



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ.(1)

: การใช้เศษยางฟองน้ำธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในคอมปาวด์ยางธรรมชาติ

Research and development of Natural Rubber Latex and Products-PSU small
project group (1)

: Using Natural Rubber Latex Foam Scrap as Filler in Natural Rubber
Compound.

โดย

อนุวัติ แซ่ตั้ง และคณะ

31 มีนาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ.(1)

: การใช้เศษยางฟองน้ำธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในคอมปาวด์ยางธรรมชาติ

Research and development of Natural Rubber Latex and Products-PSU small
project group (1)

: Using Natural Rubber Latex Foam Scrap as Filler in Natural Rubber
Compound.

คณะผู้วิจัย

1. อนุวัติ แซ่ตั้ง
2. วรุฒ บุตดี (นักศึกษาผู้ทำวิจัย)

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive Summary

การศึกษาการนำเศษฟองน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในคอมเปาต์ยางธรรมชาติ โดยนำเศษฟองน้ำยางธรรมชาติจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์มาบดในเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) จำนวน 20 ครั้ง นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh (20 ช่องใน 1 นิ้ว) ทำให้ได้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติออกเป็น 2 ขนาด คือ ขนาด 20 mesh และ ใหญ่กว่า 20 mesh แล้วจึงนำมาศึกษาในประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. ผลของขนาดและปริมาณของเศษฟองน้ำยางธรรมชาติ ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์
2. เปรียบเทียบการใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติ เป็นสารตัวเติมในคอมเปาต์ยางธรรมชาติกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3), เหมดำ N-330, ซิลิกา (Silica) ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์
3. ผลของการใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติ เป็นสารตัวเติมร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3), เหมดำ N-330, ซิลิกา (Silica) ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์

จากการศึกษาผลของขนาด และปริมาณของเศษฟองน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์ ของการใช้เศษฟองน้ำทั้ง 2 ขนาด (20 mesh, ใหญ่กว่า 20 mesh) เป็นสารตัวเติม ที่ปริมาณเดียวกัน จะให้ผลต่อสมบัติก่อนวัลคาไนซ์ และหลังวัลคาไนซ์ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อใช้ปริมาณเศษฟองน้ำเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดมูนนี้เพิ่มขึ้น แต่เวลาที่สามารถแปรรูป (Scorch time) และเวลาวัลคาไนซ์ (Cure time) ลดลง ส่วนความสามารถในการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซทรูด (Cold feed extruder) โดยผ่านแกรวี่ได (Gravy die) พบว่ายางคอมเปาต์สามารถรักษารูปร่างดีขึ้น แต่ลักษณะขอบและผิวจะไม่เรียบเหมือนกันในทุกปริมาณของเศษฟองน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนสมบัติหลังการวัลคาไนซ์ในสูตรที่ใช้เศษฟองน้ำเป็นสารตัวเติม เมื่อปริมาณเศษฟองน้ำเพิ่มขึ้น สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง 100%, 300% โมดูลัส ความแข็ง ความต้านทานต่อการฉีกขาด การเสีกรูปเนื่องจากการกดและความกระด้างตัว มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความสามารถในการยืดจนขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานการหักงอ ลดลง ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติม CaCO_3 , N-330, Silica กับเศษฟองน้ำยางธรรมชาติ ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์ พบว่าคอมเปาต์ยางธรรมชาติ ที่ใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติม จะมีความหนืดมูนนี้ต่ำกว่า กลุ่มของสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (N-330, Silica) แต่

สูงกว่ากลุ่มของสารตัวเติมไม่เสริมประสิทธิภาพ (CaCO_3) ในขณะที่เวลาที่สามารถแปรรูป และเวลาวัลคาไนซ์ลดลง เมื่อเทียบที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากัน ส่วนความสามารถในการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซทูด พบว่าดีกว่าคอมเปคต์ที่ใช้สารตัวเติมอื่น ๆ โดยเฉพาะในกลุ่มเสริมประสิทธิภาพอย่างมาก

ส่วนสมบัติหลังการวัลคาไนซ์ ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากัน พบว่า การใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติม จะให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง 100%, 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความสามารถในการยืดจนขาด มีค่าใกล้เคียงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ที่ใช้ CaCO_3 เป็นสารตัวเติม แต่มีค่าน้อยกว่ายางธรรมชาติวัลคาไนซ์ที่ใช้ N-330 หรือ Silica เป็นสารตัวเติม แต่ความต้านทานการหักงอ การเสียรูปเนื่องจากการกด และความกระด้างตัว จะดีกว่าคอมเปคต์ที่ใช้สารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ส่วนความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติมมีค่าน้อยที่สุด

ผลของการใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติ เป็นสารตัวเติมร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3), N-330, ซิลิกา (Silica) ที่มีผลต่อสมบัติทั้งก่อน และหลัง วัลคาไนซ์ พบว่าเวลาสก็อช และเวลาการวัลคาไนซ์มีค่าลดลง แต่ความหนืดมูนนี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยางที่ได้จากการเอกซทูดมีลักษณะที่แข็ง ส่วนสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และการฉีกขาดจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ความสามารถในการยืด ความต้านทานต่อการหักงอ ความต้านทานต่อการสึกหรอลดลงกว่าสูตรที่ไม่มีการใช้เศษฟองน้ำ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยามีแนวโน้มเป็นรูเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเศษฟองน้ำเพิ่มขึ้น หรือการใช้ร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ขนาดเศษฟองน้ำไม่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนต จะมีลักษณะเช่นเดียวกับเศษฟองน้ำ ในขณะที่สารตัวเติมในกลุ่มเสริมประสิทธิภาพจะให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดีกว่า

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้เศษยางพองน้ำธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยมีการแปรขนาด (20 และมากกว่า 20 เมช) และแปรปริมาณ (0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr) พบว่าขนาดของเศษยางพองน้ำทั้งสองไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนืดมูนนี้ สมบัติการวัลคาไนซ์ ความสามารถในการแปรรูปด้วยเครื่องเอกซทรูด สมบัติทางกายภาพ และลักษณะทางสัณฐานวิทยา เมื่อปริมาณเศษยางพองน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาสก๊อช เวลาการวัลคาไนซ์ ระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อการหักงอมีค่าลดลง แต่ค่าความหนืดมูนนี้ ค่า 100%, 300% โมดูลัส ความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนความต้านทานต่อการดึง และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าสูงสุดที่ 30 phr ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะ และการเสียรูปเนื่องจากการกดไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนยางที่ได้จากการเอกซทรูดสามารถคงรูปร่างได้ดีขึ้น แต่ผิวมีลักษณะขรุขระ

เมื่อเปรียบเทียบการใช้เศษยางพองน้ำกับแคลเซียมคาร์บอเนต, เขม่าดำ และซิลิกา ที่ปริมาณสารตัวเติมเท่ากัน พบว่าเวลาสก๊อช เวลาการวัลคาไนซ์ใช้เวลาสั้นกว่า นอกจากนี้ความหนืดมูนนี้ ความถ่วงจำเพาะ ค่า 100, 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง มีค่าต่ำกว่าการใช้เขม่าดำ และซิลิกา แต่ความกระด้างตัว และความต้านทานต่อการหักงอมีค่าสูงกว่า การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจะให้คุณสมบัติเชิงกลด้อยกว่าเล็กน้อย ส่วนยางที่ได้จากการเอกซทรูดของคอมปาวด์ที่ใช้เศษยางพองน้ำมีลักษณะเยื่อที่สุก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เขม่าดำ และซิลิกามีกระจายตัวดีกว่าการใช้เศษยางพองน้ำ และแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ เมื่อใช้เขม่าดำ และซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณมากขึ้น พบว่าความหนืดมูน ความถ่วงจำเพาะ 100%, 300% โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความแข็ง และการเสียรูปเนื่องจากการกดมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามระยะยืดจนขาด ความต้านทานต่อการหักงอ และความกระด้างตัวลดลง ยางที่ได้จากการเอกซทรูดความสามารถรักษารูปร่างดีขึ้น

การใช้เศษยางพองน้ำร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต, เขม่าดำ, ซิลิกา ที่อัตราส่วน 30/40 phr เปรียบเทียบกับการไม่ใช้เศษยางพองน้ำ พบว่าการใช้เศษยางพองน้ำร่วมจะให้เวลาสก๊อช และเวลาการวัลคาไนซ์ลดลง ส่วนความหนืดมูนนี้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การใช้เศษยางพองน้ำร่วมกับสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (เขม่าดำ, ซิลิกา) ทำให้ความต้านทานต่อการดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความต้านทานต่อการหักงอ ระยะยืดจนขาด ความกระด้างตัว การเสียรูปเนื่องจากการกด มีค่าลดลง ส่วนค่า 100%, 300% โมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อความถ่วงจำเพาะ และความแข็ง ในขณะที่การใช้เศษยางพองน้ำร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตจะไม่ค่อยทำให้สมบัติทางกายภาพ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ยางที่ได้จากเอกซทรูดมีแนวโน้มเยื่อ

Abstracts

The research was studied on using natural rubber latex foam scarp as filler in natural rubber. The various size (20 and more 20 mesh) and loading quantities (0, 10, 20, 30, 40 and 50 phr) were carried out. It was found that the different these size were no significantly affected on the cure properties, extrude ability, physical properties and morphological properties. Increasing the amount of the natural rubber latex foam scarp reduced scorch time, cure time, elongation at break, abrasion resistance and flex resistance but increased mooney viscosity, 100%, 300% modulus and hardness. When loading natural rubber latex foam scarp rised up to 30 phr, tensile strength and tear strength were the highest. Specific gravity and compressing set were no change. In addition the extrudates were able to shape well but the surface was rough.

