



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสปीอาร์สำหรับ
ผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นและยางรองกันกระแทก: เสริมแรงโดย
ผงถั่วลอ่ย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกชัย วิมลมาลา และคณะ

มีนาคม 2552

600251092

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์สำหรับ
ผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นและยางรองกันกระแทก: เสริมแรงโดย
ผงถั่วลอ่ย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ



โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกชัย วิมลมาลา และคณะ

มีนาคม 2552

สัญญาเลขที่ RDG5050094

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์สำหรับ
ผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นและยางรองกันกระแทก: เสริมแรงโดย
ผงถั่วลอ่ย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ

คณะผู้วิจัย

- ผศ. เอกชัย วิมลมาลา
- ศ.ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
- นายกฤษฎา คงนวล

สังกัด

- ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา(Medium Projects on Rubber; MPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)



บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) ยางเซลล์ูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์สำหรับผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นและยางกันกระแทก: เสริมแรงโดยผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ

(ภาษาอังกฤษ) Cellular NR/SBR vulcanizates for gasket and cushion products: fly ash, silica and carbon black reinforcements

ชื่อหัวหน้าโครงการ

ศส. เอกชัย วิมลมาลา

กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF)

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

โทรศัพท์ / โทรสาร (02) 470-8647

E-mail ekachai.wim@kmutt.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย

ศ.ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ

กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF)

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

โทรศัพท์ (02) 470-8645 โทรสาร (02) 470-8647

E-mail narongrit.som@kmutt.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย

นายกฤษรา คงนวล

กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF)

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



งบประมาณทั้งโครงการ 350,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 19 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2552

ปัญหาที่ท้าวิจัยและความสำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ให้สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของปะเก็นยาง หรือยางกันกระแทก โดยเน้นด้านความสามารถในการรับแรงเชิงกล และความยืดหยุ่นที่ดี โดยศึกษาสมบัติของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่เติมสารเสริมแรงชนิดต่างๆ ดังนี้ ผงถั่วลลียง ผงซิลิกาเกรดการค้า หรือผงเขม่าดำ โดยที่ผงซิลิกาและผงเขม่าดำใช้ในการเปรียบเทียบกับผงถั่วลลียง และมีการศึกษาการเติมสารทำให้เกิดฟอง ในลักษณะรูปแบบของผลิตภัณฑ์ยางผสมแบบฟองน้ำ ซึ่งผลการวิจัยนี้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้ในโรงงานของการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ งานวิจัยนี้ เป็นการริเริ่มการใช้สารเติมแต่งผงถั่วลลียงในยางแบบฟองน้ำจากยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของการใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติให้ผลิตในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ ในรูปแบบของยางฟองน้ำ สำหรับผลิตภัณฑ์ปะเก็นยางหรือยางรองกันกระแทก ที่สามารถรับแรงเชิงกลและความยืดหยุ่นได้ดี
2. เพื่อศึกษาผลของสารเสริมแรงที่ใช้ในวัสดุผสมยางฟองน้ำระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์

ผลการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของประเภทและปริมาณของสารทำให้เกิดฟองทางเคมีในยางผสมที่เป็นโพลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ที่อัตราส่วนยางผสมเท่ากัน (1:1) ที่มีผลต่อสมบัติการดูดตัว ทางกล และทางโครงสร้างจุลภาค โดยใช้สารทำให้เกิดฟอง 2 ชนิด คือ ออกซีบิสเบนซีนซัลโฟนิลไฮไดรไซด์ (Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide; OBSH) และเอโซไดคาร์บอนาไมด์ (Azo dicarbonamide; ADC) ที่ปริมาณ 0-10 phr สารเติมแต่งที่ใช้ คือ ผงถั่วลลียง ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่ปริมาณสัดส่วนคงที่ 40 phr โดยที่ผงถั่วลลียงและผงซิลิกาทำการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ผลการทดลองพบว่า เวลาในการสุกตัว ความหนาแน่น สมบัติเชิงกลของยางผสมลดลงตามปริมาณของสารทำให้เกิดฟอง โดยที่ OBSH มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารทำให้เกิดฟอง ADC ยางผสมที่เติมผงเขม่าดำมีขนาดของเซลล์ฟองขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับยางผสมที่เติมผงซิลิกา และผงถั่วลลียง ส่วนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมไม่มีผลต่อสมบัติความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด แต่สมบัติดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วย

รังสียูวี และสูตรยางพองน้ำจากการวิจัยสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นปะเก็นยางในระดับโรงงานได้ โดยพบว่า การเติมผงเขม่าดำในยางผสมให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ แต่มีการพองตัวที่น้อยกว่าการเติมซิลิกาเกรดการค้ำในยางผสม ส่วนการเติมผงถั่วลอไซ์ในยางผสมทำให้ยางผสมมีราคาลดลง

