



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนปริมาณสูงและการ
ประยุกต์ใช้งานเป็นสารเพิ่มความแข็ง

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาชีวัน แกสมาน และคณะ

มิถุนายน 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนปริมาณสูงและการประยุกต์ใช้งาน
เป็นสารเพิ่มความแข็ง

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาชีชัย แกสมาน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นายชาติชาย จันทร์เทพ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ / Abstract	4
เนื้อหา	
ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	5
วัตถุประสงค์	6
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	6
วิธีการทดลอง	7
- ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีนต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์	7
- การเตรียมยางคอมปาวด์	8
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	10
- อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์	10
- การวิเคราะห์โครงสร้างกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	12
- สมบัติยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความแข็ง	13
- สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มความแข็ง	24
สรุปผล	35
ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	40

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนปริมาณสูงและการประยุกต์ใช้งานเป็นสารเพิ่มความแข็ง

(ภาษาอังกฤษ) Preparation of Natural Rubber Grafted with High Content of Styrene Monomer and Its Application as Stiffening agent

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์อาชีวิน แกสमान

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

โทรศัพท์/โทรสาร 0-7331-3930-50 ต่อ 1866 / 0-7333-1099

E-mail kazizon@bunga.pn.psu.ac.th

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย นายชาติชาย จันทรเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์

ระยะเวลาดำเนินการ 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2549 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2550

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ผลิตภัณฑ์ยางหลายประเภทที่ต้องการความแข็งเป็นสมบัติหลักที่สำคัญในทางปฏิบัติมีหลายแนวทางในการเพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ยางคือ (1) การผลิตเป็นยางอีโบนีท์ (Ebonite) โดยการใช้ปริมาณกำมะถันในสูตรยางปริมาณสูง (2) การใช้สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพปริมาณสูงมาก และ (3) การใช้สารเพิ่มความแข็ง โดยทั่วไปจะใช้สารเติมแต่งประเภทเรซิน คือ High styrene resin โดยที่ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ยางไม่เพิ่มขึ้นมากนัก เมื่อพิจารณากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน ซึ่งโครงสร้างมีลักษณะใกล้เคียงกับ High styrene resin จึงน่าจะใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งในยางทดแทนการใช้ High styrene resin ได้

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาขั้นตอนและสภาวะในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน โดยใช้สไตรีนปริมาณสูง
- เพื่อศึกษาอิทธิพลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ต่อการแปรรูป ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติของยางวัลคาไนซ์

- เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของ NR-g-PS และ High styrene resin ต่อการแปรรูป ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง

ผลการดำเนินการ

งานวิจัยสามารถเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูงจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงกับสไตรีนโดยใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์คือ เตตราเอทิลีนเพนทามีนกับคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีการแปรรูปอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนต่างๆคือ 50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล จากการวิจัยพบว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 89-99 เปอร์เซ็นต์ การใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนเท่ากับ 30:70 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มีค่าสูงที่สุด จากนั้นนำยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนที่ได้ผสมกับยาง 2 ชนิดคือ ยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน โดยศึกษาเปรียบเทียบกับเรซินชนิดไฮสไตรีน นำไปทดสอบอัตราการวัลคาไนซ์ พบว่า เวลาการวัลคาไนซ์ และเวลาการสกอชจากการใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนมีค่าต่ำกว่าการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีน หลังจากนั้นนำไปเตรียมเป็นชิ้นทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการหักงอ พบว่า การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนอัตราส่วน 30:70 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ผสมในยางธรรมชาติมีสมบัติทางด้านความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็งแรง และความต้านทานต่อการหักงอดีกว่าการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีน ยกเว้นความต้านทานต่อการสึกหรอ ในขณะที่การใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมเรซินชนิดไฮสไตรีนให้สมบัติเชิงกลที่กล่าวในข้างต้นดีกว่าการผสมกับยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีน ดังนั้นการใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนผสมลงไปในสูตรยางสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงและทดแทนการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีนได้จากผลงานวิจัยทำให้ทราบถึงวิธีการและสถานะในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน โดยมีอัตราส่วนของ สไตรีนปริมาณสูง สามารถนำความรู้พื้นฐานไปขยายในระดับโรงงานต้นแบบเพื่อนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

สรุปผลการวิจัย

เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูง (NR-g-PS) จากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงกับสไตรีนโดยใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์คือ เตตราเอทิลีนเพนทามีนกับคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีการแปรรูปอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนต่างๆคือ 50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล จากการวิจัยพบว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 89-99 เปอร์เซ็นต์ การใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนเท่ากับ 30:70 เปอร์เซ็นต์โดยโมล จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ NR-g-PS และ High styrene resin ในยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่า

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 5 phr และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความแข็งทั้งสองชนิด ส่วนในยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีค่าเพิ่มขึ้นโดยสมบัติดังกล่าวของยางธรรมชาติผสม NR-g-PS (20:80 % mole) มีค่าใกล้เคียงกับ High styrene resin (S-6H) ส่วนความต้านทานต่อแรงดึงของยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม NR-g-PS พบว่า มีค่าต่ำกว่าการใช้ High styrene resin และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางธรรมชาติมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความแข็งทั้ง 2 ชนิด ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสม High styrene resin ทำให้สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ 5 ถึง 20 phr และมีค่าลดลงเมื่อใช้มากขึ้น ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม NR-g-PS พบว่า สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ NR-g-PS โดยที่ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม High styrene resin มีค่าต่ำกว่าการใช้ NR-g-PS โดยที่ NR-g-PS (50:50 % mole) มีค่าสูงที่สุด สมบัติด้านความแข็งของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยที่ความแข็งของยางที่ใช้ NR-g-PS (30:70 % mole) มีค่าใกล้เคียงกับ High styrene resin (S-6H) เมื่อพิจารณาสมบัติโดยรวมจะเห็นว่า สารเพิ่มความแข็งจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณมาศกยภาพและเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ในการผลิตเพื่อทดแทนการใช้ High styrene resin โดยจะต้องทดลองวิจัยนำร่องในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

- เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูงในระดับต้นแบบการผลิตปริมาณ 1000 ลิตร สามารถต่อยอดไปสู่ภาคการผลิตจริง
- ทดลองใช้จริงในสูตรยางสำหรับทำผลิตภัณฑ์จริงทดแทนการใช้ High styrene resin

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- ได้สภาวะและขั้นตอนในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์จากยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูง (NR-g-PS)
- ทราบลักษณะการวัลคาไนซ์สมบัติทางกายภาพเชิงเปรียบเทียบจากการใช้ NR-g-PS กับ High styrene resin ในสูตรยางคอมปาวด์
- สามารถเผยแพร่ผลงานในที่ประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

บทคัดย่อ

การเพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำได้โดยใช้เรซินชนิดไฮสไตรีนซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของสไตรีนและบิวทาไดอีนที่มีปริมาณสไตรีนสูงกว่า 50 % โดยน้ำหนัก หรือใช้สารตัวเติมปริมาณสูง งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูงในการเพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ยางแทนที่การใช้เรซินชนิดไฮสไตรีน โดยสามารถเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูงจากน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงกับสไตรีนโดยใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์คือเตตราเอทิลลิเพินทานามีนกับคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากการวิจัยพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนเท่ากับ 30:70 เปอร์เซนต์โดยโมล ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มีค่าสูงที่สุด (92 เปอร์เซนต์) เตรียมยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมสารเพิ่มความแข็ง คือ ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนเปรียบเทียบกับเรซินชนิดไฮสไตรีนมาทดสอบอัตราการวัลคาไนซ์ พบว่า เวลาการวัลคาไนซ์และเวลาการสกอชของการใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนมีค่าต่ำกว่าการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีน หลังจากนั้นนำมาทดสอบสมบัติ ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความแข็ง และการขยายตัวของรอยแตก พบว่า การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนที่อัตราส่วน 30:70 เปอร์เซนต์โดยโมล ผสมในยางธรรมชาติมีสมบัติทางด้านความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง และความต้านทานต่อการหักงอดีกว่าการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีน ยกเว้นความต้านทานต่อการสึกหรอ ในขณะที่การใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมเรซินชนิดไฮสไตรีนให้สมบัติเชิงกลที่กล่าวในข้างต้นดีกว่าการใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีน การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนผสมลงไปในสูตรยางที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นหลักสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งและทดแทนการใช้เรซินชนิดไฮสไตรีนได้

Abstract

Hardness properties of rubber products can be improved using high styrene resin (HSR) or high loaded filler. The HSR was the copolymerized of styrene and butadiene, that styrene content over than 50 % by weight. The objective of this research was using graft copolymer of natural rubber and styrene (NR-g-PS) in rubber compound, which required high hardness. Graft copolymerization of natural rubber and styrene (NR-g-PS) was prepared using redox initiator (CHP/TEPA system) via emulsion polymerization. It was found that 30/70 % mole of NR/Styrene ratio shown highest grafting efficiency (92 %). Rubber compounds were prepared by blending natural rubber (NR) or Styrene butadiene rubber (SBR) with HSR (or S-6H commercial grade) and NR-g-PS. Cure and physical properties of rubber compounds were investigated later. It was found that cure time and scorch time of NR-g-PS less than S-6H resin. Natural rubber vulcanizate was prepared using NR-g-PS (30/70% mole ratio) gave superior tensile strength, tear strength, hardness and cut growth than S-6H resin, while abrasion resistance was inferior. Styrene butadiene rubber vulcanizate were blended with S-6H resin gave those properties higher than NR-g-PS. High hardness vulcanizate from natural rubber was produced from the substitution of HSR by NR-g-PS.

เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ยางหลายประเภทต้องการความแข็งแรงเป็นสมบัติหลักที่สำคัญ เช่น พื้นรองเท้า ยางปูพื้น ลูกกลิ้ง ยาง เป็นต้น ในทางปฏิบัติมีหลายแนวทางในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ยางคือ (1) การผลิตเป็นยางอีโบนไนท์ (Ebonite) โดยการใส่ปริมาณกำมะถันในสูตรยางปริมาณสูง (2) การใช้สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพปริมาณสูงมาก และ (3) การใช้สารเพิ่มความแข็งแรง โดยทั่วไปจะใช้สารเติมแต่งประเภทเรซิน คือ High styrene resin และ Phenolic resin โดยที่การใช้สารเติมแต่งประเภทเรซินทำให้ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีความแข็งแรง โดยที่ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ยางไม่เพิ่มขึ้นมากนัก

สารเติมแต่งชนิด High styrene resin เป็นพอลิเมอร์ประเภทโคพอลิเมอร์ของบิวทาไดอีน (Butadiene) และสไตรีน (Styrene) โดยที่มีปริมาณของสไตรีนในโครงสร้างปริมาณสูง ซึ่งส่วนใหญ่จะมีปริมาณสูงถึง 70-85 เปอร์เซ็นต์ เช่น Pliolite® S6H มีอัตราส่วนของ styrene/butadiene เท่ากับ 82.5/27.5 เมื่อนำ High styrene resin ไปใช้งานในยางคอมเพาด์ พบว่า ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้สารเติมแต่งประเภทนี้หรือปริมาณของสไตรีนในโครงสร้าง การใช้ High styrene resin นอกจากจะทำให้ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มสูงขึ้นแล้วยังทำให้การแปรรูปทำได้ง่ายขึ้น ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะด้านความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืดสูงสุด ความทนทานต่อการฉีกขาด ความยืดหยุ่น และการกระเด็นตัว ทำให้ยางธรรมชาติมีการใช้งานที่หลากหลาย เพื่อให้การใช้งานยางธรรมชาติมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ได้มีการปรับปรุงโครงสร้างยางธรรมชาติโดยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เชนกับไวนิลมอนอเมอร์ (Ainpour, 1985, Schepers and Seevens, 1992; Hashim, *et al.*, 2002) ชนิดต่างๆ เช่น Methyl methacrylate (เจริญ และคณะ, 2543, George *et al.*, 2003, Lehrle and Willis, 1997, Oliveira *et al.*, 2005a) Dimethylaminoethyl methacrylate (Oliveira *et al.*, 2005b) Styrene (Hourston and Romaine, 1989, Das *et al.*, 1993, Nampitch and Vatamatham, 2006) มาลิกแอนไฮไดรด์ (Nakason *et al.*, 2004) 2-Hydroxyethyl methacrylate (Khansawai, 2005) เป็นต้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเพื่อใช้งานของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับเมทิลเมทาคริเลทในพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติกับพอลิเมทิลเมทาคริเลท (Oommen and Thomas, 1997) และใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง (Wheelans, 1977)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้านการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน โดยเน้นการใช้สไตรีนปริมาณสูงในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องนั้นจะใช้ปริมาณสไตรีนต่ำกว่าในงานวิจัยนี้ เช่น ลิทธิพงศ์ (2547) ได้ศึกษาโดยแปรปริมาณสไตรีนระหว่าง 10 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ส่วน Hourston and Romaine (1989) ได้ศึกษาโดยแปรปริมาณสไตรีนระหว่าง 10 – 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น และได้ริเริ่มศึกษาการใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ในการเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์โดยศึกษาเปรียบเทียบกับสารเพิ่มความแข็งแรงที่มีขายเชิงการค้าคือ High styrene resin ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงอิทธิพลของสถานะในการทำปฏิกิริยาต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติและสไตรีน จาก

นั้นศึกษาการประยุกต์ใช้งานของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติดังกล่าวเป็นสารเพิ่มความแข็ง โดยศึกษาเปรียบเทียบกับ High styrene resin ที่มีการใช้งานในการค้า เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัตถุดิบจากยางธรรมชาติเพื่อเป็นสารเติมแต่งในการเพิ่มความแข็งให้กับยางวัลคาไนซ์

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาขั้นตอนและสถานะการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน โดยใช้สไตรีนปริมาณสูง รวมทั้งศึกษาการใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นสารเพิ่มความแข็งในสูตรยางเปรียบเทียบกับ High styrene resin

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

โคพอลิเมอร์ของบิวทาไดอีนและสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญมากในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น ยางเอสบีอาร์ (Styrene butadiene rubber, SBR) โดยทั่วไปจะมีปริมาณสไตรีนประมาณ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของบิวทาไดอีน โคพอลิเมอร์อีกประเภทหนึ่งของมอนอเมอร์ทั้งสองที่ใช้กันมากคือ High styrene resin ซึ่งจะมีส่วนของสไตรีนสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ โดยเรซินชนิดนี้ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งให้กับยางวัลคาไนซ์ โดยไม่ทำให้ความหนาแน่นของยางเพิ่มสูงมากนัก โครงสร้างของโคพอลิเมอร์ดังกล่าวเป็นแบบสุ่ม (Random copolymer) เมื่อพิจารณากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน ซึ่งโครงสร้างมีลักษณะดังนี้คือ สายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติเป็นสายโซ่หลัก ในขณะที่พอลิสไตรีนเป็นโซ่กิ่ง (Grafted chain) จึงสนใจในการนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ดังกล่าวมาใช้แทน High styrene resin

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษากราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน โดยที่ กิตยา (2544) ได้ทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนในสถานะลาเท็กซ์ พบว่า โพลีเอทิลีนออกไซด์เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่สุดในการรักษเสถียรภาพของน้ำยาง และสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา คือ 60°C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง สิทธิพงษ์ (2547) ได้ทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันแบบใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีด็อกซ์ ศึกษาผลของปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ต่อ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสไตรีน ทำให้ประสิทธิภาพการกราฟต์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงค่าสูงสุด โดยมีค่า 70 และ 85 % สำหรับตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีด็อกซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงปริมาณของตัวริเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ศึกษา ตัวริเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีด็อกซ์ให้ค่าประสิทธิภาพการกราฟต์ที่ดีกว่าแบบแตกตัวด้วยความร้อน Prasassarakich (2001) ทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันสไตรีนและอะครีโลไนไตรล์บนยางธรรมชาติในระบบอิมัลชัน โดยใช้โพลีเอทิลีนออกไซด์เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา โดยแปรความเข้มข้นของสารริเริ่มปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ความดันของมอนอเมอร์ แล้วทำการทดสอบสมบัติการทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 3.1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง และความเข้มข้นของสารริเริ่มปฏิกิริยา 1.5

