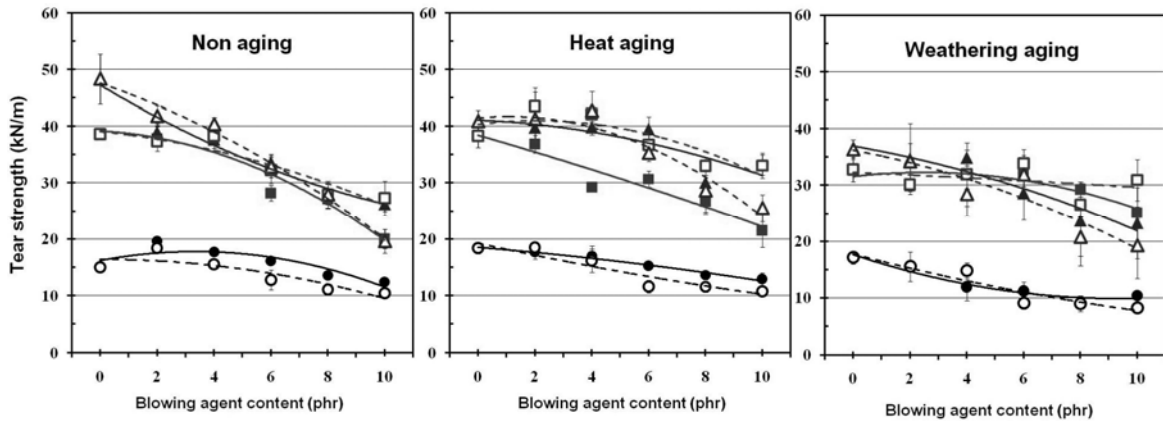


Figure 8 Effect of blowing agent content and aging conditions on tear strength for NR/SBR rubber:

Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, △▲-CB

ยางผสมมีความแข็งเปราะมากขึ้น เนื่องจาก การเกิดการเสื่อมสภาพของยางผสม สอดคล้องกับความต้านแรงดึงที่ลดลงหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยรังสียูวี

ส่วนความต้านแรงฉีกขาดของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีสารเติมแต่งผงถั่วลันเตา ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และรังสียูวี ดังแสดงใน Figure 8 พบว่า เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองในยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด ความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองมากขึ้น ส่วนหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม ค่าความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในยางผสมที่หลงเหลืออยู่เกิดปฏิกิริยาหลังการอบสุก (Post curing) ต่อไปได้อีก

เมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV ยางผสมมีค่าความต้านแรงฉีกขาดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความต้านแรงดึงที่ลดลงหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยเครื่อง QUV แสดงใน Figure 6

ส่วนสมบัติความแข็งของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีสารเติมแต่งผงถั่วลันเตา ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และรังสียูวี แสดงใน Figure 9 พบว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองทั้ง 2 ชนิด ในยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ค่าความแข็งของยางผสมมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยางผสมมีเฟสของฟองก๊าซ ซึ่งเฟสของฟองก๊าซทำใหยางผสมมีความแข็งลดลง โดยที่ยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟอง ADC มีค่าความแข็งที่มากกว่ายางผสมที่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH