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ โดยใช้ผงถั่วลอไซ์ ซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่ง สามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วน คือ (1) ยางผสมในรูปแบบยางเนื้อตัน และ (2) ยางผสมในรูปแบบยางพองน้ำ ดังนี้

1. ผลของการวิจัยในส่วนของยางผสมรูปแบบยางเนื้อตัน พบว่า

- ความหนืดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเติมแต่งผงถั่วลอไซ์ ผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำ
- การเติมผงถั่วลอไซ์ ผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำในยางผสม NR/SBR ไม่ส่งผลต่อเวลาในการสุกตัวของยางผสม
- การเติมผงถั่วลอไซ์ และผงซิลิกาเกรดการค้ำในยางผสม NR/SBR ที่ปริมาณ 30-40 phr ให้สมบัติเด่นด้านมอดูลัสที่การยืดตัว 200% การยืดตัวที่จุดขาดและความแข็งที่ดี และผงถั่วลอไซ์ให้สมบัติการต้านการขูดข่วนเมื่อได้รับแรงอัด และการกระดอนที่ดีกว่าผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำ
- การเติมผงเขม่าดำในยางผสม NR/SBR ที่ปริมาณ 40-60 phr ให้สมบัติเด่นด้านความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และการต้านต่อการขัดถูที่ดี
- การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมที่เติมสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น ยกเว้นการยืดตัวที่จุดขาดลดลง

2. ผลของการวิจัยในส่วนของยางผสมรูปแบบยางพองน้ำ พบว่า

- การเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ในยางผสมที่มีผงถั่วลอไซ์ ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ทำให้เวลาในการสุกตัวของยางผสมลดลง และการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารทำให้เกิดฟอง ADC
- ปริมาณของสารทำให้เกิดฟองทั้ง 2 ชนิด ที่ 4 - 6 phr ให้สมบัติความต้านแรงดึง การยืดตัวที่จุดขาด และความต้านการฉีกขาด ของยางพองน้ำ เพิ่มสูงขึ้น



- โครงสร้างจุลภาควางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำ มีเซลล์ฟองขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดีกว่าการเติมซิลิกาเกรดการค้ำและถั่วลลียง
- ความหนาแน่นจำเพาะของยางผสมที่เติมผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำมีความหนาแน่นจำเพาะต่ำกว่าการเติมผงถั่วลลียง
- ยางฟองน้ำจากยางผสมที่เติมผงถั่วลลียง ผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำ ก่อนและหลังการเร่งสภาวะด้วยความร้อน สมบัติความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด ไม่แตกต่างกัน ส่วนมอดูลัสที่การยืดตัว 200% และความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนหลังการเร่งสภาวะพบว่าสมบัติการยืดตัวที่จุดขาดลดลง
- การบ่มเร่งสภาวะด้วยรังสีγของยางฟองน้ำจากยางผสม ทำให้ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลง ส่วนมอดูลัสที่การยืดตัว 200% และความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น และยางผสมมีการยืดตัวลดลง
- สมบัติการคืนกลับของยางผสมเมื่อได้รับแรงอัด ลดลงตามปริมาณสารทำให้เกิดฟองที่เพิ่มขึ้น และยางผสมที่เติมผงถั่วลลียงมีการคืนกลับเมื่อได้รับแรงอัด ดีกว่ายางผสมที่เติมผงซิลิกาเกรดการค้ำหรือผงเขม่าดำ
- การนำสูตรยางผสม NR/SBR ที่สัดส่วนเท่ากัน ที่เติมผงถั่วลลียง ผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำ ปริมาณ 40 phr ที่มีสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ปริมาณ 4 phr ขึ้นรูปที่โรงงานความหนา 2 และ 10 มิลลิเมตร พบว่า สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปะเก็นยางฟองน้ำในระดับโรงงานได้ โดยที่ยางปะเก็นฟองน้ำที่เติมผงถั่วลลียง ผงซิลิกาเกรดการค้ำ และผงเขม่าดำ จากการวิจัยพบว่า สมบัติเชิงกลโดยรวมสูงกว่าปะเก็นยางฟองน้ำ/ยางกันกระแทกเกรดการค้ำ ที่ความหนาชิ้นงานเท่ากัน
- ยางปะเก็นฟองน้ำจากยางผสมที่เติมผงถั่วลลียง ที่ขึ้นรูปในโรงงานมีสมบัติการคืนกลับเมื่อได้รับแรงอัด และการกระดอนเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรรวิจัยเพิ่มเติม