เปอร์เซ็นต์โมล ให้ประสิทธิภาพการกราฟต์มากที่สุด Arayaprane, *et al* (2002) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนและเมทิลเมทาคริเลทโดยใช้ระบบ Cumene Hydroperoxide และ Sodium formaldehyde sulfoxylate dihydrate/EDTA-chelated Fe^{2+} เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์และใช้ Sodium dodecylsulfate (SDS) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ พบว่า ประสิทธิภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา อิมัลซิไฟเออร์ สารย้ายสายโซ่ อุณหภูมิ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณมอนอเมอร์ต่อยาง (monomer-to-rubber ratio) โดยประสิทธิภาพของกราฟต์โคพอลิเมอร์สูงสุดเมื่อใช้ปริมาณของสารเริ่มต้นปฏิกิริยา 2 phr ที่อุณหภูมิ 70°C และลดลงเมื่อเพิ่ม monomer-to-rubber ratio

Hashim (2002) ทำการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติโดยการกราฟต์ด้วยสไตรีน (SNR) นำมาเปรียบเทียบกับการใช้ยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน โดยทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า Cure time และ Scorch time ของยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนอยู่ระหว่างยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน นอกจากนี้พบว่ายางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนให้สมบัติทางด้านความแข็ง ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานต่อการฉีก และการกระจายตัวของสารตัวเติมเข้ามาดีกว่ายางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน ในขณะที่สมบัติทางด้านความทนทานต่อแรงดึง สมบัติหลังการบ่มเร่งมีความใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติด้านอีลาสติก สมบัติการยืดที่จุดขาด การคืนตัวเนื่องจากการกด และการกระด้างลดลง Arayaprane, *et al* (2003) ได้วิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาการกราฟต์สไตรีนและเมทิลเมทาคริเลทบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยใช้ experimental design พบว่า ตัวแปรสำคัญที่มีผลมากต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ คือ ปริมาณของสารย้ายสายโซ่ และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยที่อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อยางมีผลเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกราฟต์แต่มีผลต่อความเสถียรของอนุภาคยาง Nampitch (2006) ทำการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนแบบอิมัลชันโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา และใช้โซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นสบู่ ทำการทดสอบประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยา พบว่า ประสิทธิภาพการกราฟต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาในช่วง 58 - 64 องศาเซลเซียส และสารเริ่มต้นปฏิกิริยาในช่วง 0.8 - 1.4 ส่วน

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีนต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยแปรอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับสไตรีนโดยใช้อัตราส่วนดังนี้คือ 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยใช้ยาน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (ผลิตโดยบริษัท ยะลาตาเท็กซ์ จำกัด มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60.92 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งทั้งหมด 61.9 เปอร์เซ็นต์) สไตรีน (ผลิตโดยบริษัท Fluka chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ และได้กำจัดสารหน่วงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % w/w และกำจัดน้ำออกจากมอนอเมอร์ด้วยโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Anhydrous Sodium Sulfate) ใช้ระบบการเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์คือ เตตระเอทิลีนเพนตามีน (ผลิตโดย

บริษัท Fluka chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) คิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ผลิตโดยบริษัท Fluka chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) รักษาสภาพน้ำยางด้วยสารละลายโพแทสเซียมลอเรทเข้มข้น 20% (เตรียมได้จาก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นชนิด AR grade ผลิตโดยบริษัท Fluka chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) ทำปฏิกิริยากับกรดลอริก (Lauric acid) ผลิตโดยบริษัท P.T. SINAR OLEOCHEMICAL INTERNATIONAL ประเทศอินโดนีเซีย) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate) (ผลิตโดยบริษัท Riedel-de Hean ประเทศฝรั่งเศส) โดยใช้สูตรดังตารางที่ 1 ซึ่งควบคุมให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณของของแข็งหลังปฏิกิริยาล้นสุดเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาดังนี้คือ นำน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง สไตรีน สารละลายโพแทสเซียมลอเรท โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต และน้ำเติมลงในปฏิกรณ์กวนด้วยอัตราเร็ว 170 – 190 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 70 องศาเซลเซียส หยดสารเตตราเอทิลีนเพนทามีน และคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ จากกรวยหยด ใช้เวลาในการหยดสารแต่ละชนิดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง นำน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ส่วนหนึ่งมาหยดไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) (ผลิตโดยบริษัท Merck Schuchardt ประเทศเยอรมัน) เพื่อยับยั้งหรือทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ของมอนอเมอร์สิ้นสุด จากนั้นนำน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์มาวัดเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% Conversion) ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรซ์ (Grafting Efficiency) และนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทุกอัตราส่วนไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไรซ์ระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีน

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)			
	50/50	40/60	30/70	20/80
1. ปฏิกรณ์หลัก (Main reactor)				
60% น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง	169.8	136	102	68
99% สไตรีน	156	187.2	218.4	249.6
20% สารละลายโพแทสเซียมลอเรท	90.3	107.52	125.82	144.8
โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	1.55	1.61	1.67	1.73
น้ำ	220.21	232.53	243.97	252.73
2. กรวยหยด (Dropping funnel)				
85 % เตตราเอทิลีนเพนทามีน	3.34	3.34	3.34	3.34
80 % คิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์	3.8	3.8	3.8	3.8

2.4.2 การเตรียมยางคอมปาวด์

เตรียมยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติ และยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมกับสารเพิ่มความแข็งแรงโดยศึกษาเปรียบเทียบสารเพิ่มความแข็งแรง 2 ประเภท คือ (1) High styrene resin (S-6H) และ (2) Natural rubber graft

Styrene (NR-g-PS) ที่อัตราส่วน 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 เปรอร์เซ็นโดยโมล โดยใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วย กำมะถันแบบปกติ (Conventional curing system) ดังสูตรในตารางที่ 2 โดยใช้สารเคมีดังนี้คือ ซิงออกไซด์ (ผลิตโดยบริษัท Global Chemical Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา) กรดสเตียริก (ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา) ไชนาเคลย์ (ผลิตโดยบริษัท R.T. Vanderbilt Co., Ltd ประเทศสหรัฐอเมริกา) ไดเบนโซไธอะซายล์ไดซัลไฟด์ (Dibenzothiazyl disulphide, MBTS) (ผลิตโดยบริษัท FLEXSYS ประเทศสหรัฐอเมริกา) ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl guanidine, DPG) (ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd ประเทศเยอรมัน) กำมะถัน (Sulphur) (ผลิตโดยบริษัท Ciech S.A.Co., Ltd ประเทศโปแลนด์) โดยมีขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 3 โดยใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว อัตราส่วนความเร็วของโรเตอร์หน้าต่อโรเตอร์หลัง (Friction ratio) เท่ากับ 1:1.35 ผลิตโดย หจก.ชัยเจริญการช่าง ประเทศไทย) จากนั้นเก็บยางผสมสารเคมีที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 (ตามมาตรฐาน ASTM D2084-95) นำยางคอมปาวด์ไปอัดเบ้าด้วยเครื่องอัดเบ้าไฮดรอลิกตามเวลาการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เก็บยางวัลคาไนซ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปตัดชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D412-2000) สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) (ตามมาตรฐาน ASTM D624-98) ความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance) (ตามมาตรฐาน ASTM D1630-94) ความแข็ง (Hardness) (ตามมาตรฐาน ASTM D2240-97) ความต้านทานต่อการหักงอ (ตามมาตรฐาน ASTM D1052-85) และความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance)

ตารางที่ 2 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการวิจัย

Ingredient	Quantity (phr)
Rubber*	100
ZnO white seal	3
Stearic acid	1
MBTS	1
DPG	0.5
Clay	30
สารเพิ่มความแข็ง*	0, 5, 10, 20, 30
Sulphur	2

*แปรชนิดยาง คือ ยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dry sheet, ADS) (ผลิตโดยสหกรณ์บ้านควน ปันแต จำกัด อ.ควนขนุน จ. พัทลุง) และยางสไตรีนบิวทาไดอิน กรด SBR1502 (มีสัดส่วนของสไตรีนต่อบิวทาไดอิน 23:77 เปรอร์เซ็นต์ ผลิตโดยบริษัท BST Elastomers Co., Ltd. ประเทศไทย)

*แปรชนิดสารเพิ่มความแข็ง คือ High styrene resin (S-6H) (โคพอลิเมอร์ระหว่างสไตรีนกับบิวทาไดอินอัตราส่วน 82.5:17.5 เปอร์เซ็นต์ ผลิตโดยบริษัท NITRIFLEX ประเทศบราซิล) และ NR graft Styrene (NR-g-St ที่อัตราส่วน 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล)

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นาที่	ขั้นตอนการผสม
เริ่มต้น	บดสารเพิ่มความแข็ง กับยางธรรมชาติหรือยางสไตรีนบิวทาไดอิน*
3	เติม Stearic acid
5	เติม ZnO
7	เติม Clay
13	เติม MBTS
14	เติม DPG
15	เติม Sulphur
17	ม้วนยางแล้วผ่านลูกกลิ้ง 5 ครั้ง

***หมายเหตุ**

- สารเพิ่มความแข็ง High styrene resin (S-6H) และ NR graft Styrene ที่อัตราส่วน 50/50 และ 40/60 เปอร์เซ็นต์โดยโมล บดผสมในช่วงอุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส
- สารเพิ่มความแข็ง NR graft Styrene ที่อัตราส่วน 30/70 และ 20/80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล บดผสมในช่วงอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส

2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

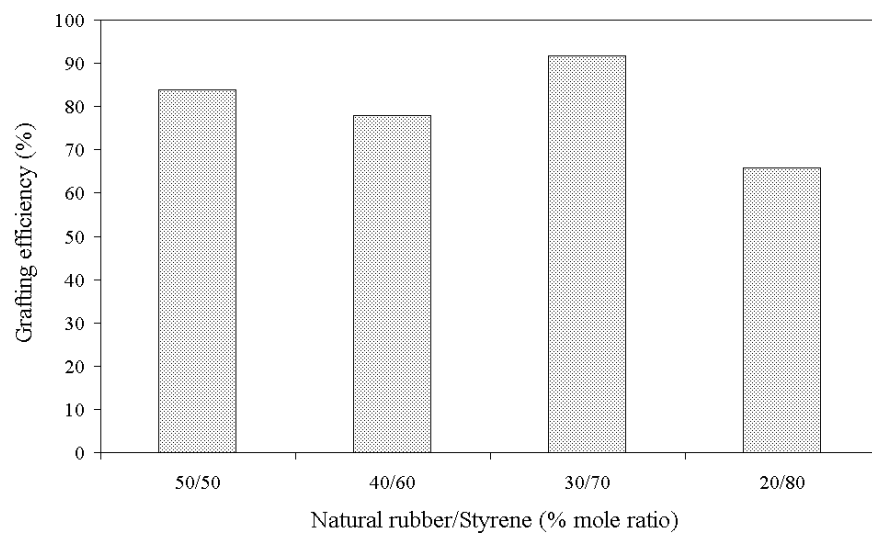
2.5.1 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนต่อการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.4.1 ซึ่งแปรอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีน นำน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีนดังรูปที่ 1 พบว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 50/50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีค่ามากที่สุด คือ 99.96 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากที่อัตราส่วน 50/50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีปริมาณสไตรีนน้อยที่สุดทำให้มอนอเมอร์สไตรีนเปลี่ยนพอลิสไตรีนได้มาก (ทั้งในส่วนที่เกิดเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์และพอลิสไตรีนอิสระ) เนื่องจากที่อัตราส่วน 50/50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีการใช้อัตราส่วนของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาต่อปริมาณสไตรีนสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนที่มีปริมาณสไตรีนเพิ่มขึ้น โดยที่สารเริ่มต้นปฏิกิริยามีการใช้ปริมาณคงที่ในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์

นำค่าเท็กซ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนต่างๆ มาทดสอบหาประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีนต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์

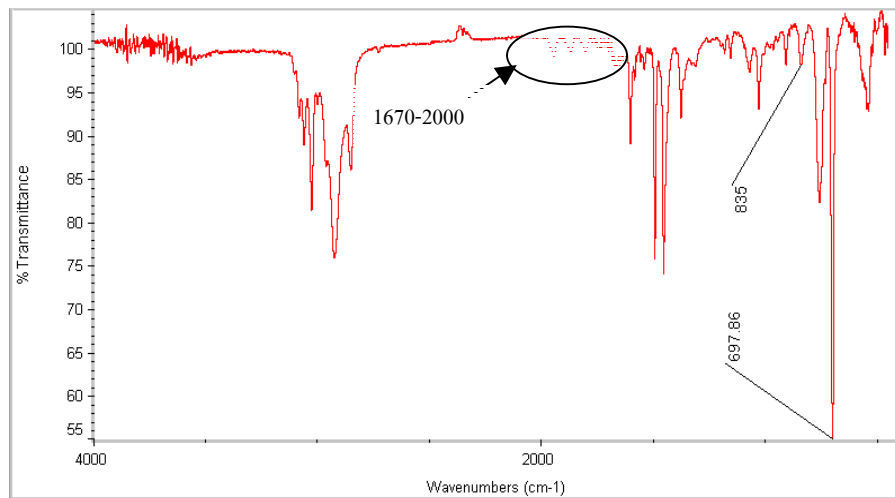


รูปที่ 2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนต่อประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์

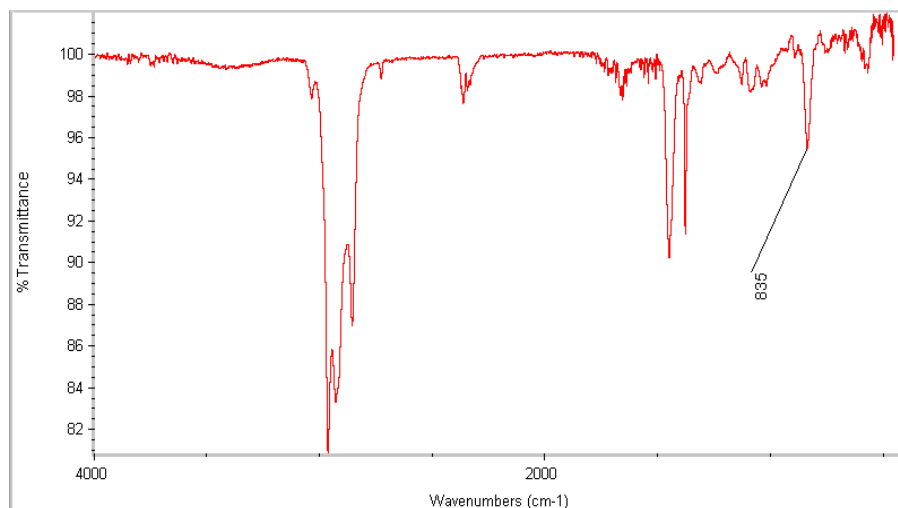
จากรูปที่ 2 พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 30/70 เปอร์เซนต์โดยโมล จะมีค่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุดคือ 91.8 เปอร์เซนต์ เนื่องจากมอนอเมอร์สไตรีนสามารถที่จะเกาะติดบนโมเลกุลของยางธรรมชาติได้มากทำให้มีประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์สูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน 50/50, 40/60 และ 20/80 เปอร์เซนต์โดยโมล โดยมีค่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ดังนี้คือ 83.9, 77.9 และ 65.8 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

2.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ทุกชนิดที่เตรียมได้ไปสกัดเอายางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยา กราฟต์โคพอลิเมอร์ออกแล้วนำมาละลายด้วยโทลูอิน แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรดตัวอย่างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติกับสไตรีนที่อัตราส่วน 20/80 % โดยโมลดังรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติในรูปที่ 4 พบว่า มีพิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 697 และ 1670-2000 cm^{-1} ซึ่งแสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดเนื่องจากการงอกระนาบของ C-H จากวงแหวนอะโรมาติก และมีการโอเวอร์โทนของวงอะโรมาติกเป็นลักษณะ 3 พิก ซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะของการมีหมู่แทนที่หมู่เดี่ยวซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของสไตรีน



รูปที่ 3 สเปกตรัมอินฟราเรดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติกับสไตรีนที่อัตราส่วน 20/80 % โดยโมล