When we compared using natural rubber latex foam scarp with CaCO_3 , carbon black (HAF) and silica in the same a level of fillers, It was showed that scorch time and cure time were shorter. In addition 100%, 300% modulus, tensile strength, tears strength, hardness, specific gravity were lower but resilience and flex resistance were higher than using carbon black and silica. The mechanical properties were better than the using CaCO_3 slightly. The extrudate of natural latex foam scarp compound was the worst characteristic of the fillers compound. For morphology of rubber vulcanized, We also founded that the using carbon black and silica were better dispersion than using natural latex foam scarp and CaCO_3 respectively. Using high levels of CaCO_3 , carbon black and silica increased the mooney viscosity extrude ability, 100%, 300% modulus, tensile strength, tear strength, specific gravity, abrasion resistance, hardness and compression set on the contrary resilience, flex resistance and elongation at break were decreased. Furthermore the extrudates were also improved to shape form.

The mix ratio of natural latex foam scarp with others filler (CaCO_3 , carbon black and silica) was carried out, at 30/40 phr and the result also compared with natural latex foam scarp. It was found that the mixture was shorter scorch time and cure time than solely using the others fillers. Mooney viscosities were little variation. The mix of the natural latex foam scarp with the reinforcing filler (carbon black and silica), it was showed that abrasion resistance, flex resistance, resilience, tensile strength, tear strength are lower but 100%, 300% modulus were higher slightly. Hardness and specific gravity were no affected. While the mix of natural latex foam scarp with CaCO_3 was no varied with physical properties and morphological properties, the extrudates were also worse than solely the using CaCO_3 .

สารบัญ

หน้า

Executive Summary.....	(ก)
บทคัดย่อ.....	(ค)
Abstracts.....	(ง)
สารบัญ.....	(จ)
สารบัญตาราง.....	(ฉ)
สารบัญรูป.....	(ช)
เนื้อหาการวิจัย.....	1
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทางเลือกและแนวทางการแก้ไขปัญา.....	3
3. สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	6
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	6
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	8
3.3 วิธีการทดลอง.....	13
3.3.1 การเตรียมยางคอมปาด์.....	13
3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของขนาดและปริมาณเศษยางฟองน้ำที่ใช้เป็นสารตัวเติม ในยางธรรมชาติ.....	14
3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติ.....	14
3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ในยางธรรมชาติ.....	15
3.4 วิธีการทดสอบ.....	15
3.4.1 สมบัติของยางคอมปาด์.....	15
3.4.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์.....	17
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	21
5. สรุปผลการทดลอง.....	63
6. เอกสารอ้างอิง.....	64
สรุปผลการดำเนินงานและผลที่ได้รับ.....	66

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของขนาดเศษยางฟองน้ำที่ใช้เป็นสารตัวเติม.....	14
3.2 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติ.....	14
3.3 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ในยางธรรมชาติ.....	15
3.4 สูตรยางมาตรฐานทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	19
3.5 Running in และระยะเดินเครื่องที่ทดสอบจริง.....	19

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Akron.....	9
3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอและความต้านทานต่อการขยายของรอยแตก	10
3.3 เครื่องทดสอบการกระเดื่องตัว.....	11
3.4 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด.....	12
3.5 เครื่องเอกซทรูดแบบป้อนเย็น.....	12
3.6 ลักษณะผิวยางที่ได้จากการเอกซทรูดที่จัดแบ่งตามมาตรฐาน ASTM D 2230 ระบบ B....	17
4.1 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความหนืดของยางคอมเพาต์.....	21
4.2 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อเวลาสก๊อชของยางคอมเพาต์.....	22
4.3 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพาต์.....	22
4.4 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อลักษณะผิวยางจากเครื่องเอกซทรูดของยางคอมเพาต์....	23
4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณเศษยางฟองน้ำระดับต่าง ๆ ของยางวัลคาไนซ์ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 500 เท่า...	24
4.6 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์.....	25
4.7 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่า 100% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	26
4.8 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่า 300% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	26
4.9 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์.....	27
4.10 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่าระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์.....	28
4.11 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์.....	29
4.12 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์.....	30
4.13 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการหักงอของยางวัลคาไนซ์.....	31
4.14 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์.....	32
4.15 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่าการกระเดื่องตัวของยางวัลคาไนซ์.....	33
4.16 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อการเสียรูปเนื่องจากการกดของยางวัลคาไนซ์.....	34
4.17 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความหนืดของยางคอมเพาต์.....	35
4.18 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อเวลาสก๊อชของยางคอมเพาต์.....	36
4.19 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพาต์.....	36
4.20 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อลักษณะผิวยางจากเครื่องเอกซทรูด ของยางคอมเพาต์.....	37

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.21 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณ 40 phr จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 500 เท่า.....	38
4.22 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์.....	39
4.23 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อค่า 100% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	40
4.24 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อค่า 300% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	40
4.25 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์....	41
4.26 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อค่าระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์.....	42
4.27 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์.....	43
4.28 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์.....	44
4.29 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อการหักงอของยางวัลคาไนซ์.....	45
4.30 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความต้านทานต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์.....	46
4.31 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อค่าการกระเดื่องตัวของยางวัลคาไนซ์.....	47
4.32 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อการเสียรูปเนื่องจากการกดของยางวัลคาไนซ์.....	48
4.33 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความหนืดของยางคอมปาด์.....	49
4.34 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อเวลาสก๊อชของยางคอมปาด์.....	50
4.35 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาด์.....	50
4.36 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อลักษณะผิวยางจากเครื่องเอกซทูดของยางคอมปาด์.....	51
4.37 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ร่วมกับเศษยางฟองน้ำ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 500 เท่า.....	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.38 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์.....	53
4.39 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อค่า 100% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	54
4.40 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อค่า 300% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์.....	54
4.41 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์.....	55
4.42 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อค่าระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์.....	56
4.43 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์.....	57
4.44 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์.....	58
4.45 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อการหักงอของยางวัลคาไนซ์.....	59
4.46 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อความต้านทานต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์.....	60
4.47 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อค่าการกระเดื่องตัวของยางวัลคาไนซ์.....	61
4.48 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ต่อการเสียรูปเนื่องจากการกดของยางวัลคาไนซ์.....	62

สัญญาเลขที่ RDG4750002

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ. (1)”

: การใช้เศษฟองน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในคอมปาวด์ยางธรรมชาติ

รายงานฉบับสมบูรณ์

เนื้อหาการวิจัย

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้ทั่วโลกให้ความสำคัญและรณรงค์อย่างมากในเรื่องการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตโดยตรง ประเด็นหนึ่งที่มีการศึกษากันมากคือความพยายามในการจัดการเศษยางที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปและการคัดออกตามข้อกำหนด เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง และเศษจากการตกแต่ง รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษยางที่ได้จากอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ยางในรถยนต์ ยางรองเท้า เฟอร์นิเจอร์ ที่นอน เบาะ เป็นต้น

เศษยางเหล่านี้คือขยะที่ถูกทิ้งไว้อย่างเปล่าประโยชน์ ไม่สามารถเกิดการย่อยสลายได้ในเวลาอันรวดเร็ว นำไปเผาก็เกิดมลภาวะเป็นพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้น เพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องนำเศษยางเหล่านี้กลับมาใช้อีกครั้ง ซึ่งนอกจากจะช่วยแก้ไขปัญหามลพิษในเรื่องของปริมาณขยะที่มีมากขึ้นตลอดเวลา ยังเป็นเหตุผลทางเศรษฐกิจที่เพิ่มมูลค่าและเป็นการใช้ประโยชน์จากเศษยางนั้นอย่างสูงสุด

ยางฟองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติ ประกอบด้วยเซลล์ของอากาศที่ต่อเนื่องติดกันไปอยู่ในโครงสร้างของยาง ฟองน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติยืดหยุ่นดี นุ่ม ความหนาแน่นต่ำ และเมื่อถูกกระทำด้วยแรงกดสามารถคืนรูปกลับสู่สภาพเดิมได้ดี ส่งผลให้มีการใช้งานประเภทต่างๆ มากมาย เช่น ที่นอน เบาะ อุปกรณ์ตกแต่ง ของที่ระลึก วัสดุกันกระแทก ฉนวนกันความร้อน เป็นต้น (สุรศักดิ์, 2545)

จากการใช้งานที่กว้างขวางของยางฟองน้ำจึงทำให้เกิดเศษยางฟองน้ำจากการผลิต และเศษฟองน้ำที่หมดอายุการใช้งาน ส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันนี้นักวิจัยหันมาให้ความสนใจกับเศษยางจากผลิตภัณฑ์น้ำยางมากขึ้น เมื่อเทียบผลิตภัณฑ์การรีไซเคิลยางประเภทรีเทรม เนื่องจากสามารถจัดการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่าเดิม เช่น ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางไม่มีลวดในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังไม่เกิดการเสื่อมเนื่องจากวิธีการรีไซเคิล ทำให้มีคุณภาพดี ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณเศษจากผลิตภัณฑ์น้ำยางก็มีปริมาณมาก (Mathew *et al.*, 2001)