- ควรมีการทดลองนำไปใช้เชิงพาณิชย์กับผลิตภัณฑ์เป้าหมายอื่นๆ อาทิเช่น ซิลิโคนแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งควรมีการตรวจสอบสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มเติม
- ควรศึกษาเพิ่มเติมขยายขอบเขตการใช้งานด้านการทนต่อน้ำมัน หรือทนต่อสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้น เช่น การผสมด้วยชนิดยางเอ็นบีอาร์ หรือการผสมด้วยยางอีพีดีเอ็ม เป็นต้น
- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมกับสารเติมแต่งการค้ำชนิดอื่นๆ เช่น ซิลิโคน (แร่ควอทซ์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก) หรือนาโนแคลเซียมคาร์บอเนต และเปรียบเทียบกับซิลิกาเกรดการค้ำ ผงถั่วลลียง และผง เขม่าดำ โดยเปรียบเทียบด้านสมบัติและราคา



ผลงานทางวิชาการที่ได้รับ

จากโครงการ “ยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์สำหรับผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นและยางกันกระแทก: เสริมแรงโดยผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ” สามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ จำนวน 2 บทความ คือ

- **ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่การประชุมระดับชาติ**

K. Khongnual, N. Sombatsompop and E. Wimolmala*, 2009, “Properties of Cellular NR/SBR Vulcanizates with Fly Ash, Silica and Carbon Black Reinforcements” – **6th Conference in Materials Processing Technology**, 6-7th January 2009, Ramada Plaza Menam Riverside Hotel, Bangkok, Thailand, pp.66-73

- **ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในบทความระดับนานาชาติ**

E. Wimolmala*, K. Khongnual and N. Sombatsompop, 2009, “Mechanical and Morphological Properties of Cellular NR/SBR Vulcanizates under Thermal and Weathering Ageing”, **Journal of Applied Polymer Science**, 114 (5): 2816-2827.

บทคัดย่อ

246708

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนายางผสมระหว่างยางธรรมชาติ (NR) และยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR) ศึกษาด้านพฤติกรรมการสึกตัวของยาง ความสามารถในการรับแรงทางเชิงกลและความยืดหยุ่นที่ดี โดยศึกษายางผสม NR/SBR ที่อัตราส่วนเท่ากัน (1:1) สารเติมแต่งที่ใช้คือ ผงถั่วลอซ ผงซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ ที่ปริมาณสัดส่วน 0-40 phr และผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วน 0-100 phr ที่มีต่อยางผสม NR/SBR โดยที่ผงถั่วลอซและผงซิลิกาเกรดการค้าทำการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษสมบัติของยางผสม 2 รูปแบบ คือ ยางผสมรูปแบบยางเนื้อตัน และยางผสมรูปแบบยางฟองน้ำ โดยใช้สารทำให้เกิดฟอง 2 ชนิด คือ ออกซิบิสเบนซีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์ (OBSH) และเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (ADC) ที่สัดส่วน 0-10 phr ที่ปริมาณสัดส่วนสารเติมแต่งแต่ละชนิดคงที่ที่ 40 phr

ผลของการวิจัยในส่วนของยางผสมรูปแบบยางเนื้อตัน พบว่า ความหนืดของยางผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเติมแต่ง และเวลาการสึกตัวของยางผสมไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเติมผงถั่วลอซ ผงซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ ทั้งนี้ปริมาณของสารเติมแต่งที่เติมในยางผสมของผงถั่วลอซและผงซิลิกาเกรดการค้าที่เหมาะสม คือ 30-40 phr ส่วนปริมาณสารเติมแต่งผงเขม่าดำที่เหมาะสมคือ 40-60 phr ยางผสมที่เติมผงถั่วลอซมีสมบัติด้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด รวมทั้งการกระดอนของยางผสมที่ดีกว่ายางที่เติมผงซิลิกาหรือผงเขม่าดำ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเด่นด้านมอดูลัสที่การยืดตัว 200% การต้านการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด การกระดอน และความแข็งที่ดี ส่วนการเติมผงเขม่าดำในยางผสมให้สมบัติเด่นความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และการต้านต่อการขีดถู และหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมที่เติมสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด พบว่า สมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้นยกเว้นการยืดตัวที่จุดขาดลดลง