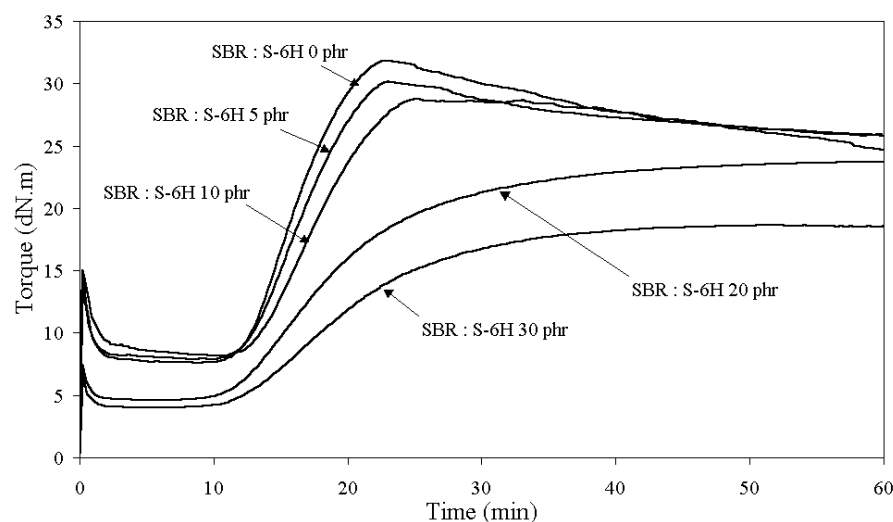
รูปที่ 4 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติ

2.5.3 สมบัติยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติที่ใช้สารเพิ่มความแข็ง

2.5.3.1 ลักษณะการวัลคาไนเซชันของยางสไตรีนบิวทาไดอิน

2.5.3.1.1 อิทธิพลของปริมาณ High styrene resin ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

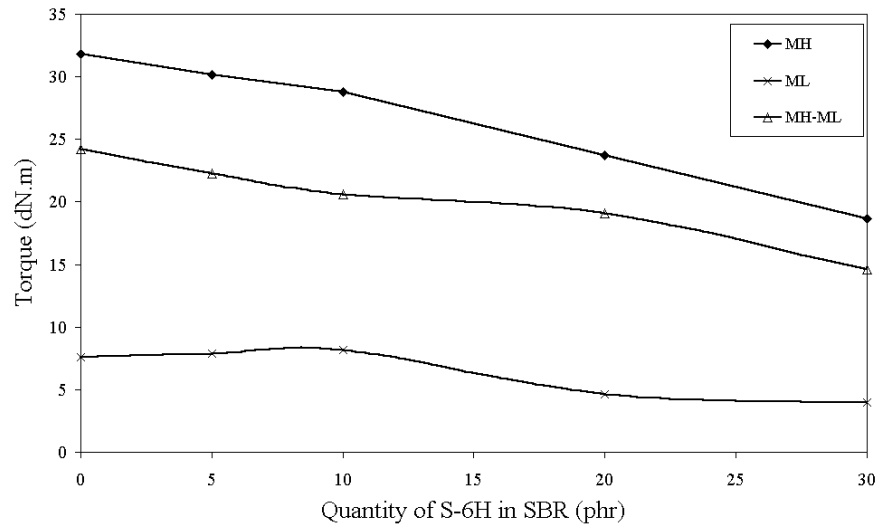
เตรียมยางคอมปาวด์ของยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรปริมาณ High styrene resin ดังนี้คือ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr ซึ่งใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ3 จากนั้นนำยางคอมปาวด์ดังกล่าว ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลองรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)

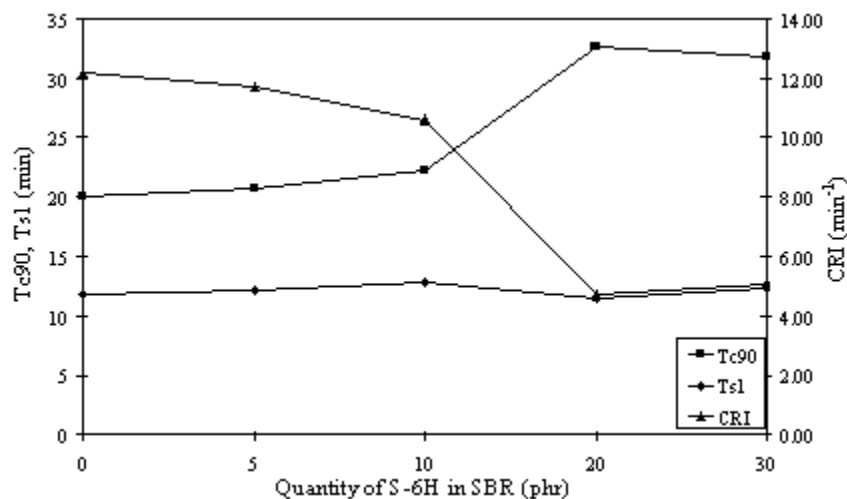
จากรูปที่ 5 พบว่า เมื่อเกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ยางคอมปาวด์ของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ High styrene resin ปริมาณ 0, 5 และ 10 phr จะมีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน (Reversion) ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านความทนทานต่อความร้อนได้น้อย ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางสไตรีนบิวทาไดอินเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) กราฟความสัมพันธ์ของค่าทอร์กกับเวลาจึงตกลงเรื่อยๆ ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ปริมาณเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง 20 phr พบว่า มีค่าทอร์กเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือเกิดการมาชชิง (Marching) นั่นคือ ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติด้านมอดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ High styrene resin ปริมาณ 30 phr จะเห็นว่ากราฟมีค่าทอร์กคงที่ นั่นคือ มีความทนต่อความร้อนได้ดี ลดการเกิดการเสื่อมสภาพของยางสไตรีนบิวทาไดอินได้

จากรูปที่ 5 ได้ข้อมูลการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรปริมาณ High styrene resin นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรปริมาณ High styrene resin ดังรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 ค่าทอร์คสูงสุด ค่าทอร์คต่ำสุด และค่าผลต่างทอร์คสูงสุดและต่ำสุดของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)

จากรูปที่ 6 พบว่า ค่าผลต่างของทอร์คของยางคอมปาวด์ที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม High styrene resin มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเรซินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเรซินชนิดนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดการหลอมได้ที่อุณหภูมิสูงและแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อผสมเข้ากับยางสไตรีนบิวทาไดอิน จึงทำให้ยางนุ่มลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในยางน้อยลง จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณ High styrene resin มากขึ้นค่าผลต่างของทอร์คจึงมีค่าลดลง



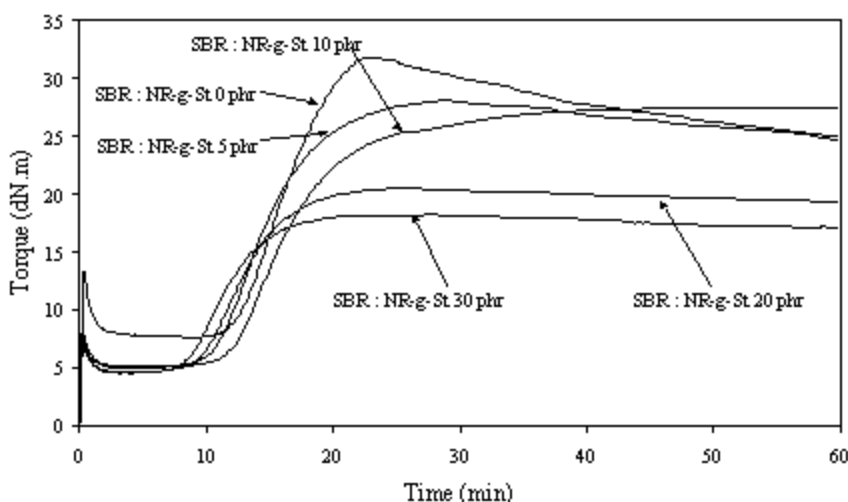
รูปที่ 7 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกอร์ชและดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาเวลาสกอร์ช (Scorch time, t_{s1}) ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอิน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ High styrene resin ทำให้เวลาสกอร์ชมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ เกิดการเริ่มต้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ได้ใกล้เคียงกัน ส่วนเวลาการวัลคาไนซ์ชัน (Cure time, T_{c90}) ของยางสไตรีนบิวทาไดอินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณ High styrene resin เพิ่มสูงขึ้นหรือกล่าวได้อีกทำนองหนึ่งว่า ยางคอม

เปาว์คดังกล่าวเกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้าลง เนื่องจาก High styrene resin มีส่วนของโมเลกุลเป็นบิวทาไดอินซึ่งสามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้ด้วยกัมมะถันและสารตัวเร่ง ทำให้เกิดการดึงสารวัลคาไนซ์ดังกล่าวไปใช้ ส่งผลให้อัตราส่วนของสารวัลคาไนซ์ต่อพันธะคู่ในยางยางสไตรีนบิวทาไดอินลดลง ทำให้อัตราการวัลคาไนซ์ (Cure rate index, CRI) เกิดได้ช้าลง

2.5.3.1.2 อิทธิพลของปริมาณกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

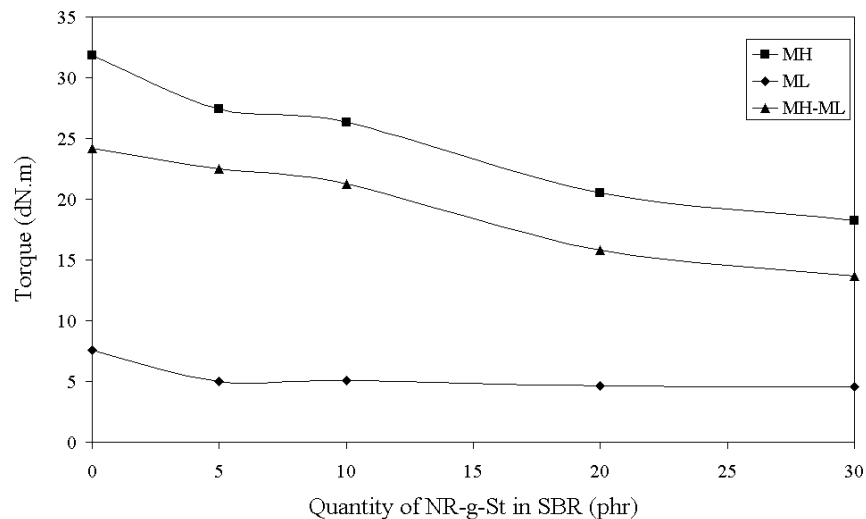
เตรียมยางคอมเปาว์คของยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40:60 % mole) ดังนี้คือ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนดังกล่าวใช้อุณหภูมิในการผสมต่ำกว่าที่อัตราส่วนที่ใช้สไตรีนสูงกว่านี้ กล่าวคือ ใช้อุณหภูมิ 65 – 75 °C ซึ่งใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นนำยางคอมเปาว์คดังกล่าว ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 8



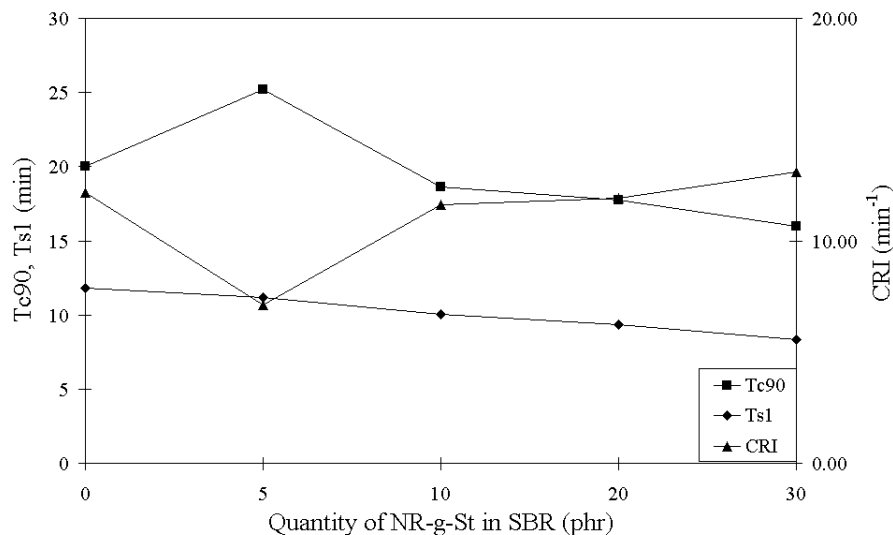
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมเปาว์คจากยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 8 พบว่า เมื่อเกิดการวัลคาไนซ์เช่นอย่างสมบูรณ์ยางคอมเปาว์คของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ NR-g-PS (40:60 % mole) เท่ากับ 0 และ 5 phr มีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านความทนทานต่อความร้อนได้น้อย ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางสไตรีนบิวทาไดอินจะเกิดการเสื่อมสภาพ กราฟความสัมพันธ์ของค่าทอร์กกับเวลาจึงตกลงเรื่อยๆ ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ NR-g-PS (40:60 % mole) ปริมาณ 10 phr พบว่า มีค่าทอร์กเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือเกิดการมาซซิง นั่นคือ ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติด้านมอดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ NR-g-PS (40:60 % mole) 20 และ 30 phr จะเห็นว่ากราฟมีค่าทอร์กคงที่ นั่นคือ มีความทนต่อความร้อนได้ดี ลดการเกิดการเสื่อมสภาพของยางสไตรีนบิวทาไดอินได้ จากรูปที่ 8 ได้ข้อมูลการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาว์คที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40:60 % mole) ได้ข้อมูลการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาว์คดังรูปที่ 9 และ 10

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่า ค่าผลต่างของทอร์คของยางคอมปาวด์ที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม NR-g-PS (40:60 % mole) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนเพิ่มสูงขึ้นทำนองเดียวกับการใช้ High styrene resin เนื่องจาก NR-g-PS มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเช่นเดียวกับ High styrene resin กล่าวคือ จะเกิดการหลอมได้ที่อุณหภูมิสูงแต่อุณหภูมิที่ทำให้หลอมจะสูงกว่า High styrene resin และแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ค่าผลต่างของทอร์คมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ NR-g-PS ลดลง



รูปที่ 9 ค่าทอร์คสูงสุด ค่าทอร์คต่ำสุด และค่าผลต่างทอร์คสูงสุดและต่ำสุดของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีน โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)



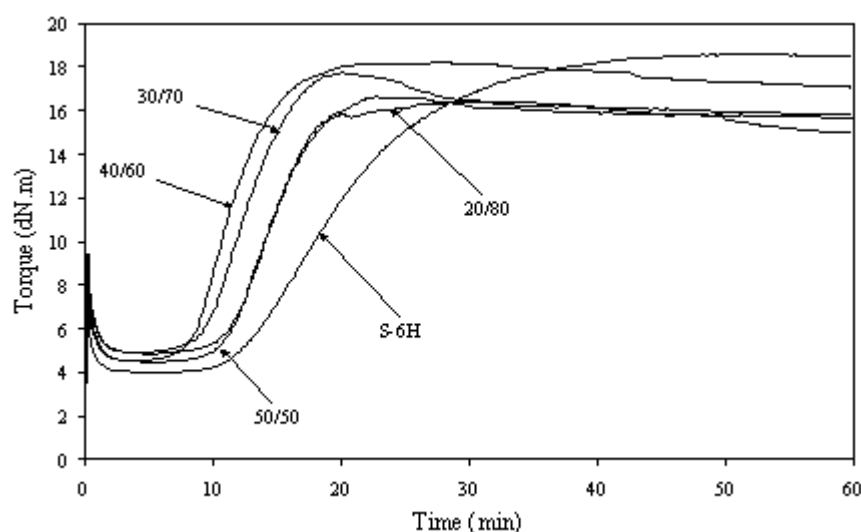
รูปที่ 10 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกอกซ์และดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีน โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่า เวลาการวัลคาไนซ์ของยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก NR-g-PS มียางธรรมชาติอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้มีพันธะคู่อยู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน พันธะคู่ในโมเลกุลของยางธรรมชาติจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้

เมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้น ทำให้พันธะคู่เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ปฏิกิริยาคัดค้านจะเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาสกอมเปาวด์ที่ใช้ยางสไตรีนบิวทาไดอิน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ NR-g-PS (40:60 % mole) ทำให้เวลาสกอมมีค่าลดลงเล็กน้อย กล่าวคือ เกิดการเริ่มต้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ได้ช้าลง