แต่เนื่องจากการนำเศษยางฟองน้ำมาใช้ประโยชน์ในฐานะเป็นสารตัวเติมยังมีน้อยมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากยางประเภทอื่น ๆ เช่นยางรถยนต์ ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะศึกษาการนำเศษยางฟองน้ำกลับมาใช้ในรูปสารตัวเติมในยาง โดยการวิจัยครั้งนี้จะเน้นศึกษาอิทธิพลของปริมาณ และ

ขนาดของเศษยางฟองน้ำต่อสมบัติของยางคอมปาวด์ สมบัติการแปรรูปจากเครื่องเอกซทรีด และสมบัติของยางหลังการวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของยางที่ใช้เศษยางฟองน้ำเป็นสารตัวเติมหลักเปรียบเทียบกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ และที่ใช้ร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ

1.2.2 เพื่อลดปัญหาขยะเศษยางฟองน้ำ และเพิ่มมูลค่าของเศษยางฟองน้ำ รวมทั้งเป็นต้นแบบในการนำเศษยางฟองน้ำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ใช้เศษยางจากฟองน้ำยางธรรมชาติ

1.3.2 ใช้ยางธรรมชาติ STR 5L

1.3.3 ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบปกติ

1.3.4 ใช้สารตัวเติม เขม่าดำ ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต

1.3.5 ทดสอบสมบัติของยางคอมปาว์และลักษณะการวัลคาไนซ์ เช่น ความหนืด การบวมพอง

1.3.6 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| - ความต้านทานต่อการดึง | - ความต้านทานต่อการฉีกขาด |
| - ความสึกหรอ | - ความต้านทานต่อการหักงอ |
| - ความแข็ง | - ความกระด้างตัว |
| - ความสามารถในการคืนรูปหลังการกด | - ลักษณะทางสัณฐานวิทยา |

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมบัติทั้งก่อนและหลังการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ที่ใช้เศษยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดและปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเศษยางฟองน้ำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อลดปริมาณของเสียจากขั้นตอนการผลิต และเพิ่มมูลค่าเศษยางฟองน้ำให้มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นต้นแบบเพื่อประยุกต์การใช้เศษยางฟองน้ำเป็นสารตัวเติม ไม่ว่าจะเป็นระดับอุตสาหกรรมหรือระดับชาวบ้านที่ร่วมกลุ่มกันทำผลิตภัณฑ์จากยางฟองน้ำ ซึ่งสามารถเพิ่มรายได้จากการนำเศษยางฟองน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นสารตัวเติมในการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์จากการอัดเบ้า เป็นต้น

2. ทางเลือกและแนวทางการแก้ไขปัญห

เนื่องจากการอุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมที่มีของเสียจากการผลิตโดยเฉพาะเศษยาง รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ยางที่หมดอายุการใช้งานซึ่งเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความสนใจในวงกว้าง เนื่องจากมีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นจึงความพยายามที่จะนำเศษยางเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ในงานหลาย ๆ รูปแบบเช่น การใช้เป็นเชื้อเพลิง การถมที่ การใช้ในงานวิศวกรรมโยธา หรือการผสมในยาง เป็นต้น (Myhre and Mackillop, 2002)

การนำเศษยางกลับมาใช้เพื่อนำมาผสมในยางใหม่สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ คือวิธีการทำยางรีเครม (Reclaiming)(Schaefer and Istringhaus, 1987) วิธีการทำให้เศษยางเล็กลง (Grinding and size reduction) (Phadke and Bhowmick, 1986 and Han, 2002) วิธีการปรับปรุงเศษยางโดยการใช้ตัวประสาน (Modification of crumb rubber and rebonding technology) วิธีการดีวัลคาไนซ์ (Devulcanization/Regeneration)(Warner, 1994)เป็นการสลายพันธะของโพลิหรือ โดและโมโนซัลไฟด์ บางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งจะมีอยู่หลายวิธีเช่น การใช้สารเคมี (Chemical devulcanization) การใช้ความร้อน (Thermal devulcanization)(Novotny *et al*, 1978) การใช้สารเคมีร่วมกับแรงกล (Chemomechanical devulcanization) (Ishiaku, *et al* 1999) การใช้ความร้อนร่วมกับแรงกล (Thermomechanical devulcanization) การใช้สารเคมีร่วมกับความร้อน (Thermochemical devulcanization)(Verbruggen *et al*, 1999) และการใช้คลื่นอุตราสัท (Ultrasonic devulcanization) (Isayev *et al*, 1993)

วิธีที่ได้รับความนิยมในการนำเศษยางกลับมาใช้คือการทำเศษยางให้มีขนาดเล็กแล้วผสมเข้าไปในยาง หรือพลาสติกหลายชนิดได้ เนื่องจากเป็นวิธีทางกลที่ไม่ต้องใช้สารเคมี หรือความร้อน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายในระหว่างการผลิต และสามารถนำเศษยางมาใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยที่สมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก สามารถใช้ประโยชน์จากเศษยางได้อย่างคุ้มค่า

โดยมีรายงานการวิจัยที่ใช้เศษยางวัลคาไนซ์กลับมาผสมในยางชนิดต่าง ๆ รวมถึงในพลาสติกดังนี้

Gibala and Hamed (1994) ได้เตรียมยางคอมปอนด์ที่ทราบส่วนผสมและศึกษาพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ เพื่อใช้เป็นเศษยางผสมลงไปในการคอมปอนด์ SBR พบว่าระยะเวลายางเริ่มสุก (Scorch time) และค่าทอร์คสูงสุดมีค่าลดลงมีสาเหตุมาจากการแพร่เข้าไปของกำมะถันจากยางเมตริกซ์ไปเศษยาง เป็นเหตุให้ค่าทอร์คสูงสุดลดต่ำลง และการแพร่ออกไปของสารตัวเร่งบางส่วนจากเศษยางไปสู่ยางเมตริกซ์เป็นผลให้ระยะเวลายางเริ่มสุกของลดลง

Jacob และคณะ (2000) ได้นำยาง EPDM ซึ่งเป็นเศษจากอุตสาหกรรมยางขอบกระจก มาขัดให้เป็นผงที่มีขนาด 10 ไมครอน โดยศึกษาความสามารถในการแปรรูป ลักษณะการวัลคาไนซ์ และคุณสมบัติของยางวัลคาไนซ์ของยางคอมปอนด์ที่ใช้ผงยาง EPDM พบว่าค่ามูนนี่ส์ก็้อช และค่าทอร์ค สูง

สุดของยางคอมปาวด์ลดลงตามปริมาณผงยางที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการแปรรูปของยางคอมปาวด์ดีขึ้นในกรณีที่ใส่ผงยาง EPDM ร่วมด้วย โดยแสดงออกมาทั้งการขยายตัวหลังจากหว่านคาย (Die swell) และการบิดรูปของยางคอมปาวด์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ผงยาง EPDM กับแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าให้สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ที่เหมือนกับแคลเซียมคาร์บอเนต แต่การใช้ผงยาง EPDM เป็นสารตัวเติมจะมีราคาถูกกว่า และพบว่าผงยาง EPDM สามารถผสมสูตรทำยางขอบกระจุกได้มากถึง 100 phr สมบัติของยางหลังวัลคาไนซ์จึงตกลงซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

Jacob *et. al.* (2003) ศึกษาสมบัติการแปรรูปของยาง EPDM ที่ใช้เศษยาง EPDM เป็นสารตัวเติม โดยพฤติกรรมการไหลของคอมปาวด์ของยาง EPDM โดยใช้เครื่องทดสอบ Monsanto processability ที่ช่วงอุณหภูมิ $90 - 110^{\circ}\text{C}$ และใช้ช่วงอัตราการเฉือนที่ $306.7 - 1533.24\text{ s}^{-1}$ พบว่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณของเศษยาง EPDM การขยายตัวหลังจากหว่านคาย (Die swell) ลดลงทุกระดับอุณหภูมิ และทุกระดับของอัตราเฉือน พบว่าช่วยลดการเสียรูปของยางที่ผ่านการเอ็กสทรูด รวมทั้งยังให้ผิวที่เรียบกว่า เมื่อสังเกตจากภาพถ่าย SEM

Ishiaku *et. al.* (2000) ใช้เศษยางที่มีลักษณะเป็นขดจากการขัดผลิตภัณฑ์ประเภทลูกบอล เพื่อใช้เป็นสารลดต้นทุนสำหรับคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ลดต้นทุนด้วยเครื่อง Monsanto MDR 2000 Rheometer ในขณะที่คุณสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์วัดโดยยึดถือตามมาตรฐาน ASTM พบว่ายางที่ผสมเศษยางลงไปความหนืดจะเพิ่มขึ้นไม่มากนักแต่ระยะเวลายางเริ่มสุก และเวลายางสุกของยางลดลง มีแนวโน้มเกิดการรีเวอร์ชัน (Reversion) มากขึ้น เมื่อเศษยางเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถใส่เศษยางเข้าไปเป็นสารตัวเติมได้ถึง 30 % โดยไม่ทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง ในขณะที่ค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ไม่มากนัก ส่วนสมบัติการกระด้างตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อมีเศษยางผสมอยู่มาก ดังนั้นเศษยางสามารถใช้เป็นสารลดต้นทุนได้จริงในยางคอมปาวด์