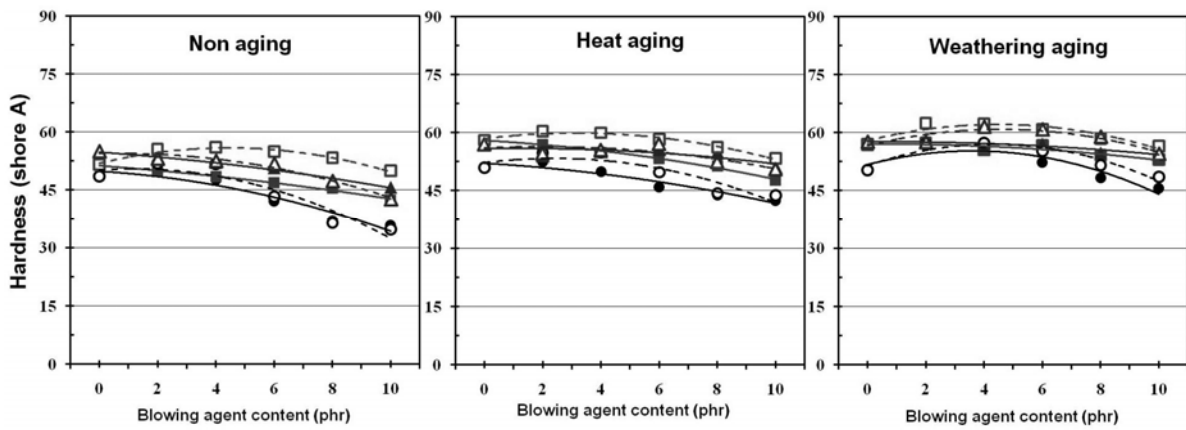


Figure 9 Effect of blowing agent content and aging conditions on hardness for NR/SBR rubber:

Open-dashed lines for ADC, Close-solid lines for OBSH, ○●-FA_Si, ■□-P_Si, △▲-CB

เนื่องจากมีเฟสของเนื้อยางมากกว่า ส่วนหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนและการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV ของยางผสม ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่ามอดูลัสแรงดึงที่เพิ่มขึ้น แสดงใน Figure 5

4. สรุปผลการทดลอง

การนำยางผสม NR/SBR ที่สัดส่วน 1:1 ที่มีสารเติมแต่งผงถั่วลันเตา ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH และ ADC ทำให้เวลาในการสุกตัวและความหนาแน่นของยางผสมมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารทำให้เกิดฟอง ส่วนสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ที่ปริมาณ 4-6 phr ให้สมบัติเชิงกลของยางผสมโดยรวม (ความต้านแรงดึง การยืดตัวที่จุดขาด) ที่เหมาะสมกว่า ยางผสมที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด ADC ที่ให้สมบัติเด่นเฉพาะทางด้านมอดูลัสแรงดึงที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่า ยางผสมที่เติมสารเติมแต่งผงเขม่าดำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่ายางผสมที่เติมผงซิลิกา และผงถั่วลันเตา ตามลำดับ

ส่วนการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน ไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสแรงดึง และความแข็งที่เพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วยเครื่อง QUV ยางผสมที่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH และ ADC มีสมบัติ

เชิงกลโดยรวมลดลง (ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด การยืดตัวที่จุดขาด) ยกเว้นมอดูลัสแรงดึงที่เพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ตามสัญญาโครงการเลขที่ RDG5050094

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Garlock Rubber Technologies, [online]. Available: <http://www.grtco.com/esr/index.htm> (accessed on November 2008).
- [2] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ เอกชัย วิมลมาลา และ ชีระศักดิ์ หมากผิน, 2549. "การพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่มีถั่วลันเตาเป็นสารเติมแต่ง" รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สกว.
- [3] Sombatsompop, N., Wimolmala, E., and Markpin, T., 2007. "Fly-Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers: Part II. Effects of Silica Content and Si69-Treatment in

NR/SBR Vulcanizates". Journal of Applied Polymer Science, Vol. 104, No. 5, pp. 3396-3405.

- [4] พรพรรณ นิธิอุทัย, 2540. ยาง:เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, หน้า 4-24.
- [5] พิสุทธิ์ เลิศกมลสิน, 2543. การศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างและสมบัติของยางโฟม. คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] Thongsang, S., and Sombatsompop, N., 2007. Dynamic Rebound Behavior of Silica/Natural Rubber Composites: Fly Ash Particles and Precipitated Silica Fillers. Journal of Macromolecular Science Part B: Physics, Vol. 46, No. 4, pp. 825-840.
- [7] Roberts, A.D., 1990. Natural Rubber Science and Technology, Oxford university press, New York, USA, pp. 570-576.
- [8] Gatcher, H., Muller, 1990. Plastic Additives Handbook ,3rd ed, Hanser, NewYork , USA, pp. 815-821.