2.5.3.1.3 อิทธิพลของชนิดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนเปรียบเทียบกับเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง

เตรียมยางคอมเปาวด์ของยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรชนิดของ NR-g-PS เปรียบเทียบกับ High styrene resin ซึ่งใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นนำยางคอมเปาวด์ดังกล่าว ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 11

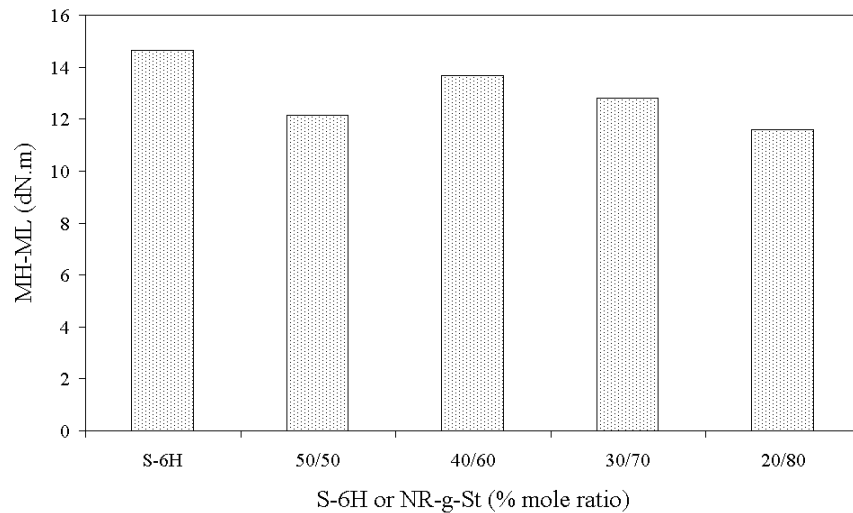


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมเปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรชนิดของ NR-g-PS กับ High styrene resin (S-6H) ปริมาณ 30 phr

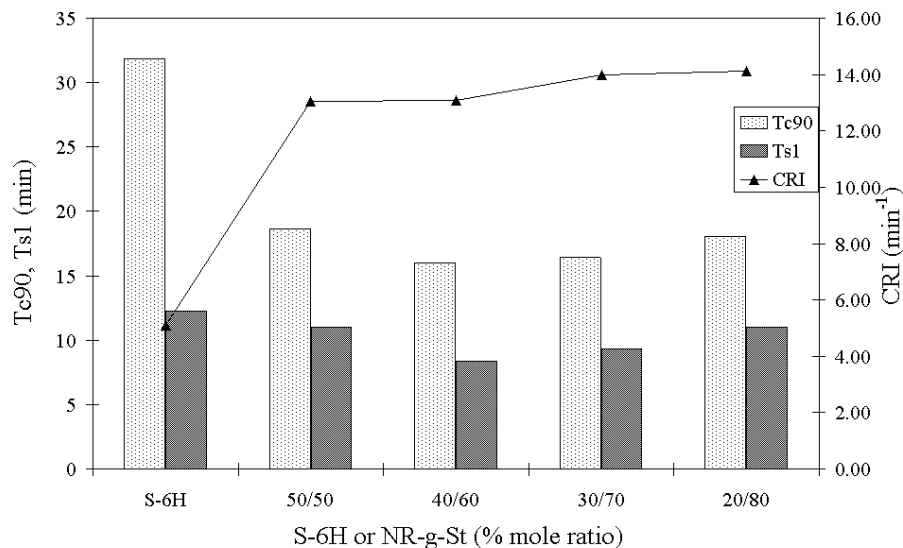
จากรูปที่ 11 เมื่อยางคอมเปาวด์เกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ พบว่า ยางคอมเปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ NR-g-PS (30:70 และ 20:80 % mole) มีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านความทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางจะเกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนยางคอมเปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ High styrene resin และ NR-g-PS (50:50 และ 40:60 % mole) พบว่า กราฟจะมีค่าทอร์กคงที่ กล่าวคือยางวัลคาไนซ์มีความทนต่อความร้อนได้ดี จากรูปที่ 11 นำข้อมูลมาแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินโดยแปรชนิด NR-g-PS เปรียบเทียบกับ High styrene resin ที่ปริมาณ 30 phr นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมเปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม NR-g-PS และ High styrene resin ได้ผลดังรูปที่ 12 และ 13

จากรูปที่ 12 จะเห็นว่า ผลต่างของค่าทอร์กของยางคอมเปาวด์สไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม High styrene resin มีค่าสูงที่สุด แสดงว่ามีความแข็งแรงมากที่สุดเนื่องจาก High styrene resin เป็นโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาระหว่างสไตรีนและบิวทาไดอินที่มีโครงสร้างแบบสุ่ม (Random copolymer) ทำให้เมื่อผสมเข้าไปในยางสไตรีนบิวทาไดอินแล้วสามารถเข้ากันได้ดีเกิดการกระจายตัวได้ดีทำให้มีความแข็งแรง ผลต่างของค่าทอร์กจึงมีค่า

สูงกว่ายางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด โดยที่ อัตราส่วน 40:60 เปอร์เซ็นต์ โดยโมล มีค่าผลต่างของทอร์คมากที่สุด และที่อัตราส่วน 50:50, 30:70 และ 20:80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีผลต่างของค่าทอร์คแตกต่างกันไม่มากนัก



รูปที่ 12 ผลต่างทอร์คสูงสุดและต่ำสุดของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนโดยแปรชนิดของ NR-g-PS กับ S-6H ปริมาณ 30 phr



รูปที่ 13 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกอกซ์และดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนโดยแปรชนิดของ NR-g-PS กับ High styrene resin (S-6H) ปริมาณ 30 phr

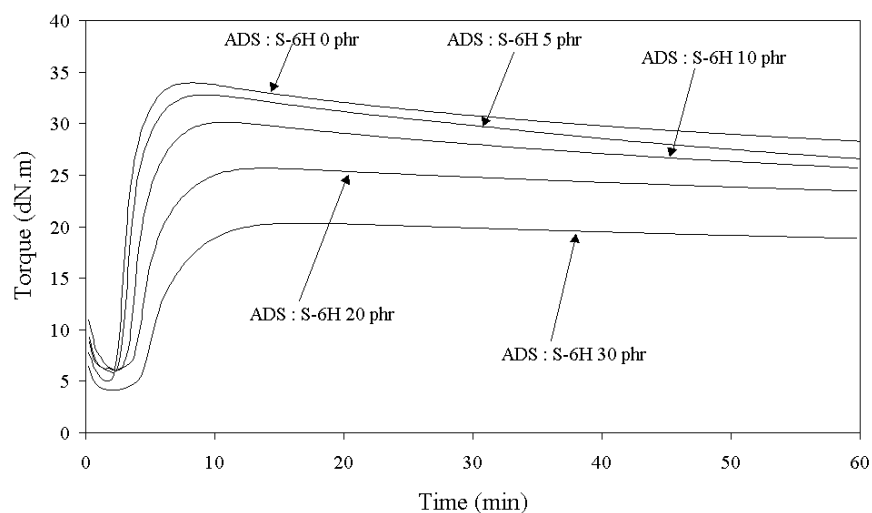
จากรูปที่ 13 จะเห็นว่า เวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม High styrene resin มีค่าสูงที่สุด กล่าวคือ เกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้า เนื่องจาก High styrene resin เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่มประกอบด้วยสไตรีนและบิวทาไดอีน โดยที่ส่วนของบิวทาไดอีนเป็นส่วนที่มีพันธะคู่ สามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซพรีนในโมเลกุลของยางธรรมชาติ พบว่า มีความว่องไวน้อยกว่า ดัง

นั้นเวลาการวัลคาไนเซชันของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม High styrene resin จึงมีค่าสูงกว่ายางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสม NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด และเมื่อเปรียบเทียบยางคอมปาวด์ที่ใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด พบว่า เวลาสกอชและเวลาการวัลคาไนซ์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อพิจารณาค่าดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีน พบว่า ยางคอมปาวด์ที่ผสม NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด มีค่าสูงกว่าการผสมกับ ยางคอมปาวด์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ผสมกับ High styrene resin โดยที่ดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ดังกล่าวที่ผสมกับ NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

2.5.3.2 ลักษณะการวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติ

2.5.3.2.1 อิทธิพลของปริมาณ High styrene resin ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

เตรียมยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ High styrene resin ดังนี้คือ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr ใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นนำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 14

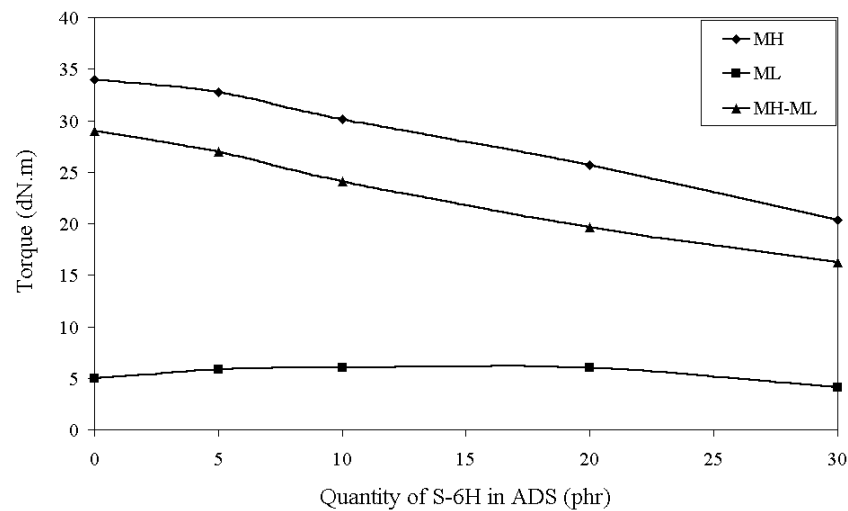


รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)

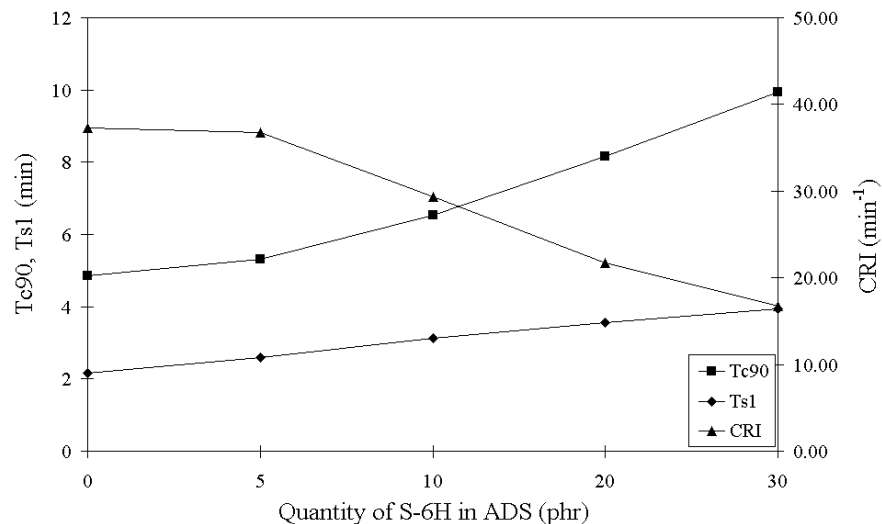
จากรูปที่ 14 พบว่า เมื่อเกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่ใช้ High styrene resin ปริมาณ 0, 5 และ 10 phr มีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านความทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางวัลคาไนซ์ที่ได้จะเกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ High styrene resin ปริมาณ 20 และ 30 phr จะเห็นว่ากราฟมีค่าทอร์กคงที่ นั่นคือมีความทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น จากรูปที่ 14 นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ High styrene resin ปริมาณต่างๆ ได้ดังรูปที่ 15 และ 16

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่า ค่าผลต่างของทอร์กของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่ผสมเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ High styrene resin เพิ่มขึ้น เนื่องจากเรซินชนิดนี้เป็นเทอร์โม

พลาสติกซึ่งเกิดการหลอมที่อุณหภูมิสูงและแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อผสมเข้ากับยางธรรมชาติ เรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูงสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงกับยางได้น้อย จึงส่งผลให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในยางวัลคาไนซ์ลดลง โดยที่ผลต่างของค่าทอร์กลดลงเมื่อปริมาณเรซิน High styrene resin เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณา ค่าทอร์กสูงสุด พบว่า การเพิ่มปริมาณ High styrene resin ไม่ทำให้สมบัติดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในขณะที่ค่าทอร์กสูงสุดมีค่าลดลงตามปริมาณเรซินที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 15 ค่าทอร์กสูงสุด ค่าทอร์กต่ำสุด ค่าผลต่างทอร์กสูงสุดและต่ำสุดของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)



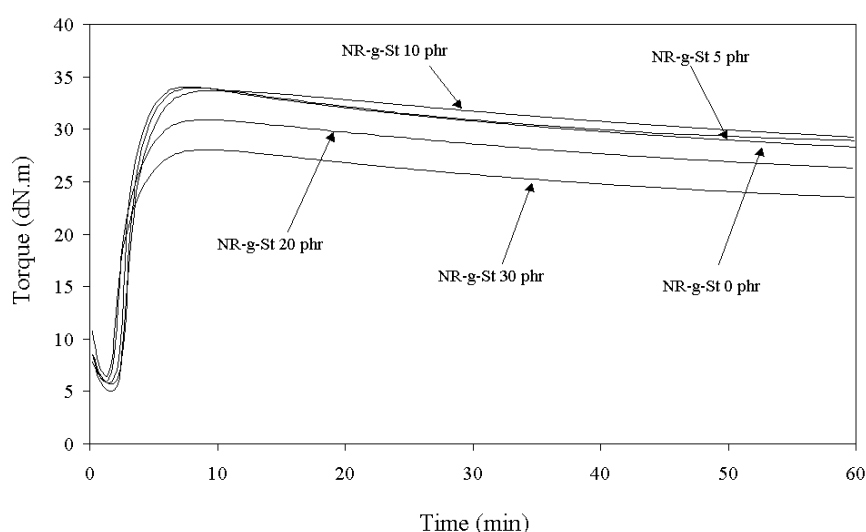
รูปที่ 16 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกอช และดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H)

จากรูปที่ 16 จะเห็นว่า เวลาสกอชและเวลาการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ผสม เรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูงเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ เกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้าลง เนื่องจากปริมาณเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูงมีผลต่อปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงของยางสไตรีนบิว

ทาไดอิน โดยที่การใส่เรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง ซึ่งในโครงสร้างมีส่วนของบิวทาไดอินซึ่งมีพันธะคู่อยู่ โดยในสูตรยางคอมปาวด์มีการใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์คงที่ ดังนั้นจึงทำให้อัตราส่วนของสารวัลคาไนซ์ต่อพันธะคู่ลดลง ส่งผลให้การวัลคาไนซ์เกิดขึ้นได้ช้าลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการวัลคาไนซ์ หรือดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ มีค่าลดลง

2.5.3.2.2 อิทธิพลของปริมาณกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

เตรียมยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40:60 % mole) ดังนี้คือ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr ใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นนำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 17

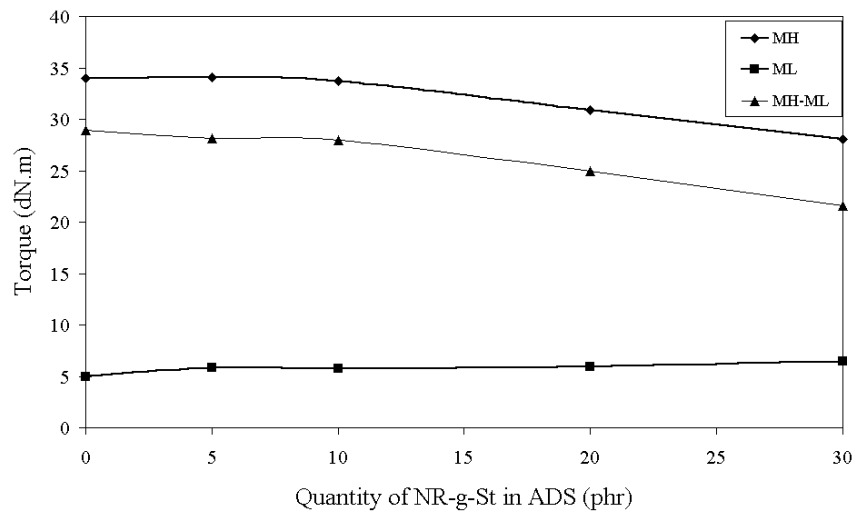


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)