Ismail *et. al.* (2002) ใช้ยางที่ได้จากการอัดเบ้าลูกบอลและรูปไข่ (Rubber ball and artificial eggs) มาอัดให้เป็นผงที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง $250 - 500$ ไมครอน เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (SMR L) โดยศึกษาอิทธิพลของผงยางที่มีต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ คุณสมบัติด้านการดึง และพฤติกรรมกรรมการบวมพองของคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยทดลองแปรปริมาณผงยางตั้งแต่ $0 - 50$ phr พบว่าค่าทอร์คต่ำสุดและความหนืดของยางคอมปาวด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่ยางเริ่มสุกและเวลาที่ยางสุก (Cure time) ของยางมีแนวโน้มลดลง ส่วนความต้านทานต่อการบวมพองดีกว่า และค่า 100% และ 300% โมดูลัส ดีกว่าเล็กน้อย แต่ระยะยืดขาดลดลง อย่างไรก็ตามที่ปริมาณผงยาง 10 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นสูงสุด

Han, S.C. and Han, M. H. (2002) ศึกษาการใช้เศษยางจากยางวัลคาไนซ์มาใส่ในคอมปาวด์ยางธรรมชาติและยาง SBR ที่มีสารตัวเติมเขม่าดำร่วมอยู่ด้วยต่อคุณสมบัติด้านการสึกหรอและพฤติกรรมการแตกหัก โดยการศึกษาครั้งนี้จะใช้เศษยาง 4 ขนาดที่แตกต่างกันคือ $420 - 660$, $177 - 250$,

125 – 150 และ 75 – 88 ไมครอน ซึ่งเป็นเศษยางที่ได้มาจากยางล้อรถยนต์ที่หมดอายุการใช้งาน ปริมาณการใส่ในคอมเปาต์เป็น 10, 30 และ 50 phr พบว่าการขยายตัวของรอยแตกของคอมเปาต์ยาง SBR และยางธรรมชาติจะเกิดขึ้นได้ช้าเมื่อใส่เศษยางที่มีขนาดเล็กและในปริมาณมาก ซึ่งในลักษณะที่เกิดขึ้นนี้จะเห็นในยาง SBR ชัดเจนกว่าในยางธรรมชาติ

ในขณะที่ Phinyocheep (2002) นำพยางจากโรงงานอุตสาหกรรมรองเท้ากีฬาในส่วนของ midsole ซึ่งเป็นโฟมเอทิลไวนิลอะซิเตท (Ethylvinylacetane foam) และส่วนของ outsole ซึ่งเป็นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติ ยาง SBR และ BR มาผสมในโพลิโพรไพลีน (Polypropylene) โดยศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากัน (Compatibilizer) ต่อคุณสมบัติเชิงกลของโพลิโพรไพลีน ผสมกับพยาง พบว่าการใช้สไตรีนเอทิลีนบิวทีลีนสไตรีน (Styrene-ethylene-butylene-styrene, SEBS) และมาเลอิกกราฟบน SEBS เป็นสารเพิ่มความเข้ากันตามลำดับ ทำให้สมบัติความทนทานต่อการกระแทกดีขึ้น สำหรับคอมเปาต์ที่ใส่พยางในส่วนกลางของ midsole และ outsole ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงในแต่ละคอมเปาต์ลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณของสารเพิ่มความเข้ากันในขณะที่ระยะยืดขาดเพิ่มขึ้น

Ismail และ Suryadiansyih (2000) นำพยาง (RR) ที่ได้จากกระบวนการผลิตกันท์ลูกบอล และผลิตภัณฑ์รูปไข่มาผสมกับโพลิโพรไพลีน (PP) เพื่อทำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomer) เปรียบเทียบกับ ยางธรรมชาติ (NR) ชนิด SMR L ผสมกับโพลิโพรไพลีน โดยแปรปริมาณพยาง และปริมาณ SMR L พบว่า PP/RR ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ยังโมดูลัส (Young 's Modulus) ที่มีแนวโน้มเหมือนกับ PP/NR เมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้น แต่ค่าระยะยืดขาด และค่าแรงบิดที่ต่ำกว่า PP/NR ส่วนลักษณะพื้นฐานของรอยขาดจากขึ้นทดสอบแรงดึงที่ใช้เครื่อง SEM ตรวจสอบ พบว่ารอยแตกมีลักษณะผิวที่หยาบกว่าแสดงว่าใช้พลังงานมากกว่า

Yan *et. al.* (2003) ศึกษาอิทธิพลของยาง EPDM ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) และน้ำมันไดเมทิลซิลิโคน (Dimethyl silicone oil) ต่อสมบัติเชิงกลของคอมเปาต์ของโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polypropylene) กับเศษยางขนาด 60 เมช (mesh) ซึ่งเตรียมจากการใช้ความเย็นจัดแล้วคั่วให้เป็นเศษละเอียดพบว่าการใช้ยาง EPDM 10%, DCP 0.2%, น้ำมันไดเมทิลซิลิโคน 4% ในคอมเปาต์ที่มีเศษยาง 40% จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทกและระยะยืดขาดให้มากขึ้นประมาณ 160% และ 150% ตามลำดับ

Patarapaiboolchai *et. al.* (2002) นำถุงมือตกเกรดมาใช้เป็นสารตัวเติมในสูตรมากถึง 100 phr ยังให้สมบัติที่ดี เช่นเวลาสุกของยาง ความต้านทานต่อแรงดึง โมดูลัส ระยะยืดขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาด การขยายตัวของรอยแตกและดัชนีการสึกหรอ อย่างไรก็ตาม ระยะเวลายางเริ่มสุกลดลงและลักษณะผิวของยางที่ดันผ่านเครื่องเอ็กชทรูดจะมีผิวที่ขรุขระมากขึ้นเมื่อปริมาณถุงมือเพิ่มขึ้น ปริมาณถุงมือที่ใช้เข้าไป 40 phr ทำให้สมบัติดีในเรื่องของค่าสึกและการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กชทรูด โดยคายมาตรฐาน (Garvey die)

จากงานวิจัยเหล่านี้จะเห็นได้ว่าการนำเศษยางกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมนั้น เป็นวิธีที่มีการศึกษากันมากโดยเฉพาะสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ เช่น ดังนั้นแนวทางการวิจัยเพื่อนำเศษยางฟองน้ำมาใช้เป็นสารตัวเติมนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาสมบัติเหล่านี้ด้วย โดยนำเศษยางฟองน้ำมาตัดด้วยเครื่องตัดให้มีขนาดที่เล็กลงประมาณ แล้วนำไปร่อนเพื่อแยกขนาดของเศษโฟมออกเป็น 2 ขนาด หลังจากนั้นนำไปผสมในยางธรรมชาติ (STR 5L) ตามสูตรโดยทำการแปรปริมาณเศษยางฟองน้ำ ทั้ง 2 ขนาด แล้วเปรียบเทียบกับการใช้สารตัวเติมชนิดอื่นๆ เช่น เชมดำ ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต รวมถึงการใช้เศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมอื่นๆ จากนั้นศึกษาสมบัติต่างๆ ทั้งก่อน และหลังการวัลคาไนซ์ เช่น ลักษณะการวัลคาไนซ์ ความหนืดมูนี ความแข็ง ความต้านการดึง ความสามารถในการแปรรูป เป็นต้น

3. สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ยางแท่ง STR 5L

เป็นยางธรรมชาติอัดแท่งเกรด 5L ผลิตโดย บริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด

3.3.2 เศษยางฟองน้ำธรรมชาติ (Scrap Natural Rubber Foam)

เป็นยางฟองน้ำที่นำมาบดผ่านเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง โดยบดประมาณ 20 ครั้ง หลังจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 20 เมช (mesh) แล้วทำการแยกขนาด โดยฟองน้ำที่ผ่านตะแกรงจะเป็นขนาดเล็กมีขนาด 20 เมช และที่ไม่ผ่านตะแกรงจะเป็นขนาดใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 เมช ซึ่งยางฟองน้ำที่ใช้ได้มาจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

3.1.3 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

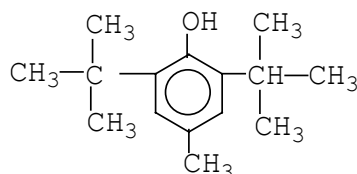
ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ชนิด White seal ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ผลิตโดย บริษัท China National Chemical Construction ประเทศจีน

3.1.4 กรดสเตียริก (Stearic acid)

ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ผลิตโดย บริษัทอิมพีเรียล อิมดัสทรีเคมีคอล จำกัด ประเทศไทย

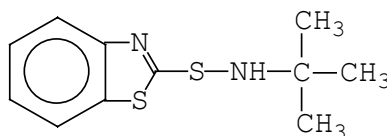
3.1.5 บิวทิลพารากรีซอล (2,6 Di-tert-butyl-p-cresol, BHT)