ส่วนผลของการวิจัยในส่วนของยางผสมรูปแบบยางฟองน้ำ พบว่า การเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ในยางผสมที่เติมผงถั่วลอซ ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ทำให้เวลาในการสึกตัวของยางผสมลดลง และการเติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH มีประสิทธิภาพในการเร่งให้ยางผสมสึกตัวได้เร็วกว่าสารทำให้เกิดฟอง ADC และยางผสม NR/SBR มีโครงสร้างแบบเซลล์ปิด ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/SBR มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมปริมาณสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น และพบว่ายางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำมีขนาดของฟองก๊าซที่เล็กและการกระจายของฟองก๊าซที่ดีกว่า ส่งผลให้สมบัติเชิงกลสูงกว่ายางผสมที่เติมผงถั่วลอซและผงซิลิกาเกรดการค้า ส่วนผลการบ่มเร่งด้วยความร้อนและการบ่มเร่งสภาวะด้วยรังสียูวีของยางผสม มอดูลัสที่การยืดตัว 200% และความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และมีการยืดตัวลดลง ส่วนสมบัติการคืนกลับเมื่อได้รับแรงอัดของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถั่วลอซ มีค่าสูงกว่ายางผสมที่เติมผงซิลิกาเกรดการค้าและผงเขม่าดำ และการคืนตัวกลับของยางผสมลดลงตามปริมาณสารทำให้



เกิดฟองที่เพิ่มขึ้น การกระดอนของยางผสมเพิ่มขึ้นเมื่อยางผสมมีส่วนของฟองก๊าซอยู่ในเนื้อยาง ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่เติมในยางผสม NR/SBR คือ 4 phr นำสูตรยางผสม NR/SBR ที่เติมสารเติมแต่งผงถ่านลอย ผงซิลิกาเกรดการค้า และ ผงเขม่าดำ ปริมาณ 40 phr ที่มีสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ปริมาณ 4 phr ขึ้นรูปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นที่โรงงานที่ความหนาต่างกัน (2 และ 10 มิลลิเมตร) และทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับยางปะเก็นเกรดการค้าที่ความหนาที่เท่ากัน โดยที่ยางปะเก็นยางฟองนำจากการวิจัยที่มี สารเติมแต่งผงถ่านลอย ผงซิลิกาเกรดการการค้า และผงเขม่าดำ มีสมบัติเชิงกลโดยรวมสูงกว่ายางปะเก็น ยางฟองนำเกรดการการค้า



Abstract

246708

This work studied property development of natural rubber (NR) and styrene-butadiene rubber (SBR) blends, focused on cure characteristics, mechanical and elasticity properties. The NR/SBR blending ratio used was 1:1. The fillers used in this work were fly ash particles and commercial precipitated silica at loadings of 0-40 parts per hundred rubber (phr) and carbon black at contents of 0-100 phr. The fly ash and silica particles were chemically silane-treated. The rubber blends used in this work were studied in forms of solid and cellular rubbers. The chemical blowing agents that used in this work were Oxybis (benzene sulfonyl) hydrazide (OBSH) and Azodicarbonamide (ADC). The dosages of blowing agent varying from 0 to 10 phr at fixed filler content of 40 phr.

For solid vulcanizates, the Moony viscosity of NR/SBR rubber blend increased with increasing additive content. All fillers hardly affected the cure time properties. The optimum concentrations of fly ash, precipitated silica and carbon black were, 30-40, 30-40 and 40-60 phr, respectively. The tensile modulus at 200% elongation, compression set, resilience and hardness for fly ash filled NR/SBR vulcanizates were better than those for silica and carbon black filled NR/SBR vulcanizates. Carbon black was found to give the maximum tensile strength, tear strength and abrasive resistance. The thermal aging was found to improve the overall mechanical properties, except for the elongation at break.

For cellular NR/SBR vulcanizates, the results suggested that the overall cure time decreased with increasing OBSH and ADC contents. The OBSH appeared to be more effective in cure-acceleration of the NR/SBR blend than the ADC. The NR/SBR vulcanized foams produced by OBSH and ADC agents in this work had closed-cell structures. The relative density and mechanical properties of the NR/SBR blend tended to decrease with increasing blowing agent contents. The carbon black gave NR/SBR foams with smaller cell size, better cell dispersion and higher mechanical properties as compared with the precipitated silica and fly ash particles. The heat ageing and weathering resulted in an increase in tensile modulus at 200% elongation and hardness, but lowered the tensile strength, ultimate elongation and tear strength. The elastic recovery for cellular



NR/SBR vulcanizates with fly ash filler was superior to that with carbon black and silica fillers, the elastic recovery of the blends decreasing with blowing agent content. Resilience property was improved by the presence of gas phases. The optimum concentration of OBSH and ADC to be used for NR/SBR vulcanizates was 4 phr. The cellular NR/SBR vulcanizates containing 40 phr of fly ash particles or precipitated silica or carbon black with 4 phr of OBSH blowing agent were used for production of a gasket having two different thicknesses (2 and 10 mm). The mechanical properties of the cellular NR/SBR vulcanizates were compared with commercial gaskets with the same thickness. It was found that the mechanical properties of the cellular NR/SBR vulcanizates with all fillers were greater than those of the commercial gaskets.



สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
บทสรุปผู้บริหาร	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ช
Abstract	ฉ
สารบัญ	ค
รายการตาราง	ฅ
รายการรูปประกอบ	ด
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
2. ทฤษฎีเบื้องต้น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น	4
2.1.1 ยางธรรมชาติ	4
2.1.2 ยางเอสปีอาร์	6
2.1.3 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม	7
2.1.4 สารเติมแต่ง	9
2.1.5 ถั่วลอข	10
2.1.6 ผงเขม่าดำและซิลิกา	12
2.1.7 กลไกยึดเกาะระหว่างยางกับสารเติมแต่ง	13
2.1.8 ทฤษฎีการเกิดโฟม	14
2.1.9 วัสดุเซลล์ลูลาร์	16
2.1.10 สารทำให้เกิดฟอง	18
2.1.11 โครงสร้างแบบเซลล์ลูลาร์	23



	หน้า	
2.1.12	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์แบบเซลลูลาร์	24
2.1.13	การใช้งานของพอลิเมอร์แบบเซลลูลาร์	26
2.1.14	การเสื่อมสภาพของยาง	27
2.1.15	การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน	30
2.1.16	การทดสอบความทนต่อสภาวะแวดล้อม โดยวิธีเร่งสภาวะด้วยเครื่อง QUV Accelerated Weathering	32
2.2	เอกสารบทความวิชาการที่เกี่ยวข้อง	34
3.	วัตถุดิบ และขั้นตอนการดำเนินงาน	40
3.1	วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในโครงการวิจัย	40
3.2	สูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย	43
3.3	แผนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม	44
4.	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล	57
4.1	การตรวจสอบคุณลักษณะของเส้นลอยและชิลิกาเกรดการค้าในยางผสม	58
4.1.1	การตรวจสอบขนาดและรูปร่างของเส้นลอย	58
4.1.2	การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของเส้นลอย	58
4.1.3	การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นลอยและชิลิกาเกรดการค้า	59
4.2	การตรวจสอบสมบัติการไหลและการสุกของยางผสม NR/SBR	62
4.2.1	การตรวจสอบหาเวลาในการสุกตัวของยางผสม NR/SBR	63
4.2.2	การตรวจสอบค่าความหนืดมูนีของยางผสม NR/SBR	64
4.3	การเติมสารเติมแต่งเส้นลอยและผงชิลิกาเกรดการค้าในยางผสมและการ บ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน	66
4.3.1	การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเส้นลอย และ ผงชิลิกาเกรดการค้า และการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน	66
4.4	การเติมสารเติมแต่งผงเขม่าดำในยางผสม NR/SBR และการบ่มเร่ง สภาวะด้วยความร้อน	74
4.4.1	การตรวจสอบสมบัติเชิงกลของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำ และ การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน	75



หน้า

4.5	การเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ ของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ	80
4.5.1	การเลือกปริมาณของสารเติมแต่งในยางผสม ที่ใช้ในการศึกษาของผสมรูปแบบยางฟองน้ำ	80
4.5.2	บทสรุปงานวิจัยส่วนของยางผสม NR/SBR ในรูปแบบยางเนื้อตัน	85
4.6	การตรวจสอบสมบัติการสึกตัวและสมบัติทางกายภาพของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC	86
4.6.1	การตรวจสอบสมบัติการสึกตัวของยางฟองน้ำ	87
4.6.2	การตรวจสอบความหนาแน่นจำเพาะของยางฟองน้ำ	88
4.6.3	การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหน้าตัดของยางผสมด้วยเทคนิค SEM	89
4.7	การตรวจสอบสมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งสภาวะของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC	96
4.7.1	ผลการทดลองการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ในยางผสม NR/SBR การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน และการบ่มเร่งสภาวะด้วยเครื่องเร่งสภาวะ QUV	97
5.	การนำงานวิจัยไปทดลองผลิตในระดับโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง	108
5.1	การนำผลงานวิจัยไปทดลองผลิตในระดับโรงงานยาง	108
5.2	การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	111
5.3	การเปรียบเทียบสมบัติยางปะเก็นจากการวิจัยกับผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นเกรดการค้า	112
6.	สรุปผลการทดลอง และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	116
6.1	สรุปผลการทดลอง	116
6.1.1	สรุปผลการทดลองยางผสมในรูปแบบของยางเนื้อตัน	116
6.1.2	สรุปผลการทดลองยางผสมในรูปแบบของยางฟองน้ำ	116
6.2	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	117
6.3	การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ จากยางผสม NR/SBR ที่เติมสารเติมแต่งผงถั่วลอซ ชิติก้าเกรดการค้า และผงขมิ้นดำ	119
6.4	ข้อเสนอแนะ	120