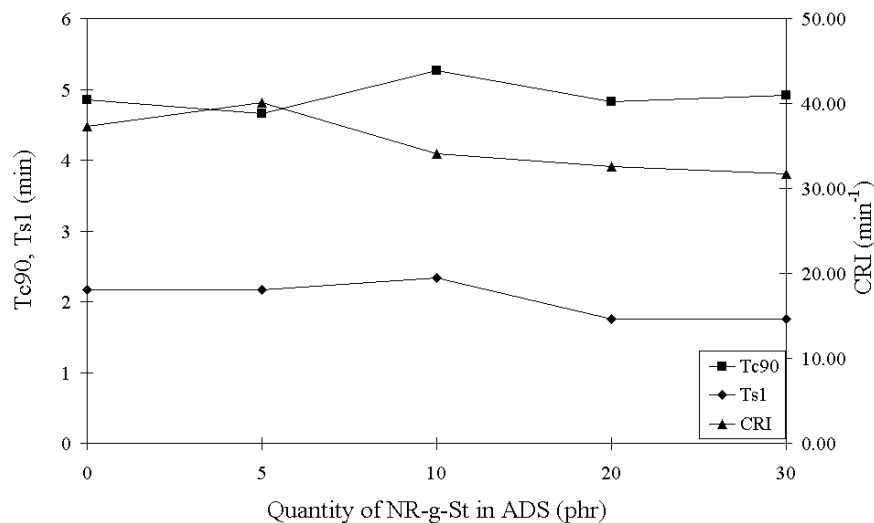
จากรูปที่ 17 พบว่า เมื่อเกิดการวัลคาไนซ์เช่นอย่างสมบูรณ์ยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่ผสมกับ NR-g-PS ปริมาณ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr จะมีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านความทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางวัลคาไนซ์ที่ได้เกิดการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น จากรูปที่ 17 นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่แปรปริมาณ NR-g-PS (40:60 % mole) ได้ดังรูปที่ 18 และ 19

จากรูปที่ 18 พบว่า ค่าทอร์กสูงสุดและค่าผลต่างของทอร์กของยางธรรมชาติที่ผสมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนที่อัตราส่วน 40:60 เปอร์เซนต์โดยโมล จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนเพิ่มสูงขึ้นทำนองเดียวกับการใช้เรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง เนื่องจากยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกเช่นเดียวกับเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง กล่าวคือ จะเกิดการหลอมที่อุณหภูมิสูง

และแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องทำให้ค่าผลต่างของทอร์คมีค่าลดลงเมื่อปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนเพิ่มขึ้น ส่วนค่าทอร์คต่ำสุดมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อปริมาณยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 18 ค่าทอร์คสูงสุด ค่าทอร์คต่ำสุด และค่าผลต่างทอร์คสูงสุดและต่ำสุด ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)

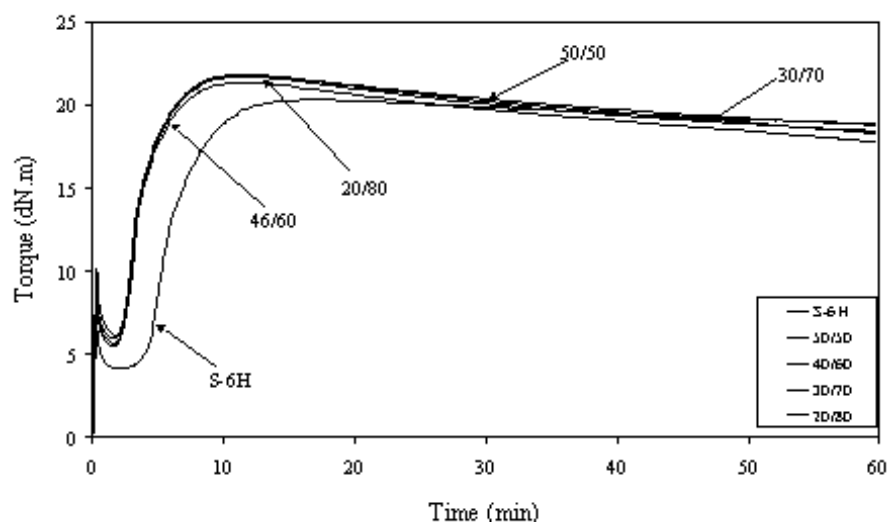


รูปที่ 19 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกอกซ์ และดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 19 จะเห็นว่าอัตราการวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติมีค่าลดลง เมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้น เนื่องจาก NR-g-PS มียางธรรมชาติอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้มีพันธะคู่อยู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน พันธะคู่มีความว่องไวต่อการวัลคาไนซ์ด้วยระบบดังกล่าว ทำให้เมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้นปริมาณพันธะคู่จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ปริมาณสารวัลคาไนซ์ในสูตรยางมีค่าคงที่ ทำให้อัตราส่วนของสารตัวเร่งต่อพันธะคู่ลดลง ทำให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้ช้าลง เมื่อพิจารณาเวลาการวัลคาไนซ์ พบว่า มีค่าลดลง กล่าวคือ เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น ส่วนเวลาสกอกซ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณ NR-g-PS

2.5.3.3 อิทธิพลของชนิดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนเปรียบเทียบกับเรซินที่มีสไตรีนปริมาณสูง

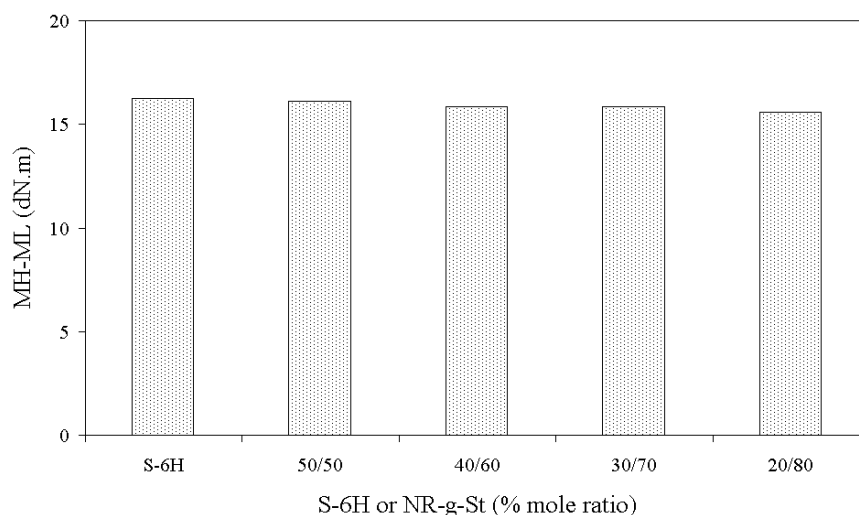
เตรียมยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรอัตราส่วนโดยโมลของ NR-g-PS เปรียบเทียบกับ High styrene resin ใช้สูตรและขั้นตอนการผสมดังตารางที่ 2 และ 3 จากนั้นนำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 20



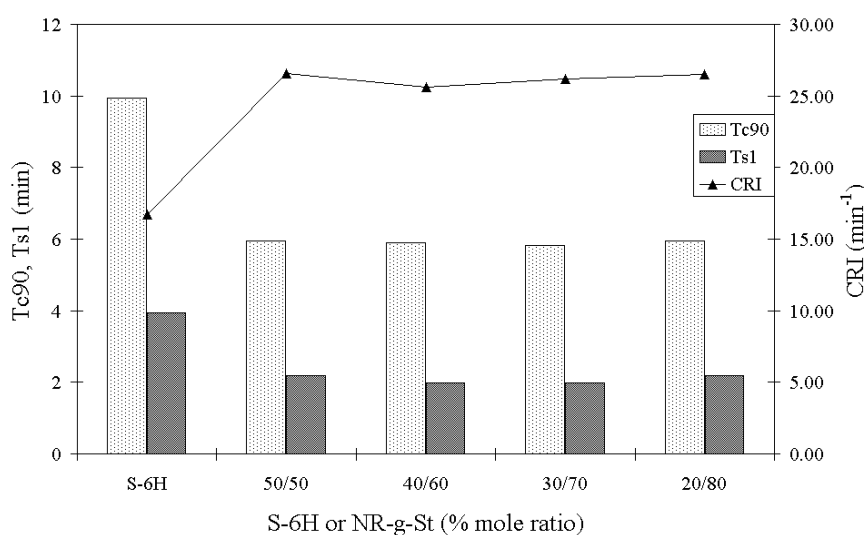
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาการคงรูป (Vulcanized) ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ S-6H ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 20 พบว่า เมื่อเกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ของยางธรรมชาติที่ใช้ High styrene resin และ NR-g-PS ชนิดต่างๆ ลักษณะกราฟมีค่าทอร์กลดลงหรือเกิดการรีเวอร์ชัน ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางด้านการทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นเมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์นานขึ้น ยางธรรมชาติจะเกิดการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น จากรูปที่ 20 นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดของ NR-g-PS เปรียบเทียบกับ High styrene resin ที่ปริมาณ 30 phr ได้ดังรูปที่ 21 และ 22

จากรูปที่ 21 จะเห็นว่า ผลต่างของค่าทอร์กของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่ผสม High styrene resin มีค่าใกล้เคียงกับ NR-g-PS ในรูปที่ 22 พบว่า อัตราการวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติที่ผสม High styrene resin มีค่าต่ำที่สุดเนื่องจากเรซินชนิดนี้มีผลต่อปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงของยางธรรมชาติโดยเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ช้ากว่าเนื่องจากมีส่วนของบิวทาไดอีนในโครงสร้าง ส่วนยางธรรมชาติที่ผสม NR-g-PS ชนิดต่างๆจะมีอัตราการวัลคาไนซ์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก NR-g-PS มีหน่วยไอโซพรีนอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้มีพันธะคู่ที่ว่องไวกว่าหน่วยบิวทาไดอีนอยู่ด้วย เมื่อเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาสกอชของยางคอมปาวด์ที่ใช้ High styrene resin มีค่าสูงกว่าการใช้ NR-g-PS กล่าวคือ เริ่มต้นปฏิกิริยาได้ช้ากว่า อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการผสมจะใช้อุณหภูมิในการผสมเริ่มต้นไม่เท่ากัน คือ NR-g-PS (50/50 และ 40/60 % mole) บดผสมในช่วงอุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส ในขณะที่ NR-g-PS (30/70 และ 20/80 % mole) บดผสมในช่วงอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 21 ค่าผลต่างทอร์กสูงสุดและต่ำสุด ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

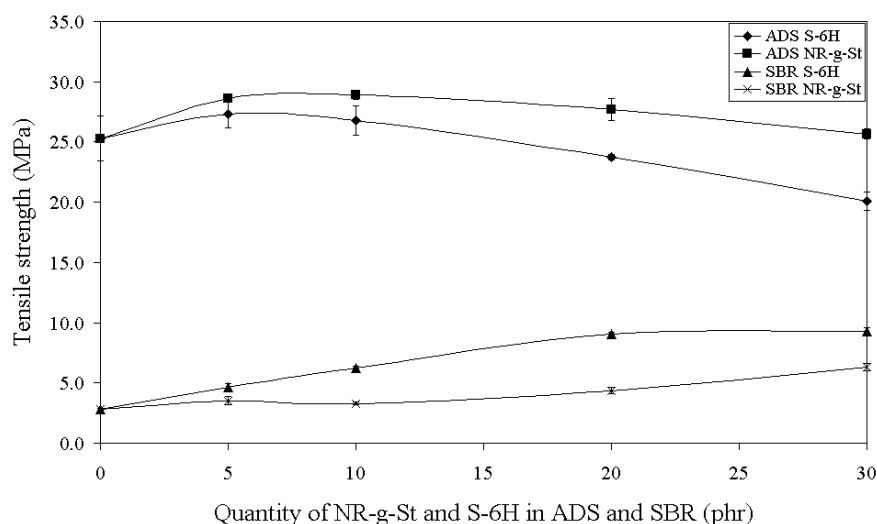


รูปที่ 22 เวลาวัลคาไนซ์ เวลาสกox และดัชนีอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ โดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

2.5.3.3 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มความแข็ง

2.5.3.3.1 ความต้านทานต่อแรงดึง

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติ High styrene resin และ NR-g-PS โดยแปรปริมาณต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, และ 30 phr และยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสม NR-g-PS ชนิดต่างๆ คือ 50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 % mole ไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และ 300% มอดูลัส ได้สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) ดังรูปที่ 23 – 26



รูปที่ 23 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 23 พบว่า เมื่อใช้ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มจาก 0 เป็น 5 phr ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และลดลงเมื่อปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มมากขึ้น โดยยางธรรมชาติผสม NR-g-PS มีค่าสูงกว่า High styrene resin เนื่องจากยางธรรมชาติผสม NR-g-PS สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ดีกว่า เพราะมีพันธะคู่ที่มีความว่องไวมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพันธะคู่ในสารเพิ่มความแข็งทั้งสองชนิด พบว่า NR-g-PS มีปริมาณพันธะคู่สูงกว่า High styrene resin

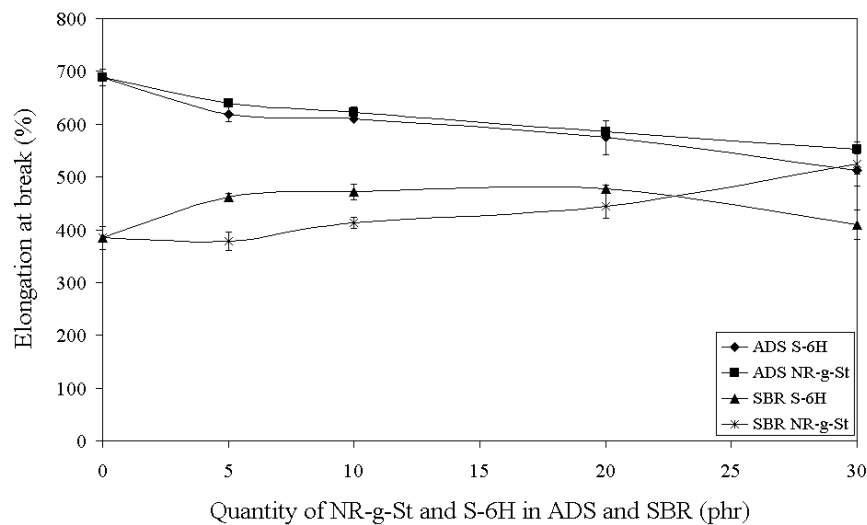
ในกรณียางสไตรีนบิวทาไดอินนั้น พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางสไตรีนบิวทาไดอินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มมากขึ้น โดยที่ยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม NR-g-PS มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม High styrene resin กับ NR-g-PS พบว่า ยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีค่าสูงกว่า เนื่องจากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin สามารถเข้ากันได้ดีกว่าเพราะมีองค์ประกอบทางโครงสร้างที่เหมือนกัน กล่าวคือ มีองค์ประกอบของสไตรีนกับบิวทาไดอินเหมือนกัน ทำให้ความแข็งแรงมากกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินผสม NR-g-PS

เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติกับยางสไตรีนบิวทาไดอินทั้งที่ผสมกับ High styrene resin และ NR-g-PS พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอิน เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด กล่าวคือ สามารถจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบเมื่อยืดทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอินนั้นไม่เกิดการตกผลึกเมื่อยืด จึงทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่ายางธรรมชาติ