ลักษณะเป็นเม็ดสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมในยางธรรมชาติ ผลิตโดย บริษัท Sumitomo ประเทศญี่ปุ่น มีสูตรโครงสร้างดังนี้



3.1.6 เบนโซโซอาซิลซัลฟีนามิด (N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulphenamide, TBBS)

ลักษณะเป็นเม็ดสีขาวขุ่น เป็นสารตัวเร่งในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ผลิตโดย บริษัท ไบเออร์ ประเทศเยอรมันนี มีสูตรโครงสร้างดังนี้



3.1.7 กำมะถัน (Sulphur)

ลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ ผลิตโดย บริษัท สยามเคมี จำกัด ประเทศไทย

3.1.8 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)

ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ชนิด Ground-Calcium Carbonate จัดจำหน่ายโดย บริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.9 สารตัวเติมซิลิกา (Silica)

ลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวมีน้ำหนักเบาทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม จัดจำหน่ายโดย บริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.10 สารตัวเติมเขม่าดำ (Carbon black)

ลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำเป็นเกรด HAF- N330 ที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม จัดจำหน่ายโดย บริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.12 โทลูอิน (Toluene)

ลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดเท่ากับ 111.0 องศาเซลเซียส โดยทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย มีสูตรโมเลกุล $C_6H_5CH_3$ น้ำหนักโมเลกุล 92.14 เข้มข้น 99.5% ผลิตโดย บริษัท Labscan Ltd. ประเทศไอร์แลนด์

3.1.13 ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene glycol, DEG)

ลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส มีความถ่วงจำเพาะ 1.8 จุดเดือด 244 – 245 °C ทำหน้าที่เป็นสารลดประสิทธิภาพ (Deactivity) ผิวของสารตัวเติมซิลิกา

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight balance)

เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 620.00 กรัม รุ่น Virbra ผลิตโดยบริษัท Shiko Denshi Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ชั่งได้ละเอียด 0.0001 กรัม และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 120.0000 กรัม ยี่ห้อ LIBBOR รุ่น AGE-120 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบดและผสมยางคอมปาวด์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้ง 10 นิ้ว และความยาวของลูกกลิ้ง 20 นิ้ว สามารถปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip) ได้ และปรับพื้นที่ใช้งานโดยใช้ Guide อัตราส่วนของความเร็วผิวลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง เท่ากับ 1 : 1.25 อุณหภูมิของลูกกลิ้งสามารถควบคุมให้สูงต่ำโดยใช้ระบบน้ำหล่อผลิตโดย โรงงานชัยเจริญการช่าง

3.2.3 เครื่องวัดลักษณะการวัดคาไนซ์ (Oscillating disk rheometer , ODR)

เป็นเครื่องวัดลักษณะการวัดคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ ประกอบด้วยโรเตอร์แบบ Bionical disk ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3996 นิ้ว โรเตอร์หมุนไปกลับด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที หมุนกลับไปกลับมาด้วยมุม 1 องศา แรงที่ใช้กดฝาปิดบนเป็นระบบไฮดรอลิกลมเท่ากับ 11.0 ± 0.5 กิโลนิวตัน เป็นเครื่องรุ่น 2000 ผลิตโดยบริษัท Monsanto Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.4 เครื่องวัดความหนืด (Mooney viscometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด และลักษณะการวัลคาไนซ์ของยาง ใช้ระบบปิด-เปิดด้วยลม สามารถตั้งอุณหภูมิการทดสอบได้ตั้งแต่ 80-180 °C จานโลหะมี 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 38.01±0.01 มิลลิเมตร หนา 5.54±0.03 มิลลิเมตร ขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.48±0.03 มิลลิเมตร ห้องใส่ยางมีขนาด 50±0.13 มิลลิเมตร ลึก 10.62±0.03 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็ว 2 รอบ ต่อนาที ผลิตโดยบริษัท SPRI Co., Ltd ประเทศไทย

3.2.5 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศไทย เป็นเครื่องที่ใช้วัดแรงกดหรือแรงดึง สามารถรับแรงได้สูงสุด 10 กิโลนิวตัน มี Load cell เป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงที่อ่านได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวเลขแสดงผลการดึงและกดในหน่วย N สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.01 ถึง 1,000 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.2.6 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Akron (Akron abrasion machine)

ยางตัวอย่างจะถูกยึดติดกับเครื่องและหมุนด้วยความเร็ว 250 ± 5 รอบต่อนาที ขอบข้างจะสัมผัสกับแผ่นหินขัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และหนา 2.5 เซนติเมตร แผ่นหินขัดหมุนไปพร้อมกับยางตัวอย่างระนาบการหมุนสามารถปรับเอียงทำมุมได้โดยใช้หมุน 15 องศา หินขัดกดลงบนยางโดยใช้น้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม ในระหว่างทดสอบจะมีแปรงเล็กๆ คอยปัดเศษยางให้หลุดจากชิ้นทดสอบ เครื่องนี้ผลิตโดยบริษัท H.W. Wallace & Co., Ltd. ประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Akron

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ และความต้านทานต่อการขยายของรอยแตก (De Mattia Flexing Machine)

ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของมือประกอบด้วยหัวที่จับยางที่อยู่กับที่และหัวจับยางที่เคลื่อนไหวได้ หัวจับดังกล่าวจะจับปลายของยางเอาไว้ หัวจับที่เคลื่อนไวนั้น จะขึ้นลงอยู่ในแนวตั้งเข้าออกจากที่จับที่อยู่กับที่ โดยระยะชิดห่างจากที่จับอยู่กับที่นั้นสามารถปรับได้ ความเร็วของการเคลื่อนไวนี้เท่ากับ 300 ± 10 รอบต่อนาที ระยะการเคลื่อนไหวสูงสุดของหัวจับนั้นควรปรับได้ถึง 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) เครื่องที่ทำการทดสอบนี้ ควรจะทดสอบยางได้คราวละอย่างน้อย 6 ชิ้น และที่เหมาะสมที่สุดคือคราวละ 12 ชิ้น ที่จับนั้นจะต้องยึดกับตัวอย่างยางอย่างแน่นตลอดการทดลอง และที่จับจะแยกจับตัวอย่าง โดยที่จับ 1 อันจับยาง 1 ชิ้น เพื่อที่จะได้ปรับแต่ละชิ้นได้ถูกต้องตามความต้องการผลิตโดยบริษัท H.W. Wallace & Co., Ltd รูน Corydon Surrey ประเทศอังกฤษ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ และความต้านทานต่อการขยายของรอยแตก

3.2.8 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A

ใช้ในการวัดความแข็งของยางมีระบบสปริงเป็นตัวกดเข็มลงไปในยางจนกระทั่งเป็นแผ่นกดสัมผัสกับผิวของยางโดยใช้ระบบให้น้ำหนักคงที่เป็นตัวกดเครื่องไปบนชิ้นยางทดสอบซึ่งในแบบ Shore A ใช้น้ำหนักในการกด 822 กรัม ลักษณะปลายเข็มกดจะเป็นแบบกรวยปลายตัด เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A ที่ใช้ผลิตโดย บริษัท Brevelli AFTRI ประเทศอิตาลี

3.2.9 เครื่องทดสอบการกระเดื่องตัว (Dunlop Tripsometer)

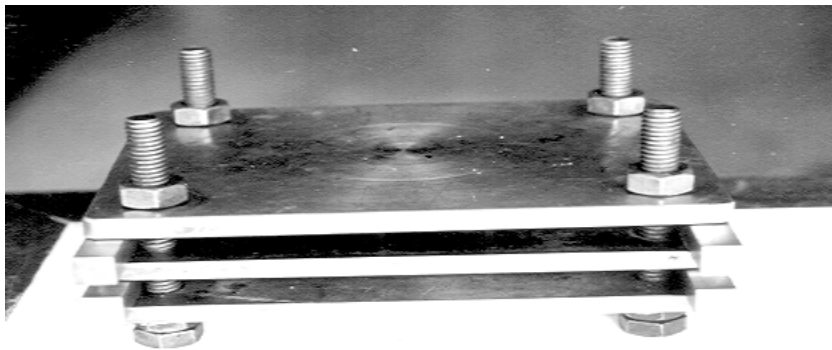
โดยจะมี Pendulum เป็นรูปจานโลหะเหล็กกล้า ตรงขอบจานมีปุ่มขึ้นที่ตรงปลายมีลูกกลมโลหะอยู่ลูกกลมโลหะดังกล่าวนี้จะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง ก่อให้เกิดมวลที่ไม่สมดุลในงาน ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของจานมีสเกลเป็นองศาบอกไว้ ลูกกลมโลหะจะถูกปล่อยจากมุม 45 องศา ให้กระทบกับตัวอย่างยาง และวัดขนาดของมุมที่จานสะท้อนขึ้น ตัวอย่างยางจะยึดแน่นกับที่จับตรงฐาน และใช้ระบบสัญญาณอาศัยจับยาง ตรงแท่นจับยางนั้น ผลิตโดย H.W. Wallace & Co., Lt ประเทศอังกฤษ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบการกระเดื่องตัว