	หน้า
เอกสารอ้างอิง	121
ภาคผนวก	127
1. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	127
1.1 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่การประชุมระดับชาติ	128
1.2 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในบทความวิจัยระดับนานาชาติ	136
2. ตอบข้อเสนอแนะและข้อกีดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ	148



รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารที่ได้จากการสลายตัวของสารทำให้เกิดฟอง ADC	20
2.2 องค์ประกอบของก๊าซที่ได้จากการสลายตัวของ ADC	20
3.1 ส่วนประกอบของยางที่ใช้ในงานวิจัย	43
3.2 การเปรียบเทียบปริมาณของซัลฟิคาเกรดการค้ำกับซัลฟิคาจากถั่วลอถอย	44
3.3 ลำดับการผสมสารเคมีและเวลาในการเติมสารเคมีในยางผสมรูปแบบยางคัน	50
3.4 สมบัติของผลิตภัณฑ์ยางปะเก็นตามมาตรฐาน ASTM C864-05	52
3.5 ลำดับการผสมสารเคมีและเวลาในการเติมสารเคมีในยางผสมรูปแบบยางฟองน้ำ	53
4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วลอถอยจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	59
4.2 ส่วนประกอบของยางผสมที่ใช้ขึ้นรูป	63
4.3 ความหนืดมูนิของ NR SBR และยางผสม NR/SBR ที่เติมชนิดและปริมาณสารเติมแต่ง	65
4.4 การสูญเสียของเนื้อวัสดุของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารเติมแต่งผงถั่วลอถอยและผงซัลฟิคาเกรดการค้ำปริมาณต่างๆ	73
4.5 การสูญเสียของเนื้อวัสดุของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารเติมแต่งผงเขม่าดำปริมาณต่างๆ	79
4.6 สมบัติโดยสรุปของยางผสม NR/SBR รูปแบบยางเนื้อตัน ที่เติมผงถั่วลอถอยปริมาณต่างๆ	81
4.7 สมบัติโดยสรุปของยางผสม NR/SBR รูปแบบยางเนื้อตัน ที่เติมสารเติมแต่งผงซัลฟิคาเกรดการค้ำปริมาณต่างๆ	82
4.8 สมบัติโดยสรุปของยางผสม NR/SBR รูปแบบยางเนื้อตัน ที่เติมสารเติมแต่งผงเขม่าดำปริมาณต่างๆ	83
4.9 สมบัติของยางผสม NR/SBR ที่เติมชนิดสารเติมแต่งที่ปริมาณ 40 phr ที่ได้เลือกนำไปศึกษาในรูปแบบยางฟองน้ำ	84
4.10 ส่วนประกอบของยางผสมที่ทดลองขึ้นรูปในรูปแบบยางฟองน้ำ	87
4.11 ผลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อความหนาแน่นสัมพัทธ์ของยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงถั่วลอถอย ผงซัลฟิคา และผงเขม่าดำ โดยชิ้นงานที่ทดสอบหนา 9 mm	89



ตารางที่	หน้า
4.12 ผลของการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ต่อการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด ของยางผสม NR/SBR ที่มีผงถั่วลอ่ย ซิลิกาเกรดการค้าและผงเขม่าดำ เป็นสารเติมแต่ง ชิ้นงานที่ทดสอบหนา 12.5 mm	102
4.13 ผลของการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ต่อการกระดอนของยางผสม NR/SBR ที่มีผงถั่วลอ่ย ซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่ง ชิ้นงานที่ทดสอบหนา 4 mm	104
4.14 ผลของการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ต่อการสูญเสียเนื่องจากการทดสอบการขัดถูของยางผสม NR/SBR ที่มีผงถั่วลอ่ย ซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่ง ชิ้นงานที่ทดสอบหนา 9 mm	105
4.15 การเปรียบเทียบระหว่างยางเนื้อตันที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆกับยางฟองน้ำสูตรที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ปริมาณ 4 phr ที่เติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่ 40 phr	106
5.1 สูตรยางฟองน้ำจากยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงถั่วลอ่ย ซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ ที่ทดลองใช้ผลิตในโรงงานผลิตภัณฑ์ปะเก็นยาง	109
5.2 การเปรียบเทียบสมบัติของยางปะเก็นฟองน้ำ/ยางกันกระแทก จากยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่เติมผงถั่วลอ่ย ซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ ที่ได้จากการวิจัยที่ขึ้นรูปที่โรงงาน กับยางปะเก็นฟองน้ำ/ยางกันกระแทก เกรดการค้า	114
6.1 การเปรียบเทียบต้นทุนวัสดุของยางฟองน้ำจากยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่เติมผงถั่วลอ่ย ผงซิลิกาเกรดการค้าและผงเขม่าดำ	118
6.2 การเปรียบเทียบข้อดี / ข้อเสีย ของขั้นตอนการผลิตยางฟองน้ำระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอสปีอาร์ที่มีผงถั่วลอ่ย ผงซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ เป็นสารเติมแต่ง	119



รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	4
2.2 โครงสร้างทางเคมีของยางเอสปีอาร์	6
2.3 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของถ้ำลอย	11
2.4 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์เปิด	16
2.5 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ปิด	17
2.6 โครงสร้างของสารทำให้เกิดฟองเอโซโคคาร์บอนาไมด์	19
2.7 ปฏิริยาการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของสารทำให้เกิดฟอง ADC	19
2.8 โครงสร้างของสารทำให้เกิดฟอง OBSH	21
2.9 การสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของสารทำให้เกิดฟอง OBSH	22
2.10 ปฏิริยาการเกิดของแข็งที่เหลือจากการสลายตัวของ OBSH	22
2.11 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์แบบ Pentagonal dodecahedrons	23
2.12 การยึดตัวของเซลล์ขณะเกิด โฟม	24
2.13 การเสีรูปร่างจากแรงที่มากกระทำของเซลล์เปิด	25
2.14 การเสีรูปร่างจากแรงที่มากกระทำของเซลล์ปิด	25
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ โฟมแบบยึดหยุ่น	25
2.16 ชนิดการเชื่อมโยงด้วยกัมมะถัน	27
2.17 ปฏิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับพันธะกัมมะถันในยางธรรมชาติ	29
2.18 การเกิดผลิตภัณฑ์สาร โมเลกุลขนาดเล็กจากการเกิดออกซิเดชันของยางธรรมชาติ	30
2.19 ภาพตัดขวางของเครื่องเร่งสภาวะแสดงการให้ความชื้นสัมพันธ์กับขึ้นทดสอบ	33
2.20 เครื่องเร่งสภาวะ QUV Accelerated Weathering	33
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวม	45
3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวมในส่วนของยางเนื้อตัน	46
3.3 แผนผังการดำเนินงานวิจัยโดยรวมในส่วนของยางฟองน้ำ	47
3.4 ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาความหนาแน่นสัมพัทธ์	55
4.1 ลำดับการวิเคราะห์ผลการทดลอง	57
4.2 ลักษณะรูปร่างอนุภาคถ้ำลอยด้วยเทคนิค SEM	58
4.3 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของถ้ำลอย	59
4.4 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของซิลิกาเกรดการค้า	60



รูปที่	หน้า
4.5 ภาพขยายสเปกตรัมหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของซิลิกาเกรดการค้า และผงถั่วลอ่ยที่ไม่ปรับปรุงผิวและปรับปรุงผิวด้วย Couplink 89C ที่เลขคลื่น 2700 -3300 cm^{-1}	60
4.6 สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารคู่ควบไซเลน Couplink 89C	61
4.7 แผนการดำเนินงานในส่วนของการตรวจสอบสมบัติการไหลและการสุกตัว	62
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสุกตัวของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณซิลิกาต่างๆ	63
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสุกตัวของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณต่างๆ	64
4.10 แผนการดำเนินงานในส่วนการตรวจสอบสมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่มีผงถั่วลอ่ย และผงซิลิกาเป็นสารเติมแต่ง	66
4.11 ความสัมพันธ์ของมอดูลัสที่การยืดตัว 200% ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	67
4.12 ความสัมพันธ์ของความต้านแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	68
4.13 ภาพถ่ายอนุภาคผงถั่วลอ่ยที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กอยู่ภายใน โดยใช้เทคนิค SEM	69
4.14 ความสัมพันธ์ค่าการยืดตัวที่จุดขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมระหว่าง NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	70
4.15 ความสัมพันธ์ของความต้านแรงฉีกขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	70
4.16 ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	71
4.17 ความสัมพันธ์ค่าการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัดของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ยและซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนซิลิกาต่างๆ	72
4.18 ความสัมพันธ์ของการกระดอนของยางผสม NR/SBR ที่เติมถั่วลอ่ย และซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณสัดส่วนซิลิกาต่างๆ	73