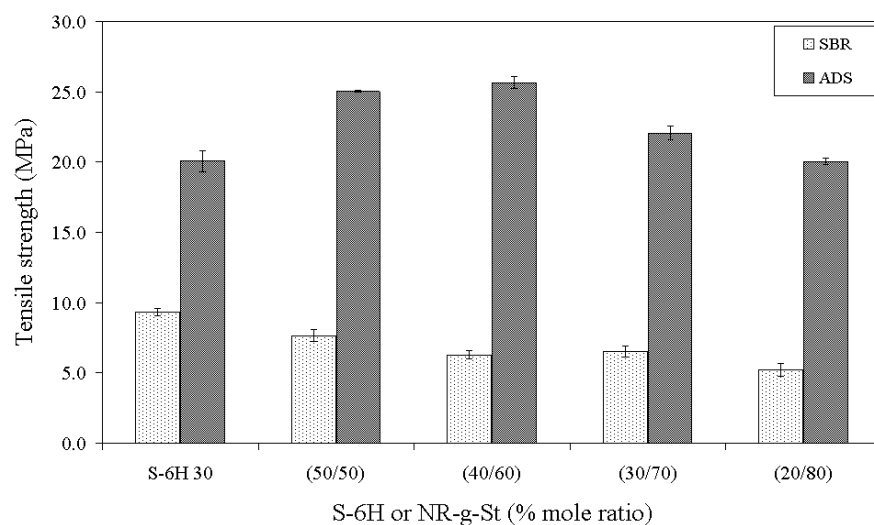
จากรูปที่ 24 พบว่า ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณสารเพิ่มความแข็งทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้นทำให้มีปริมาณยางธรรมชาติลดลง ความเป็นออสติกหรือความยืดหยุ่นจึงลดลง ทำให้ค่าระยะยืดที่จุดขาดมีค่าลดลง โดยที่ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS มีค่าแตกต่างกัน

ต่างกันไม่มากนัก ส่วนยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เรซินชนิดนี้ปริมาณ 5, 10, และ 20 phr และมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณ 30 phr ส่วนยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม NR-g-PS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติกับยางสไตรีนบิวทาไดอินทั้งที่ผสมกับ High styrene resin และ NR-g-PS พบว่า ยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติมีค่าระยะยืดที่จุดขาดสูงกว่ายางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอิน เนื่องจากยางสไตรีนบิวทาไดอินมีความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางธรรมชาติ โดยที่ยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอินมีค่า T_g เท่ากับ -72 และ -50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

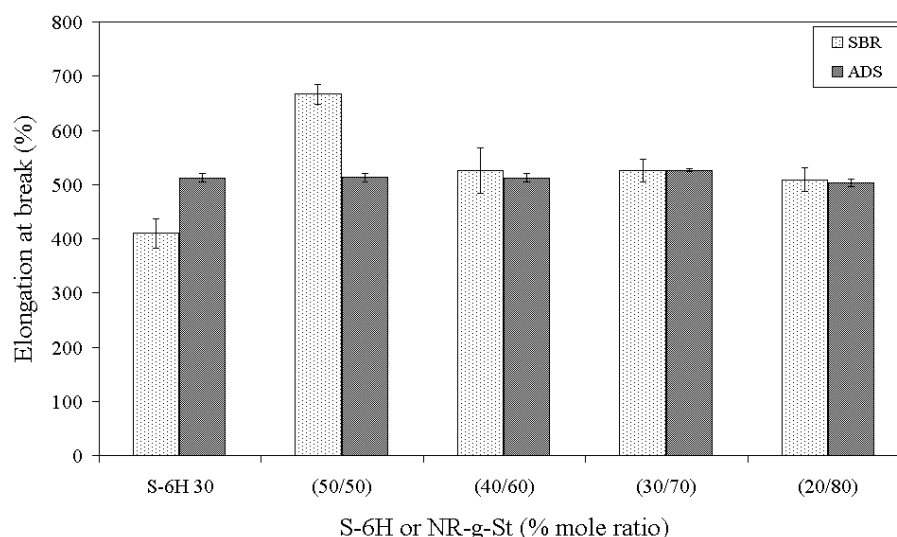


รูปที่ 24 ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)



รูปที่ 25 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 25 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin กับ NR-g-PS ชนิดต่างๆ พบว่า ยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ NR-g-PS (20:80 % mole) มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกับยางธรรมชาติผสม High styrene resin เนื่องจากยางธรรมชาติผสม High styrene resin กับ NR-g-PS (20:80 % mole) มีปริมาณสไตรีนที่ใกล้เคียงกัน คือ NR-g-PS (20:80 % mole) มีปริมาณสไตรีนอยู่ 85 กรัม ส่วน High styrene resin มีปริมาณสไตรีนอยู่ 82.5 กรัม ซึ่งเห็นว่าสารทั้งสองชนิดมีปริมาณสไตรีนที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ส่วนยางธรรมชาติผสม NR-g-PS (50:50, 40:60 และ 30:70 % mole) มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางธรรมชาติผสม High styrene resin เนื่องจากการที่มีปริมาณสไตรีนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า ทำให้มีสมบัติความเป็นยางมากกว่า ส่งผลทำให้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน พบว่า ยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS มีค่าสูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอีน เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้เมื่อยืด ส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

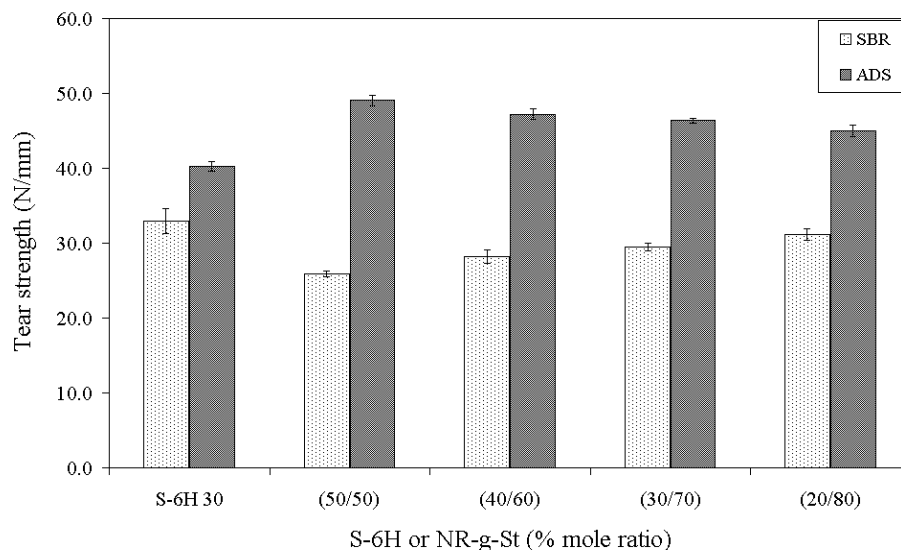


รูปที่ 26 ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 26 พบว่า ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin กับ NR-g-PS (50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 % mole) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสม NR-g-PS (50:50 % mole) พบว่า สามารถยืดได้มากที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณสไตรีนน้อยที่สุดทำให้มีสมบัติความเป็นยางมากจึงสามารถยืดได้มาก และจะยืดได้น้อยลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับสไตรีนเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณสไตรีนทำให้ยางมีสมบัติความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความเป็นยางลดลง การยืดหยุ่นหรือความสามารถในการยืดก็จะลดลงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน กรณีที่ใช้ High styrene resin พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าระยะยืดที่จุดขาดสูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอีน ส่วนการใช้ NR-g-PS พบว่า ยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ยกเว้น NR-g-PS (50:50 % mole)

2.5.3.3.2 ความต้านทานต่อการฉีกขาด

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสม NR-g-PS ชนิดต่างๆ ไปทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 27



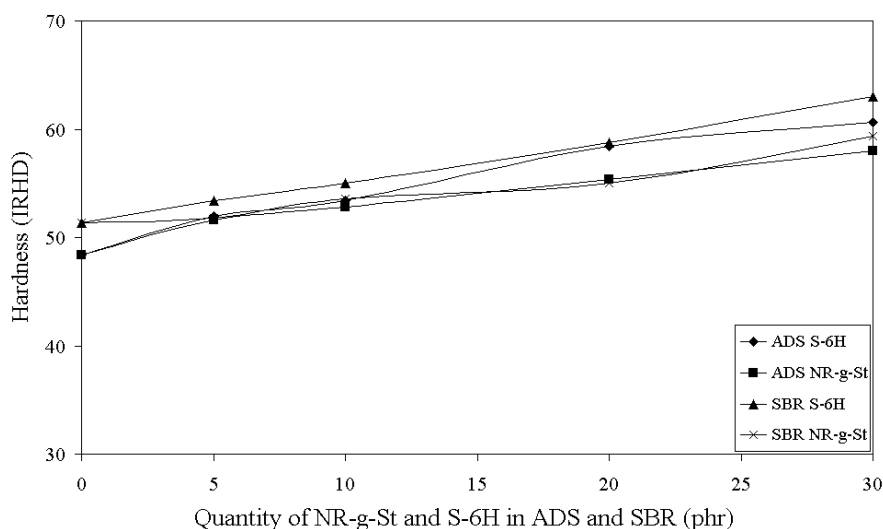
รูปที่ 27 ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 27 ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ NR-g-PS พบว่า มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนลดลง กล่าวคือ การมีปริมาณของสไตรีนเพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงลดลง ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติผสม High styrene resin พบว่า ยางธรรมชาติผสมกับ NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าผสม High styrene resin ค่อนข้างมาก เนื่องจาก NR-g-PS มีหน่วยไอโซพรีนเป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อผสมกับยางธรรมชาติสามารถเกิดความเข้ากันได้ดี ซึ่งยางธรรมชาติมีสมบัติทางด้านความทนทานต่อการฉีกขาดที่ดีเยี่ยม เพราะยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อถูกยืด ส่วนค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางสไตรีนบิวทาไดอิน พบว่า การผสม High styrene resin มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าผสม NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด เนื่องจาก High styrene resin มีองค์ประกอบของสไตรีนกับบิวทาไดอินเหมือนกันกับยางสไตรีนบิวทาไดอินทำให้เข้ากันได้ดีกว่า ความแข็งแรงจึงมากกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม NR-g-PS

2.5.3.3.3 ความแข็ง

2.5.3.3.3.1 อิทธิพลของปริมาณสารเพิ่มความแข็งในยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) โดยแปรปริมาณต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, และ 30 phr ไปทดสอบความแข็ง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 28



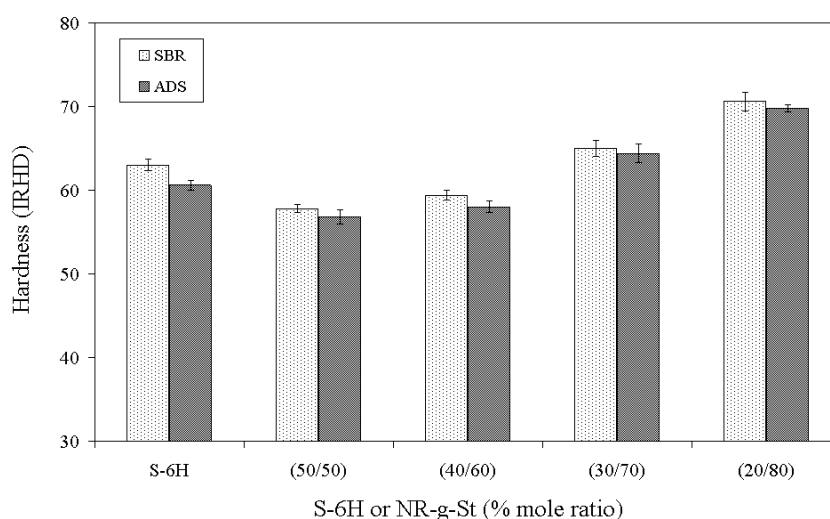
รูปที่ 28 ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ

High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 28 พบว่า ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเพิ่มความแข็งทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารทั้งสองชนิดเป็นสารเพิ่มความแข็งให้แก่ยางโดยมีสไตรีนเป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความแข็ง เมื่อมีปริมาณสไตรีนมากขึ้นทำให้ยางยังมีความแข็งมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างยางธรรมชาติกับยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin และ NR-g-PS พบว่า ค่าความแข็งของยางทั้งสองชนิดมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

2.5.3.3.3.2 อิทธิพลของชนิดสารเพิ่มความแข็งในยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS ชนิดต่างๆ ไปทดสอบความแข็ง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ

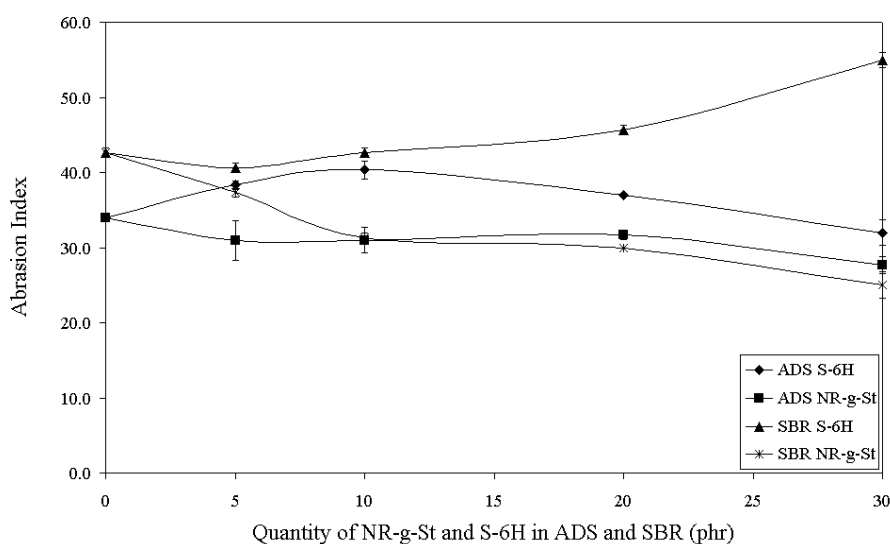
NR-g-PS และ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 29 พบว่า ค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสม NR-g-PS มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนลดลง กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณของสไตรีนเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS พบว่า ค่าความแข็งของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสม High styrene resin มีค่าใกล้เคียงกับ NR-g-PS (30:70 % mole)

2.5.3.3.4 ความต้านทานต่อการสึกหรอ

2.5.3.3.4.1 อิทธิพลของปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) โดยแปรปริมาณต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, และ 30 phr ไปทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 ค่าดัชนีการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติแปร

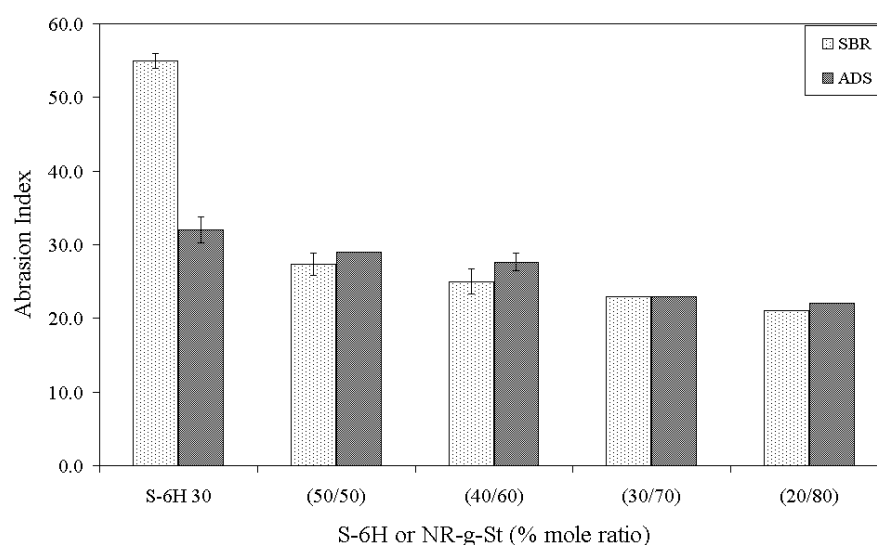
ปริมาณ High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)

จากรูปที่ 30 พบว่า ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเรซินชนิดนี้มากขึ้นจนถึงปริมาณ 10 phr จากนั้นความต้านทานต่อการสึกหรอมีค่าลดลงเมื่อใช้ High styrene resin ปริมาณ 20 และ 30 phr แสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณเรซินดังกล่าวมากเกินไปจะทำให้สมบัติทางด้านความทนทานต่อการสึกหรอลดลง ส่วนยางธรรมชาติผสมกับ NR-g-PS (40:60 % mole) สมบัติทางด้านความทนทานต่อการสึกหรอมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้น ส่วนยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสม High styrene resin มีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเรซินชนิดนี้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสม NR-g-PS จะมีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอลดลง แสดงให้เห็นว่า NR-g-PS เมื่อผสมกับยางธรรมชาติหรือยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอของยางทั้งสองชนิดมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารเพิ่มความแข็งทั้งสองชนิด พบว่า การใช้ High styrene resin มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงกว่า NR-g-PS