3.2.10 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปของยาง (Compression Set Apparatus)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการคืนตัวกลับของยาง ประกอบด้วยแผ่นเหล็กขนาด 15 x 20 x 0.75 เซนติเมตร จำนวนสามแผ่นวางเรียงเป็นสองชั้น แต่ละชั้นถูกกั้นด้วย Space bar หนา 0.94 เซนติเมตร มีสกรูยึดแน่นทั้งสี่มุม เวลาทดสอบจะนำยางไปวางตรงกลางแล้วขันสกรูให้แน่นแล้วจึงนำไปอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกด

3.2.11 เครื่องเอกซทรูดแบบป้อนเย็น (Cold feed extruder)

ใช้ในการศึกษาลักษณะผิวของยางที่ถูกดันผ่าน Garvey die เครื่องเอกซทรูดเป็นเครื่องมือที่ผลักหรือดันยางให้ผ่านช่องที่เปิดเอาไว้ช่องนี้เรียกว่า die ลักษณะของยางที่ไหลออกมาจากช่องจะมีรูปร่างเป็นไปตามรูหน้าตัดของช่องที่เปิดเอาไว้โดยสกรูจะทำหน้าที่ดันยาง ตามความเร็วที่กำหนด และกระบอก (barrel) สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิ และของสกรูได้ ผลิตโดย บริษัท Farrell Limited ประเทศอังกฤษ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเอกซทรูดแบบป้อนเย็น

3.2.12 ตู้อบบ่มแรง (Gear aging oven)

เป็น รุ่น GPHH-200 ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 300 องศาเซลเซียส ใช้ในการบ่มแรงยางเพื่อทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ผลิตโดย บริษัท Tabai Espec Corp. ประเทศญี่ปุ่น

3.2.13 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic vulcanizing press)

เป็นเครื่องแบบ Compression Moulding 2 ชั้น ขนาดแผ่นอัด 16x16 นิ้ว ใช้ไฟ 3 เฟส ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า สามารถปรับอุณหภูมิได้ถึง 399°C ความดันที่ใช้อัดสูงสุด 6,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลิตโดย โรงงานชัยเจริญการช่าง ประเทศไทย

3.2.14 เครื่องหาความถ่วงจำเพาะ (Density Gravitometer)

เป็นเครื่องซึ่งสำเร็จ ที่ออกแบบสำหรับวัดความถ่วงจำเพาะของยาง โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ ผลิตโดยบริษัท Draveil-S&O ประเทศฝรั่งเศส

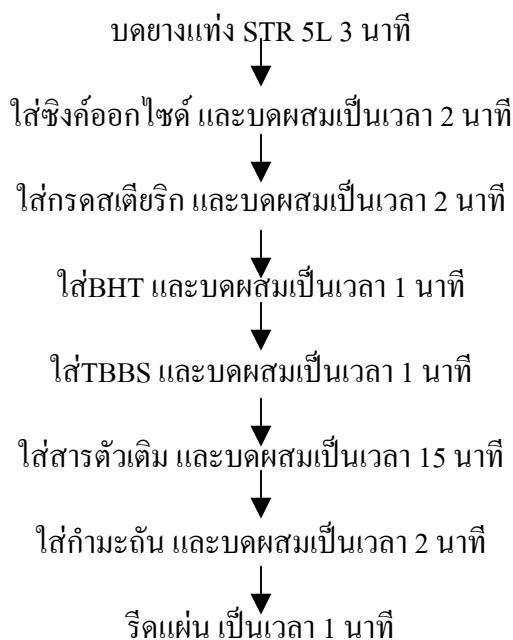
3.2.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Leo รุ่น 145VP ใช้สำหรับศึกษาลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา นำเข้าโดย บริษัท HTI ประเทศไทย จำกัด ผลิตโดย บริษัท Leo ประเทศอังกฤษ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมยางคอมปาด์

นำยางและสารเคมีมาบดผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง โดยมีลำดับการผสมดังนี้



3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของขนาดและปริมาณเศษยางฟองน้ำ ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดเศษยางฟองน้ำที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ที่มีขนาด 20 เมช และมีขนาดใหญ่กว่า 20 เมช โดยแปรปริมาณสารตัวเติมที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 3.1 แล้วนำมาบดผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามหัวข้อ 3.3.1 หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 3.4

ตารางที่ 3.1 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของขนาดเศษยางฟองน้ำ ที่ใช้เป็นสารตัวเติม

Ingredient	phr
STR 5L	100
ZnO	5
Stearic acid	1
BHT	1
TBBS	1
Natural rubber foam Scrap (20 mesh)	0, 10, 20, 30, 40, 50
Natural rubber foam Scrap (> 20 mesh)	0, 10, 20, 30, 40, 50
Sulphur	2.5

3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา เหมดำ เศษฟองน้ำขนาด 20 เมช และเศษฟองน้ำขนาดใหญ่กว่า 20 เมช โดยแปรปริมาณสารตัวเติมที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 3.3 แล้วนำมาบดผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามหัวข้อ 3.3.1 หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 3.4

ตารางที่ 3.2 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ในยางธรรมชาติ

Ingredient	phr
STR 5L	100
ZnO	5
Stearic acid	1
BHT	1
TBBS	1
Filler ^a	Variable
DEG	6% of silica (only silica)
Sulphur	2.5

^a CaCO₃ , Silica, HAF N-330, NR foam scrap (loading from 0 – 50 phr)

3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ในยางธรรมชาติ

ศึกษาอิทธิพลของขนาดเศษยางฟองน้ำที่มีขนาด 20 เมช และใหญ่กว่า 20 เมช ที่ระดับ 10 และ 30 phr ร่วมกับ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และเขม่าดำ โดยควบคุมปริมาณสารตัวเติมเหล่านี้ที่ระดับ 40 phr โดยใช้สูตรในการทดลองตามตารางที่ 3.3 แล้วนำมาบดผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามหัวข้อ 3.3.1 หลังจากนั้นนำยางคอมเพาต์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 3.4

ตารางที่ 3.3 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของเศษยางฟองน้ำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ในยางธรรมชาติ

Ingredient	phr					
	1	2	3	4	5	6
STR 5L	100	100	100	100	100	100
ZnO	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
BHT	1	1	1	1	1	1
TBBS	1	1	1	1	1	1
NR foam scrap	10	30	10	30	10	30
G-CaCO ₃	40	40	-	-	-	-
Silica	-	-	40	40	-	-
HAF N-330	-	-	-	-	40	40
DEG	-	-	2.4	2.4	-	-
Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 สมบัติของยางคอมเพาต์

3.4.1.1 การหาความหนืดของยาง (Mooney viscometer)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1646-99 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ตั้งอุณหภูมิห้องเสื้อของเครื่อง Mooney viscometer ที่อุณหภูมิ 100 ° C อุ่นโรเตอร์ในช่องใส่ยาง แล้วนำยางดิบที่เตรียมไว้ประมาณ 25 กรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยแต่ละส่วนให้มีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 12.5 กรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.75 นิ้ว นำยางประกบด้านบนและล่างของโรเตอร์ (ใช้ขนาดใหญ่) รองด้วยพลาสติกอีกชั้น แล้วใส่กลับเข้าไปในช่องใส่เป็นเวลา 1

นาที่ แล้วเดินเครื่องให้โรเตอร์ทำงานเป็นเวลา 4 นาที่ บันทึกค่าความหนืดที่เวลา 4 นาที่การรายงานผลอยู่ในรูป X ML (1+4) 100° C

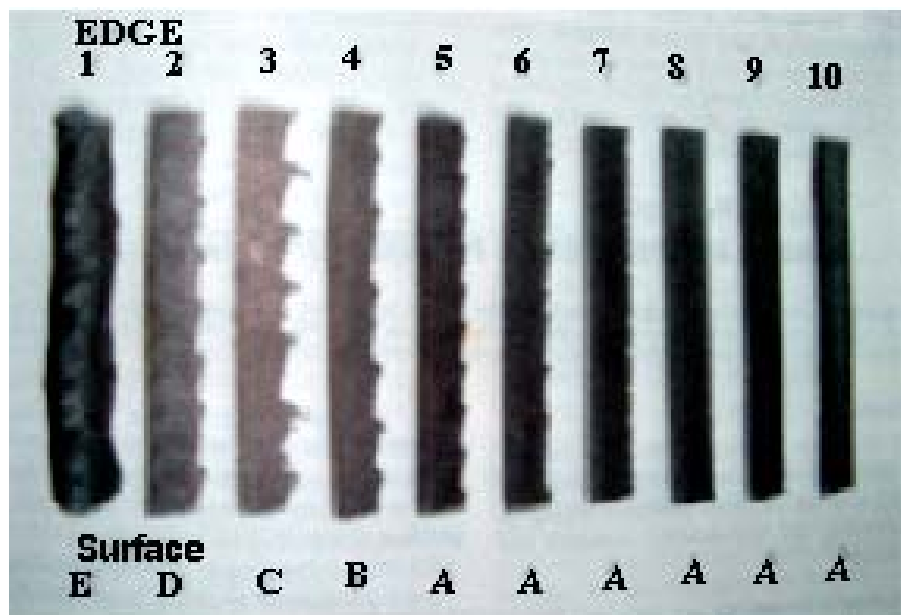
เมื่อ	X	คือค่าความหนืดที่อ่านได้
	ML	คือ โรเตอร์ขนาดใหญ่
	1	คือเวลาอุ่นยางเป็นเวลา 1 นาที่
	4	คือทดสอบเป็นเวลา 4 นาที่
	100°C	คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.1.2 การทดสอบการวัดคาไนซ์ของยาง (Oscillating Disk Rheometer)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2084-95 โดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer 100s ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ นำยางคอมเพาด์ที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสประมาณ 10 กรัม แล้ววางบนโรเตอร์ที่ผ่านการตั้งอุณหภูมิที่ 150 ° C แล้วเปิดเครื่องให้ทำงาน โรเตอร์จะหมุนทำมุม 1 องศา หลังจากครบเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องจะบันทึกค่าออกมาในรูปแบบของกราฟที่เราสามารถบันทึกค่าต่าง ๆ ได้ ดังนี้ ระยะที่ยางเกิดการแข็งตัว (Scorch time : ts₁) เวลาเป็นนาที่จากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 1 lbf.in , ระยะที่ยางสุก (Cure time : t₉₀) เวลาเป็นนาที่ของค่าแรงบิด 90% ของแรงบิดสูงสุด, แรงบิดต่ำสุด (Minimum torque : ML) และ แรงบิดสูงสุด (Maximum torque : MH)