รูปที่	หน้า
4.19 แผนการดำเนินงานในส่วนของการตรวจสอบสมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่มีผงเขม่าดำเป็นสารเติมแต่ง	74
4.20 ความสัมพันธ์ของมอดูลัสที่การยืดตัว 200% ก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	75
4.21 ความสัมพันธ์ของความต้านแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	76
4.22 ความสัมพันธ์ของการยืดตัวที่จุดขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	76
4.23 ความสัมพันธ์ของความต้านแรงฉีกขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	77
4.24 ความสัมพันธ์ของความแข็งก่อนและหลังการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ	78
4.25 ความสัมพันธ์ของการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัดของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณต่างๆ	78
4.26 ความสัมพันธ์ของการกระดอนของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงเขม่าดำที่ปริมาณต่างๆ	79
4.27 แผนการดำเนินงานในส่วนของการตรวจสอบสมบัติการสึกตัว และสมบัติทางกายภาพของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC	86
4.28 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อเวลาในการสึกตัวของยางผสม NR/SBR ที่มีสารเติมแต่งผงถ่านลอย ผงซิลิกาเกรดการค้า และผงเขม่าดำ	88
4.29 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางฟองน้ำ NR/SBR/ผงถ่านลอย ปริมาณ 40 phr ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่ปริมาณต่างๆ ของชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร	91
4.30 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางฟองน้ำ NR/SBR/ผงซิลิกา ปริมาณ 40 phr ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่ปริมาณต่างๆ ของชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร	92
4.31 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางฟองน้ำ NR/SBR/ผงเขม่าดำปริมาณ 40 phr ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่ปริมาณต่างๆ ของชิ้นงานที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร	93



รูปที่

หน้า

- 4.32 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางฟองน้ำ NR/SBR ที่เติม และไม่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH และ ADC ที่ปริมาณ 6 phr ที่มีสารเติมแต่งผงถ่านลอย ผงซิลิกา และ ผงเขม่าดำ ที่ ปริมาณ 40phr 95
- 4.33 แผนการดำเนินงานในส่วนของการตรวจสอบสมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งของยางผสม NR/SBR ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC 96
- 4.34 อิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อคุณสมบัติการยืดตัว 200%ของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และเครื่องเร่งสภาวะ QUV (ความหนาชิ้นงานทดสอบ 2 mm) 97
- 4.35 อิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อความต้านแรงดึง ของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และเครื่องเร่งสภาวะ QUV (ความหนาชิ้นงานทดสอบ 2 mm) 99
- 4.36 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของยางฟองน้ำ NR/SBR/ผงถ่านลอย ปริมาณ 40 phr ที่เติมสารทำให้เกิดฟอง OBSH ที่ปริมาณ 6 phr 99
- 4.37 อิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อการยืดตัวที่จุดขาดของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือ ผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะยางผสมด้วยความร้อน และเครื่องเร่งสภาวะ QUV (ความหนาชิ้นงานทดสอบ 2 mm) 100
- 4.38 อิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อความต้านแรงฉีกขาดของยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน และเครื่องเร่งสภาวะ QUV (ความหนาชิ้นงานทดสอบ 2 mm) 101
- 4.39 อิทธิพลของปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH และ ADC ที่มีต่อความแข็งแรงของยาง ผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา หรือผงเขม่าดำ ที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อน และเครื่องเร่งสภาวะ QUV (ความหนาชิ้นงานทดสอบ 2 mm) 101
- 4.40 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางฟองน้ำ NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ผงซิลิกา เกรดการค้า และผงเขม่าดำ ที่ 40 phr ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด OBSH ที่ 6 phr ก่อนและหลังการทดสอบการยุบตัวเมื่อได้รับแรงอัด ชิ้นงานที่ทดสอบหนา 12.5 mm 103



รูปที่	หน้า
5.1 แผนการดำเนินงานทดลองผลิตในโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง	108
5.2 แผ่นปะเก็นยางฟองน้ำยางผสม NR/SBR ที่มีผงถ่านลอย ซิลิกา และผงเขม่าดำ เป็นสารเติมแต่ง ที่ขึ้นรูปจากโรงงาน ที่ใช้แม่พิมพ์ขนาด 310x310x2 mm	110
5.3 แผ่นปะเก็นยางฟองน้ำยางผสม NR/SBR ที่มีผงซิลิกา ผงเขม่าดำ และผงถ่านลอย เป็นสารเติมแต่ง ที่ขึ้นรูปจากโรงงาน ที่ใช้แม่พิมพ์ขนาด 310x310x10 mm	110
5.4 ลักษณะชิ้นงานยางฟองน้ำแผ่นเรียบจากยางผสม NR /SBR ที่เติมผงซิลิกาเกรด การค้า	111
5.5 ชิ้นงานยางฟองน้ำแผ่นเรียบจากยางผสม NR/SBR ที่เติมผงถ่านลอย ซิลิกาเกรด การค้า และผงเขม่าดำที่เตรียมขึ้นรูป ที่ใช้ทดสอบความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด	112
5.6 ยางปะเก็น/แผ่นยางกันกระแทกเกรดการค้า วัสดุยางธรรมชาติ จากบริษัท Techno Foam จำกัด ที่เตรียมขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด	113