2.5.3.3.4.2 อิทธิพลของชนิดสารเพิ่มความแข็งในยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และผสม NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด ที่ปริมาณ 30 phr ไปทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ค่าดัชนีการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติโดยแปร

ชนิดของ NR-g-PS เปรียบเทียบกับ High styrene resin (S-6H) ที่ปริมาณ 30 phr

จากรูปที่ 31 พบว่า ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin มีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอมากกว่าการใช้ NR-g-PS และความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์ผสม NR-g-PS มีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับสไตรีนลดลง กล่าวคือ มีปริมาณสไตรีนเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ NR-g-PS ที่มีปริมาณสไตรีนสูงทำให้สมบัติทางด้านความทนทานต่อการสึกหรอลดลง เนื่องจากการมีปริมาณสไตรีนสูงทำให้สมบัติความเป็นยางลดลง ทำให้สมบัติทางด้านความทนทานต่อการสึกหรอลดลง ส่วนยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอมากกว่า NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีองค์ประกอบของสไตรีนและบิวทาไดอินเหมือนกันทำให้การผสมสามารถเข้ากันได้ดี อีกทั้งสมบัติของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่มีสมบัติเด่นในเรื่องของความต้านทานต่อการสึกหรอ จึงทำให้ยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอสูง

2.5.3.3.5 การขยายตัวของรอยแตก

2.5.3.3.5.1 อิทธิพลของปริมาณสารเพิ่มความแข็งในยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) โดยแปรปริมาณต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, และ 30 phr ไปทดสอบการขยายตัวของรอยแตก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)

จำนวน รอบ	ขนาดรอยแตก (mm)									
	SBR S-6H (phr)					SBR NR-g-St (phr)				
	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30
0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
50,000	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
100,000	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	4.0
150,000	4.0	2.5	2.5	2.5	3.0	4.0	3.0	4.0	4.0	5.5
200,000	5.0	2.5	2.5	2.5	3.5	5.0	3.5	5.0	5.5	7.0
250,000	6.0	3.0	3.0	3.0	4.0	6.0	4.0	6.5	7.5	8.5

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin กับ NR-g-PS (40:60 % mole) พบว่า ยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีค่าการขยายตัวของรอยแตกต่ำกว่าการผสม NR-g-PS กล่าวคือ มีความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกจากการหักงอดีกว่า เนื่องจากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีองค์ประกอบของสไตรีนและบิวทาไดอินเหมือนกัน จึงทำให้มีความเข้ากันได้ดีกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสมกับ NR-g-PS ซึ่งมีไอโซพรีนกับสไตรีนเป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อผสมกับยางสไตรีนบิวทาไดอินจึงมีสมบัติความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกที่ต่ำกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin

2.5.3.3.5.2 อิทธิพลของชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงในยางสไตรีนบิวทาไดอิน

นำยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin และ NR-g-PS (50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 % mole) ที่ปริมาณ 30 phr ไปทดสอบการขยายตัวของรอยแตก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin กับ NR-g-PS ชนิดต่างๆ พบว่า ยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีค่าการขยายตัวของรอยแตกต่ำกว่าผสมกับ NR-g-PS (40:60, 30:70 และ 20:80 % mole) ยกเว้น NR-g-PS (50:50 % mole) ที่ให้สมบัติใกล้เคียงกัน เนื่องจากยางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin มีองค์ประกอบของสไตรีนและบิวทาไดอินเหมือนกัน จึงทำให้มีความเข้ากันได้ดีกว่าการผสมกับ NR-g-PS ซึ่งมีไอโซพรีนกับสไตรีนเป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อผสมกับยางสไตรีนบิวทาไดอินจึงมีสมบัติความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกที่ต่ำกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินผสม High styrene resin

เมื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของรอยแตกของ NR-g-PS (50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 % mole) พบว่า ค่าการขยายตัวของรอยแตกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนลดลง กล่าวคือ มี

ปริมาณของสไตรีนเพิ่มขึ้น ทำให้ยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีความแข็งเพิ่มขึ้น สมบัติความเป็นยางลดลงทำให้มีความยืดหยุ่นต่ำ จึงมีการขยายตัวของรอยแตกมาก

ตารางที่ 5 ค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอีนโดยแปรชนิด NR-g-PS เปรียบเทียบกับ S-6H ที่ปริมาณ 30 phr

จำนวน รอบ	ขนาดรอยแตก (mm)				
	อัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีน (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)				
	S-6H	50:50	40:60	30:70	20:80
0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
50,000	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0
100,000	2.5	2.5	4.0	4.0	5.0
150,000	3.0	2.5	5.0	5.0	6.0
200,000	3.5	3.0	7.0	7.0	8.5
250,000	4.0	3.5	8.5	8.5	11.0

2.5.3.3.5.3 อิทธิพลของปริมาณสารเพิ่มความแข็งในยางธรรมชาติ

นำยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) โดยแปรปริมาณต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, และ 30 phr ไปทดสอบการขยายตัวของรอยแตก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณ High styrene resin (S-6H) และ NR-g-PS (40/60 % mole)

จำนวน รอบ	ขนาดรอยแตก (mm)									
	ADS S-6H (phr)					ADS NR-g-St (phr)				
	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30
0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
50,000	2.5	2.5	2.5	5.0	11.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
100,000	2.5	3.5	4.0	9.5	>15.0	2.5	2.5	3.0	4.0	5.0
150,000	3.5	5.0	6.0	>15.0	-	3.5	3.0	3.5	5.5	7.5
200,000	5.0	6.0	8.0	-	-	5.0	4.0	5.0	7.0	10.0
250,000	6.0	7.5	9.5	-	-	6.0	5.0	6.0	8.5	12.0

จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin กับ NR-g-PS (40:60 % mole) พบว่า ยางธรรมชาติผสม NR-g-PS (40:60 % mole) มีค่าการขยายตัวของรอยแตกที่สูงกว่า NR-g-PS ซึ่งแสดงว่ายางธรรมชาติที่ผสมกับ NR-g-PS มีความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกได้ดีกว่าการใช้ High styrene resin เนื่องจากยางธรรมชาติผสม NR-g-PS มีองค์ประกอบของไอโซพรีนและสไตรีนเหมือนกัน จึงทำให้มีความเข้ากันได้ดีกว่าการผสมกับ High styrene resin ซึ่งเรซินชนิดนี้มีปัญหาได้อีกกับสไตรีนเป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อผสมกับยางธรรมชาติจึงเข้ากันได้ไม่ดีและมีสมบัติความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติผสมกับ NR-g-PS

2.5.3.3.5.4 อิทธิพลของชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติ

นำยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin และ NR-g-PS ชนิดต่างๆ ที่ปริมาณ 30 phr ไปทดสอบการขยายตัวของรอยแตก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติโดยแปรชนิดของ NR-g-PS เปรียบเทียบกับเรซิน S-6H ที่ปริมาณ 30 phr

จำนวนรอบ	ขนาดรอยแตก (mm)				
	อัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีน (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)				
	S-6H	50:50	40:60	30:70	20:80
0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
50,000	11.5	2.5	2.5	4.0	5.0
100,000	>15.0	5.0	5.0	9.0	11.0
150,000	-	7.5	7.5	13.5	>15.0
200,000	-	9.5	10.0	>15.0	-
250,000	-	11.5	12.0	-	-

จากตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของรอยแตกของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสม High styrene resin กับ NR-g-PS (50:50, 40:60, 30:70 และ 20:80 % mole) พบว่า ยางธรรมชาติผสม High styrene resin มีค่าการขยายตัวของรอยแตกสูงกว่า NR-g-PS ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งแสดงว่ายางธรรมชาติผสมกับ NR-g-PS มีความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกได้ดีกว่าการผสมกับ High styrene resin เนื่องจากยางธรรมชาติที่ผสมกับ NR-g-PS มีองค์ประกอบของไอโซพรีนและสไตรีนเหมือนกัน จึงทำให้มีความเข้ากันได้ดีกว่ายางธรรมชาติที่ผสมกับ High styrene resin ซึ่งเรซินชนิดดังกล่าวมีปัญหาได้อีกกับสไตรีนเป็นองค์ประกอบทำให้เมื่อผสมกับยางธรรมชาติจึงเข้ากันได้ไม่ดีและมีสมบัติความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ผสมกับ NR-g-PS และเมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกของยางธรรมชาติ

ชาติที่ผสม NR-g-PS ชนิดต่างๆ พบว่า ค่าการขยายตัวของรอยแตกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีนลดลง กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณสไตรีนเพิ่มขึ้น ทำให้ยางธรรมชาติมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สมบัติความเป็นยางลดลง ทำให้มีความยืดหยุ่นต่ำ จึงมีการขยายตัวของรอยแตกมากขึ้นเหมือนกับยางสไตรีนบิวทาไดอิน

2.6 สรุปผล

2.6.1 อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางธรรมชาติกับปริมาณสไตรีนต่อการเกิดปฏิกิริยา

กราฟต์โคพอลิเมอร์

การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PS) ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับสไตรีน 50:50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล (50:50 % mole) มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนจากมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์สูงสุด โดยที่ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์มีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วน 30:70 % mole

2.6.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มความแข็ง

เวลาสกอซ

การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆคือ กราฟต์โคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆและ High styrene resin ปริมาณ 30 phr ในยางสไตรีนบิวทาไดอิน พบว่า ให้เวลาสกอซไม่แตกต่างกันมากนัก อยู่ในช่วง 8 – 12 นาที ส่วนในยางธรรมชาติจะให้เวลาสกอซต่ำกว่าในยางสไตรีนบิวทาไดอิน โดยให้ค่าอยู่ในช่วง 2 – 4 นาที

เวลาการวัลคาไนซ์

การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆข้างต้นปริมาณ 30 phr ในยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติ พบว่า การใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆให้เวลาการวัลคาไนซ์สั้นกว่า High styrene resin โดยที่การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆในยางธรรมชาติจะให้เวลาการวัลคาไนซ์สั้นกว่าในยางสไตรีนบิวทาไดอิน

ผลต่างทอร์กสูงสุดและต่ำสุด

การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆข้างต้นปริมาณ 30 phr ในยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติ พบว่า การใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆให้ผลต่างทอร์กสูงสุดและต่ำสุดไม่แตกต่างจากการใช้ High styrene resin โดยที่การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆในยางธรรมชาติมีผลต่างทอร์กสูงสุดและต่ำสุดสูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอินเล็กน้อย

อัตราการวัลคาไนซ์

การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆข้างต้นปริมาณ 30 phr ในยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติ พบว่า การใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆให้อัตราการวัลคาไนซ์สูงกว่าการใช้ High styrene resin โดยที่การใช้สารเพิ่มความแข็งชนิดต่างๆในยางธรรมชาติให้อัตราการวัลคาไนซ์สูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอิน

2.6.3 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มความแข็งแรง

ความต้านทานต่อแรงดึง

ความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 5 phr และลดลงเมื่อปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางสไตรีนบิวทาไดอินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงทั้ง 2 ชนิด เพิ่มขึ้น โดยสมบัติดังกล่าวของยางธรรมชาติที่ผสม NR-g-PS (20:80 % mole) มีค่าใกล้เคียงกับ High styrene resin (S-6H) ส่วนความต้านทานต่อแรงดึงของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม NR-g-PS พบว่า มีค่าต่ำกว่าการใช้ High styrene resin และ มีค่าลดลงเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทั้งสองชนิด พบว่า สมบัติดังกล่าวของยางธรรมชาติมีค่าสูงกว่ายางสไตรีนบิวทาไดอิน

ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางธรรมชาติมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรงทั้ง 2 ชนิด ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม High styrene resin ทำให้สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ 5 ถึง 20 phr และมีค่าลดลงเมื่อใช้มากขึ้น ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม NR-g-PS พบว่า สมบัติดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ NR-g-PS โดยที่ค่าระยะยืดที่จุดขาดของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม High styrene resin มีค่าต่ำกว่าการใช้ NR-g-PS โดยที่ NR-g-PS (50:50 % mole) มีค่าสูงที่สุด

ความต้านทานต่อการฉีกขาด

ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ผสม High styrene resin มีค่าต่ำกว่าการผสม NR-g-PS โดยที่ NR-g-PS (50:50 % mole) มีค่าสูงที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ใช้ High styrene resin พบว่า สมบัติดังกล่าวมีค่าสูงกว่าการใช้ NR-g-PS โดยที่ NR-g-PS (50:50 % mole) มีค่าต่ำที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทั้งสองชนิด พบว่า ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางสไตรีนบิวทาไดอินมีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติ

ความแข็งแรง

ความแข็งแรงของยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ High styrene resin และ NR-g-PS (40:60 % mole) นอกจากนี้ความแข็งแรงของยางสไตรีนบิวทาไดอินและยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยที่ความแข็งแรงของยางที่ใช้ NR-g-PS (30:70 % mole) มีค่าใกล้เคียงกับ High styrene resin (S-6H)

ความต้านทานต่อการสึกหรอ

ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางสไตรีนบิวทาไดอินที่ผสม NR-g-PS มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ High styrene resin ปริมาณมากขึ้นทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ผสม NR-g-PS พบว่า มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อ

ปริมาณ NR-g-PS เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ผสม High styrene resin มีเพิ่มขึ้นถึงปริมาณ 10 phr เมื่อใช้มากกว่านี้จะทำให้สมบัติดังกล่าวลดลง

ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติที่ผสม High styrene resin มีค่าสูงกว่าผสมกับ NR-g-PS ทั้ง 4 อัตราส่วน โดยที่ NR-g-PS (50:50 % mole) มีค่าสูงสุด และสมบัติดังกล่าวลดลง เมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

การขยายตัวของรอยแตก

การขยายของรอยแตกของยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ใช้ High styrene resin มีค่าต่ำกว่าการใช้ NR-g-PS (40:60 % mole) ในขณะที่การใช้ High styrene resin ในยางธรรมชาติมีการขยายของรอยแตกสูงกว่าการใช้ NR-g-PS

การขยายของรอยแตกของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติที่ผสม NR-g-PS พบว่า การใช้ NR-g-PS (50:50 mole %) มีการขยายของรอยแตกต่ำที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสไตรีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ในกรณีของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติ พบว่า การใช้ NR-g-PS (50:50 % mole) และ NR-g-PS (20:80 % mole) มีค่าการขยายของรอยแตกใกล้เคียงกับ High styrene resin (S-6H) ตามลำดับ

2.6.4 การสังเคราะห์ สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติ

กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานคือ อัตราส่วนของยางธรรมชาติกับสไตรีนเท่ากับ 40 : 60 เปอร์เซนต์โดยโมล มีประสิทธิภาพการกราฟต์ประมาณ 78 เปอร์เซนต์ ใช้อุณหภูมิการผสม 65 – 75 องศาเซลเซียส ถ้าปริมาณสไตรีนสูงกว่านี้ต้องใช้อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ให้สมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับการใช้ High styrene resin เหมาะกับการใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติ ในขณะที่การใช้ High styrene resin เหมาะกับยางสไตรีนบิวทาไดอีน

2.7 ข้อเสนอแนะ

2.7.1 เตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีนปริมาณสูงในระดับต้นแบบการผลิต ปริมาตร 1000 ลิตร สามารถต่อยอดไปสู่ภาคการผลิตจริง

2.7.2 ใช้ในสูตรยางสำหรับทำผลิตภัณฑ์จริงทดแทนการใช้ High styrene resin โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นหลัก หรือยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ต้องการสมบัติความทนทานต่อแรงดึง การยืด และความต้านทานต่อการฉีกขาด

2.8 เอกสารอ้างอิง

สิทธิพงษ์ อำนวยพาณิชย์, 2547. “กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน”, วารสารวิจัย มข., 9

(2): ก.ค.-ธ.ค. p 82-96

เจริญ นาคะสรรค์, อาชีชัน แกสมาน และ นิกร ยิมวัลย์. 2543. การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำยางธรรมชาติ

ชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงด้วยเมทิลเมทาคริเลท. ว. สงขลานครินทร์ วทท.
22(4): 467-476

Ainpour, P.R., 1985, US Pat. No. 4,526,579.