3.4.1.3 การทดสอบการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซทรูด (Cold feed extruder)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 2230-96 โดยใช้เครื่องเอกซทรูดแบบป้อนเย็น มีการตั้งอุณหภูมิของกระบอก (Barrel) 70 ±10 °C ที่หัวและได (Garvey die) 110 ±15°C ในขณะที่ทำการอุ่นเครื่อง จะให้สกรูหมุน อย่างช้า ๆ เมื่อได้อุณหภูมิตามต้องการแล้ว จึงเดินเครื่องปรับรอบของสกรูเท่ากับ 45 รอบต่อนาที แล้วนำยางคอมปาวด์ที่ตัดเป็นแถบกว้างประมาณ 2 นิ้ว ใส่เข้าไปในเครื่องเอกซทรูด แล้วสังเกตลักษณะผิวของยางที่ถูกดันผ่าน Garvey die ที่จัดแบ่งตามมาตรฐานระบบ B (System B) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะผิวยางที่ได้จากการเอกซทрудที่จัดแบ่งตามมาตรฐาน ASTM D 2230 ระบบ B

3.4.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

3.4.2.1 การทดสอบลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา (Morphology)

การทดสอบลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยาโดยทำให้ชิ้นตัวอย่างแตกหักด้วยไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ได้ผิวทดสอบใหม่ แล้วทำการเคลือบชิ้นตัวอย่างด้วยทองคำภายใต้ระบบสุญญากาศ โดยปล่อยก๊าซอาร์กอน (Ar) และปรับกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ก๊าซอาร์กอนแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนวิ่งไปชนแผ่นทอง และลงมาเคลือบที่ชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า เพื่อสังเกตสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์

3.4.2.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ (Specific gravity)

ตัดตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ 2 – 3 กรัม นำชิ้นยางตัวอย่างและตุ้มถ่วงไปชั่งในอากาศ และชั่งในน้ำ ในการชั่งในน้ำ ต้องใ้ฟองอากาศที่จับผิวชิ้นตัวอย่างออกจนหมด และรอให้น้ำในถ้วยแก้วอยู่ในสถานะนิ่ง ไม่มีกระแสน้ำในแนวตั้งหรือกระแสไหลวน นำมาคำนวณผลดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{W_1}{(W_1 + W_2) - W_3} \quad (3.1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักยางในอากาศ (กรัม)

$W_1 + W_2$ คือ น้ำหนักยางและคีมถ่วงในอากาศ (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักยางในน้ำกับถ่วงในอากาศ (กรัม)

3.4.2.3 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปคีมเบลขนาด Die Type C โดยตัดตามแนว grain ขนาดความยาว 115 มม. กว้าง 6 ± 0.4 มม. จัดเส้นตรงกลางแนวการทดสอบ (gauge length) ระยะ 20 มิลลิเมตร ใช้ อัตราการเคลื่อนที่ของที่จับชิ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตร/นาที แล้วบันทึกค่าแรงที่ระยะยืด 100% และ 300% แรงที่ดึงจนขาด และระยะยืดที่ดึงจนขาด โดยมีสูตรในการคำนวณผลดังนี้

$$100\% \text{ Modulus} = F/A \quad (\text{MPa}) \quad (3.2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะ 100% จากระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)

$$300\% \text{ Modulus} = F/A \quad (\text{MPa}) \quad (3.3)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะ 300% จากระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม.)

$$\text{Tensile Strength} = F/A \quad (\text{MPa}) \quad (3.4)$$

F คือ แรงที่ใช้ในการยืดชิ้นทดสอบจนขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะที่ยืด (ตร.มม.)

$$\text{Elongation at Break} = (L - L_0)/L_0 \quad (\%) \quad (3.5)$$

L_0 คือ ระยะยืดขณะที่ชิ้นทดสอบขาด (ซม.)

L คือ ระยะกำหนดเริ่มต้นก่อนดึง (ซม.)

3.4.2.4 การทดสอบความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 624-98 โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นแบบมุมด้วย die B มีความหนา 2 ± 0.2 มม. ใช้อัตราเร็วในการดึง 500 ± 50 มม./นาที อ่านค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ยางฉีกขาดจากกัน โดยมีสูตรในการคำนวณผลดังสมการด้านล่างนี้

$$\text{Tear strength} = F/d \quad (\text{N/mm}) \quad (3.6)$$

เมื่อ	F	คือแรงดึงจนชิ้นทดสอบขาด (นิวตัน)
	d	คือความหนาของชิ้นทดสอบ (มม.)

3.4.2.5 การทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Akron (Abrasion Resistance)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน BS.903: Part A ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ เตรียมยางมาตรฐานตามสูตรในตารางที่ 3.4 และเตรียมยางมาตรฐานและยางตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบให้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มม. หนา 63.5 มม. ตรงกลางมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. ชั่งน้ำหนักแล้วไปทดสอบด้วยเครื่อง Akron Abrader ให้ครบ 500 รอบ ชั่งน้ำหนักและปริมาตรของยางที่หายไปเทียบกับตารางที่ 3.5 เพื่อหาจำนวนรอบที่จะ Running in และทดสอบจริงแล้วการ แล้วทดสอบจริง 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของปริมาตรยางที่หายไป

ตารางที่ 3.4 สูตรยางมาตรฐานทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ

ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
ZnO	5.00
Stearic acid	3.00
TMQ	1.00
TBBS	1.00
HAF-N330	50.00
Sulphur	3.00

ตารางที่ 3.5 Running in และระยะเดินเครื่องที่ทดสอบจริง

ปริมาตรยางที่หายไปจากการเดินเครื่อง 500 รอบ (cm ³)	จำนวนรอบเพิ่มเติมหลังจาก 500 รอบ รอบแรกเพื่อ	
	Running - in	จำนวนรอบที่ต้องทดสอบจริง
สูงกว่า 0.05 แต่ไม่เกิน 0.10	4,000	1,000
สูงกว่า 0.10 แต่ไม่เกิน 0.20	2,000	500
สูงกว่า 0.20 แต่ไม่เกิน 0.40	750	250
สูงกว่า 0.40	125	125

โดยมีสูตรในการคำนวณผลดังสมการด้านล่างนี้

$$\text{Abrasion index} = (S/T) \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรของยางมาตรฐานที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ
T คือ ปริมาตรของยางตัวอย่างที่หายไปจากการทดสอบ 1000 รอบ

3.4.2.6 การทดสอบความต้านทานต่อการหักงอแบบ De Mattia (Flex resistance)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 430-95 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ นำชิ้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง 25 ± 1 มม. ยาว 152 มม.หนา 6.3 ± 0.15 มม. มาติดบนเครื่อง De Mattia ซึ่งภายหลังการปรับเครื่องและใส่ยางเข้าในที่จับแล้ว ให้เดินเครื่องพร้อมกับจดจำนวนรอบให้เดินเครื่องตลอดเวลาและให้หยุดตรวจสอบรอยแตกบ่อย ๆ จนกระทั่งพบรอยแตกเล็ก ๆ ขนาดเส้นผมหรือเข็มหมุดรอยแรก ให้บันทึกจำนวนรอบไว้แล้วเดินเครื่องต่อไป โดยมาตรฐานนี้ได้กำหนดความรุนแรงของรอยแตกออกเป็น 10 ระดับตั้งแต่ A ไปจนถึง K ซึ่งได้ถือเกณฑ์ ระดับ C เป็นข้อกำหนด

3.4.2.7 การทดสอบความแข็งของยาง (Hardness)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240-86 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ ใช้เครื่องมือวัดความแข็ง กดลงบนยางหลาย ๆ ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งของยางจากหน้าปัดของเครื่องแล้วหาค่ากลางค่าที่ได้เป็นค่าความแข็งของยางหน่วยเป็น Shore A ยางที่ใช้ทดสอบมีความหนาประมาณ 8-10 มม. ความกว้างไม่น้อยกว่า 20 มม. การวัดจะต้องกดให้เป็นสัมผัสกับหน้ายางโดยตลอด อาจจะใช้มือกดหรือนำหนักกดก็ได้ ให้ทำการวัด 5 จุด ใช้ค่ากลาง เป็นค่าความแข็งของยางขึ้นทดสอบ