Arayaprane W., Prasassarakich P., Rempel G. L., 2002, Synthesis of graft copolymers from natural rubber using cumene hydroperoxide redox initiator, J., Appl. Polym. Sci. 83, p 2993-3001

Arayaprane W., Prasassarakich P., Rempel G. L., 2003, Process Variables and Their Effects on Grafting Reactions of Styrene and Methyl Methacrylate onto Natural Rubber, J., Appl. Polym. Sci. 89, p 63-74.

Das, B., Sinha, S. and Gangopadhyay, 1993, Natural rubber-polystyrene interpenetrating networks. Morphology and mechanical properties, Eur. Polym. J., 29(1), 57-61.

George, V., Britto, I.J., and Sebastian, M.S., 2003, Studies on radiation grafting of methyl methacrylate onto natural rubber for improving modulus of latex film, Rad. Phys. And Chem, 66, 367-372.

Hashim, A.S., Ong, S.K. and Tho, N.V., 2002, Properties of highly grafted Polystyrene-modified NR, Natural Rubber 28, Rubber Stichting, Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber, 12-14.

Hourston, D.J. and Romaine, 1989, Modification of natural rubber latex-I. Natural rubber-polystyrene composite latices synthesized using an amine-activated hydroperoxide, Eur. Polym. J., 25(7), 695-700.

Khansawai, P., 2005, Grafting of 2-Hydroxyethyl Methacrylate onto Natural Rubber, KKU Res. J., 10(2), 141-150.

Lehrle, R.S. and Willis, S.L., 1997, Modification of natural rubber: a study to assess the effect of vinyl acetate on the efficiency of grafting methyl methacrylate on rubber in latex form, in the presence of azo-bis-isobutyronitrile, Polymer, 38(24), 5937-5946.

Nakason, C., Kaesaman, A., and Supasanthitikul, P., 2004, The grafting of maleic anhydride onto natural rubber, Polym. Test., 23(1), 35-41.

Nampitch T., and Vatanatham T., 2006, Grafting Efficiency of Emulsion Copolymerization of Styrene on Natural Rubber Latex, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand

Oliveira, P.C., Oliveira, A.M., Garcia, A., Souza Barboza, J.C., Carvalho Zavaglia, C.A. and Santos., A.M., 2005a, Modification of natural rubber: A study by ¹H NMR to assess the degree of graftization of polyDMAEMA or polyMMA onto rubber particles under latex form in the presence of a redox couple initiator, Eur. Polym. J., 41, 1883-1892.

Oliveira, P.C., Guimaraes, A., Cavaille, J.Y., Chazeeau, L., Gilbert, R.G., and Santos, A.M., 2005b, Poly-(dimethylaminoethyl methacrylate) grafted natural rubber from seeded emulsion polymerization, Polymer, 46, 1105-1111.

- Oommen, Z. and Thomas, S., 1997, Melt rheological behaviour of natural rubber/poly(methyl methacrylate)/natural rubber-g-poly(methyl methacrylate) blends, *Polymer*, 38(22), 5611-5621.
- Prasassarakich, P., Sintoorahat, P., and Wongwisetsirikul, N., 2001, Enhanced Grafted Copolymerization of Styrene and Acrylonitrile onto Natural Rubber, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 34(2), 249-253.
- Schepers, H.A.J., and Seevens, R.H.M., 1992, US Pat. No. 5,096,972
- Wheelans, M.A., 1977, Hard flexible materials based on natural rubber. Part I: Blends of natural rubber with Heveaplus MG49, *NR Technol.* 8(4) 69-78.

ภาคผนวก

รายละเอียดการปรับปรุง / แก้ไขรายงานวิจัย

เรื่อง การเตรียมยางธรรมชาติกราฟต์ด้วยสไตรีนปริมาณสูงและการประยุกต์ใช้งานเป็นสารเพิ่มความแข็ง
 หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัสชัน แกสมาน

ประเด็นข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ	การปรับปรุง / แก้ไข
ข้อคิดเห็น	
1.) ตรวจสอบคำที่พิมพ์ผิด	แก้ไขคำผิด
2.) ทบทวนบทคัดย่อ/abstract มีความชัดเจนหรือไม่ ที่รองบรรทัดสุดท้าย น่าจะขัดแย้งกับประโยคข้างหน้า	ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ
3.) ควรอธิบายว่าทำไมจึงเลือก NR-g-PS เท่ากับ 40:60 มาใช้ในการทดลองตอนที่ vary ปริมาณ NR-g-PS	เพิ่มเติมข้อความในหน้า 13 (บรรทัด 8 – 9) “ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์อัตราส่วนดังกล่าวให้อุณหภูมิในการผสมต่ำกว่าที่อัตราส่วนที่ใช้สไตรีนสูงกว่นี้ กล่าวคือ ให้อุณหภูมิ 65 – 75°C”
4.) ผลในรูปที่ 2 กับคำอธิบาย (บรรทัดที่ 4-6) ไม่สอดคล้องกัน (% grafting efficiency ของ NR-g-PS เท่ากับ 40:60 และ 20:80)	แก้ไขคำอธิบาย โดยการทบทวนลำดับของประสิทธิภาพการเกาะติดของสไตรีนบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ และระบุข้อมูลประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยแก้ไขเป็น “รองลงมาคือ อัตราส่วน 50/50, 40/60 และ 20/80 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยมีค่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ดังนี้คือ 83.9, 77.9 และ 65.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ”
5.) หน้า 5 ข้อที่ 2.4.1 ควรระบุว่าวิธีการทดลองนี้มีความเหมือนหรือต่างจากงานวิจัยที่อ้างอิงอย่างไรบ้าง เป็นเรื่องที่ได้ดำเนินการใหม่หรืออย่างไร	เพิ่มเติมข้อความในหน้า 3 (บรรทัดที่ 27 – 31) “โดยงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องนั้นจะใช้ปริมาณสไตรีนต่ำกว่าในงานวิจัยนี้ เช่น สิทธิพงศ์ (2547) ได้ศึกษาโดยแปรปริมาณสไตรีนระหว่าง 10 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ส่วน Hourston and Romaine (1989) ได้ศึกษาโดยแปรปริมาณสไตรีนระหว่าง 10 – 30 เปอร์เซ็นต์เป็นต้น และได้เริ่มศึกษาการใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ในการเพิ่มความแข็งในยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์โดยศึกษาเปรียบเทียบกับสารเพิ่มความแข็งที่มีขายเชิงการค้าคือ High styrene resin”
6.) หน้า 8 ตรวจสอบข้อความบรรทัดที่ 6 นับจากข้างล่าง หรือหน้า 9 ตรวจสอบข้อความ	เพิ่มเติมคำอธิบายคือ “(ทั้งในส่วนที่เกิดเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์และพอลิสไตรีนอิสระ) เนื่องจากที่อัตรา

บรรทัดที่ 3 และ 4 นับจากข้างล่าง ที่อัตราส่วน 20:80 น่าจะเป็นลำดับสุดท้าย	ส่วน 50/50 เปอร์เซนต์โดยโมล มีการใช้อัตราส่วนของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาต่อปริมาณสไตรีนสูงที่สุด” • แก้ไขข้อความเช่นเดียวกับข้อ 4.)
7.) หน้า 10 ข้อ 2.5.2 ควรระบุว่าได้ศึกษา FT-IR ทุกอัตราส่วนทดลองหรือไม่ และ graph ที่แสดงเป็นเพียง 1 ตัวอย่างใช่หรือไม่	• ระบุข้อความ “และนำกราฟด์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทุกอัตราส่วนไป...” หน้า 3 (บรรทัด 15 – 16) • รูปที่นำเสนอในรายงานระบุที่อัตราส่วน 20/80 % โดยโมล (รูปที่ 3 สเปกตรัมอินฟราเรดของกราฟด์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติกับสไตรีนที่อัตราส่วน 20/80 % โดยโมล) • เพิ่มเติมข้อความ “ตัวอย่างของกราฟด์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติกับสไตรีนที่อัตราส่วน 20/80 %” หน้า 10 (บรรทัด 4)
8.) หน้า 12 และ 14 ควรระบุในคำอธิบายภาพที่ 7 และ 10 ว่า Tc, Ts และ CRI (คืออะไร) อยู่ตรงส่วนไหนของคำอธิบาย	• เพิ่มเติมข้อความโดยระบุในวงเล็บกำกับคือ (Scorch time, ts_1), (Cure time, Tc_{90}) ในหน้า 12 (บรรทัด 2 และ 4 จากล่าง) และ (Cure rate index, CRI) ในหน้า 13 (บรรทัด 4)
9.) รูปที่ 5, 8, 11, 14, 17 และ 20 คำอธิบายรูปแต่ละรูป “ความสัมพันธ์ระหว่าง....กับเวลา....” เวลาอะไร น่าจะเป็นเวลาการคงรูป (vulcanised) และทุกๆที่ใช้คำว่าสุดท้ายจะเป็นเวลาคงรูปหรือวัลคาไนซ์มากกว่า	• แก้ไขตามข้อเสนอแนะ โดยเพิ่มเติมคำ “เวลาการคงรูป (Vulcanized)” ในคำอธิบายรูปที่ 5, 8, 11, 14, 17 และ 20 • แก้ไขตามข้อเสนอแนะ
10.) ควรปรับ scale รูปที่ 28 และ 29 (ให้อยู่ระหว่าง 30-70/80) เพื่อจะได้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนขึ้น การใช้ NR-g-PS และ high styrene resin ในยาง NR (ปริมาณ 20 phr) ให้ hardness ต่างกัน 4-5 shore A ซึ่งความแตกต่างนี้อาจมีนัยสำคัญในผลิตภัณฑ์บางประเภท ดังนั้นสมบัติของ NR-g-PS ยังไม่เทียบเท่า high styrene resin ในบางกรณี	• แก้ไขตามข้อเสนอแนะ
11.) หน้า 21 ตรวจสอบหัวข้อ 2.10.2.3 หมายเลขจะผิด	• แก้ไขตามข้อเสนอแนะ
12.) ควรสรุปให้กระชับ (หน้า 33) โดยน่าจะบอกว่าสารที่เตรียมขึ้นนี้ใช้ได้และมีประสิทธิภาพ	• เพิ่มเติมข้อความในหน้า 35 (บรรทัด 14 – 19) โดยใช้หัวข้อ

ภาพใกล้เคียงกับ high styrene resin เมื่อมี grafting efficiency เท่าไหร่ หรือที่อัตราส่วนเท่าไหร่ ช่วยปรับปรุงสมบัติได้บ้าง และเหมาะกับยางชนิดใด	2.6.4 การสังเคราะห์ สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติ กราฟด์โคพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานคือ อัตราส่วนของยางธรรมชาติกับสไตรีนเท่ากับ 40 : 60 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีประสิทธิภาพการกราฟด์ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ใช้อุณหภูมิการผสม 65 – 75 องศาเซลเซียส ถ้าปริมาณสไตรีนสูงกว่านี้ต้องใช้อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ให้สมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับการใช้ High styrene resin เหมาะกับการใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติ
13.) หน้า 33 ยังขาดการสรุปผลการทดลองในส่วน of cure characteristics	แก้ไขตามข้อเสนอแนะ โดยใช้หัวข้อ 2.6.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางสไตรีนบิวทาไดอีนและยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มความแข็งแรง และข้อความในหน้า 33 (บรรทัด 11 – 28)
14.) หน้า 34 การกล่าวนำว่า การนำ NR-g-PS มาใช้ทดแทน high styrene resin อาจจะไม่ถูกต้องทั้งหมด เนื่องจากการใช้ NR-g-PS ที่เตรียมขึ้นไม่ได้แสดงสมบัติที่เป็นไปในแนวเดียวกันกับการใช้ high styrene resin ทั้งหมด ดังนั้นอาจกล่าวได้เพียงว่า สามารถนำ NR-g-PS มาใช้ปรับปรุงสมบัติได้บ้างเท่านั้น	เพิ่มเติมข้อความในข้อเสนอแนะหน้า 35 (บรรทัด 26 – 27) “โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นหลักหรือยางสไตรีนบิวทาไดอีนที่ต้องการสมบัติความทนทานต่อแรงดึง การยืด และความต้านทานต่อการฉีกขาด”
15.) ควรสรุปให้ชัดเจนว่า NR-g-PS ใช้ได้กับ NR ส่วน S-6H ใช้ได้ดีกับ SBR	แก้ไขตามข้อเสนอแนะเช่นเดียวกับข้อ 12 และเพิ่มเติมข้อความ “เหมาะกับการใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในยางธรรมชาติ ในขณะที่การใช้ High styrene resin เหมาะกับยางสไตรีนบิวทาไดอีน” หน้า 35 (บรรทัด 19 – 20)
ข้อเสนอแนะ	
1.) การเรียบเรียงคำอธิบาย อ่านแล้วเข้าใจยาก	รับไว้พิจารณาในการปรับปรุง
2.) ให้ทบทวนการรายงานข้อ 2.5.3.1 และ 2.5.3.2 ค่อยๆ ชำ้ๆ กันในการอธิบาย กราฟบางรูปน่าจะรายงานเป็นตารางสรุปได้ดีกว่า เช่น รูปที่ 6 และ 7, 9 และ 10, 12 และ 13, 15 และ 16, 18 และ 19, 21 และ 22 ซึ่งอาจนำเสนอสรุปเป็น 1	ผู้วิจัยขอให้ผู้อ่านเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆ ซึ่งการดูกราฟจะเห็นภาพของข้อมูลได้ชัดเจน และมีข้อกำหนดเรื่องจำนวนหน้าของรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถเพิ่มในส่วน of ตารางได้ แต่จะใช้พิจารณาในการทำรายงานวิจัย

หรือ 2 ตารางจะกระชับและสั้นกว่ามาก	ต่อไป
3.) ในทำนองเดียวกับข้อเสนอแนะที่ 1 ขอให้ทบทวนการรายงานผลข้อ 2.5 – 3.3 ควรสรุปให้กระชับได้ โดยไม่ต้องอธิบายหรือวิจารณ์ผลด้วยเหตุผลที่ซ้ำๆ	• รับไว้พิจารณาในการปรับปรุง
4.) ควรเพิ่มการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านราคาเปรียบเทียบการใช้ S-6H กับการใช้ NR-g-PS (ซึ่งควรประมาณค่าใช้จ่ายระดับ lab ของการเตรียม NR-g-PS) เป็นสารเพิ่มความแข็ง มีความคุ้มหรือไม่ เนื่องจากสมบัติที่ได้จากการเติม NR-g-PS ไม่ได้เด่นมากนัก	• ถ้าหากเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์จะเห็นว่า ราคาของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีราคาสูงกว่า S-6H พอสมควร เนื่องจากสารเริ่มต้นปฏิกิริยา คือ Cumene hydroperoxide (CHP) และ Tetraethylene pentamine (TEPA) มีราคาค่อนข้างสูง แต่ถ้ามองในอนาคตที่ราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีวัตถุดิบทดแทนค่อนข้างน้อย ในขณะที่ยางธรรมชาติสามารถผลิตได้จากพืช คิดว่า ถ้าเราสามารถแก้ไขเรื่องราคาของสารเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ใช้ ก็จะสามารถแข่งขันกับ S-6H ได้
5.) การรายงานในบทคัดย่อ น่าจะมีความชัดเจนระบุ (เป็นตาราง) ได้ว่า สูตรที่ดีที่สุดที่แนะนำคือ NR-g-PS ที่อัตราส่วน % mole เท่าไหร่ มีส่วนประกอบของสูตร compound แนะนำคืออะไร ได้สมบัติการ cure/สมบัติทางกายภาพคือ tensile, tear, abrasion, crack growth ในรูปของตัวเลขให้ผู้อ่านใช้ประกอบการพิจารณานำไปใช้ประโยชน์ได้จริงๆ	• การระบุรายละเอียดที่มากจนเกินไป โดยเฉพาะตัวเลขต่างๆ จะทำให้บทคัดย่อยาวจนเกินไป แต่จะพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนที่สำคัญ ส่วนรายละเอียดอื่นๆ น่าจะอยู่ในตัวรายงานฉบับสมบูรณ์