3.4.2.8 การทดสอบการกระเด้งตัวของยาง (Rebound resilience)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน BS.903 : Part A8 : 1990 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้คือ การเตรียมชิ้นทดสอบจากการอัดเข้าเป็นแผ่นกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 44.6 มม. หนา 4 มม. แล้วนำขึ้นทดสอบมาใส่เข้าไปในเครื่อง Wallace Dunlop Tripsometer แล้วเปิดสวิทซ์เครื่องดูระบบสูญญากาศให้ตัวอย่างยางติดกับแท่นจับ หลังจากนั้นเลื่อน pendulum ทำการกระแทกยางจากตำแหน่ง 45 องศาเป็นจำนวน 6 ครั้ง จะต้องกระทำภายในเวลา 1 min เพื่อทำการ conditioning ตัวอย่างยางก่อนทำการทดสอบจริง แล้วจึงเริ่มต้นการทดสอบจริงโดยปล่อยจาน pendulum จากตำแหน่ง 45 องศา ลงมากระทบยาง และอ่านองศาที่กระเด้งขึ้นมา โดยให้อ่านถูกต้องถึง 0.1 องศา ให้ทดลองเช่นนี้ 3 ถึง 6 ครั้ง ให้ถือเอาค่าคงที่ที่ได้จากการกระแทกติดกัน 3 ครั้งมาใช้ในการคำนวณนำมาคำนวณผลตามสมการด้านล่างนี้

$$\text{Resilience} = 100 \times (1 - \cos B) / (1 - \cos A) \quad (\%) \quad (3.8)$$

เมื่อ	A	คือมุมเป็นองศาที่ pendulum ตั้งต้น (45 องศา)
	B	คือมุมเป็นองศาที่ pendulum กระดอนขึ้น

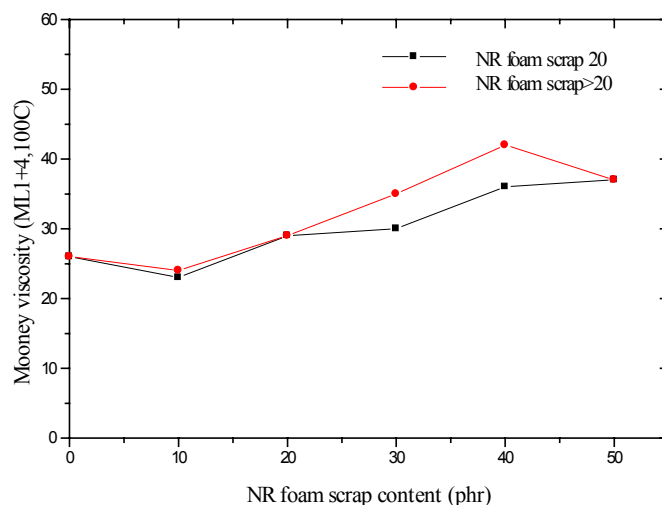
3.4.2.9 การทดสอบการเสียรูปเนื่องจากการกด (Compression Set)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 395-98 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้ เตรียมชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 29.0 ± 0.5 มม. หนา 12.5 ± 0.5 มม. นำมากดอัดให้ผิดรูป 25% ของความหนาเดิม วัดความหนาก่อนทดสอบบริเวณกึ่งกลางของยางวัลคาไนซ์ 3 ตำแหน่ง ด้วยไมโครมิเตอร์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเอายางออกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของยางบริเวณกึ่งกลาง 3 ตำแหน่งอีกครั้ง และคำนวณผลดังสมการด้านล่างนี้

$$C = [(t_o - t_i) / (t_o - t_n)] \times 100 \quad (\%) \quad (3.9)$$

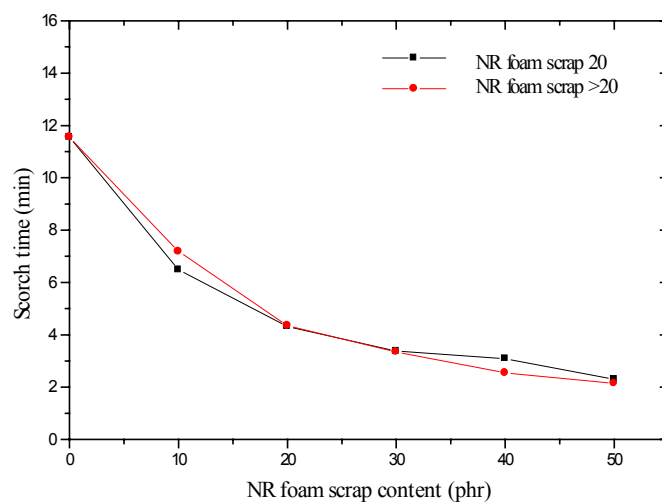
เมื่อ	t_o	คือ ความหนาเดิมก่อนทดสอบ (มม.)
	t_i	คือ ความหนาของยางหลังอบ (มม.)
	t_n	คือ ความหนาของแผ่นกั้น (มม.)

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

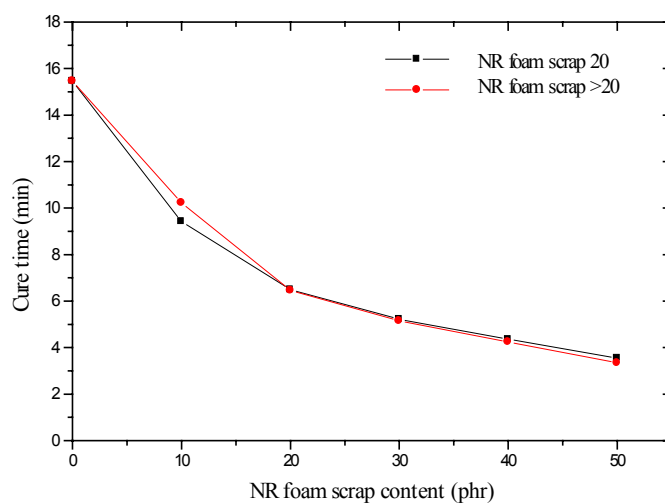


รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความหนืดของยางคอมปาวด์

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเศษยางฟองน้ำที่ใส่เข้าไปสามารถเข้ากันได้กับยางธรรมชาติ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวเศษยางฟองน้ำกับผิวยางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Ismail และคณะ 2002 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช มีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน

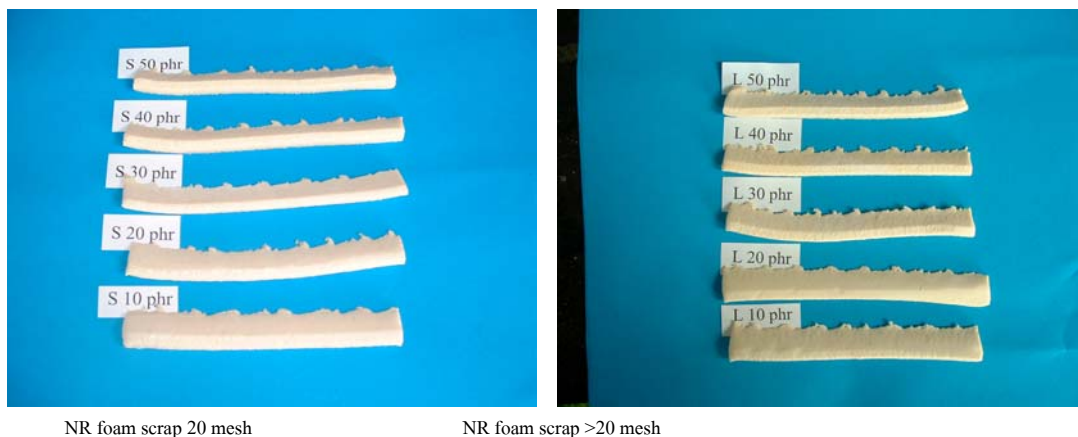


รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อเวลาสก๊อชของยางคอมปาวด์



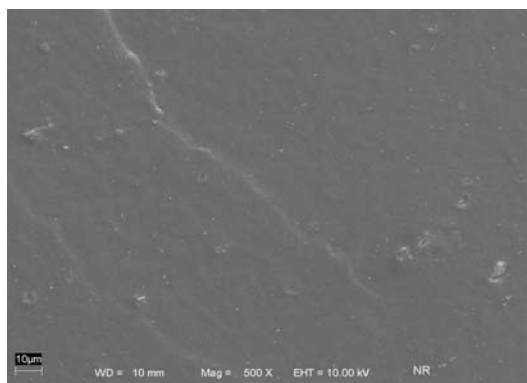
รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เวลาปลดก๊อชในการแปรรูป (Scorch time) และเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะสารตัวเร่งที่มีอยู่ในเศษยางฟองน้ำแพร่ออกมาส่งผลให้เวลาสก๊อช และเวลาการวัลคาไนซ์ของยางลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Gibala และ Hamed 1994 และ Ismail และคณะ 2002 ในขณะที่การใช้เศษฟองน้ำขนาด 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช มีเวลาสก๊อช และเวลาการวัลคาไนซ์ที่ไม่แตกต่างกัน

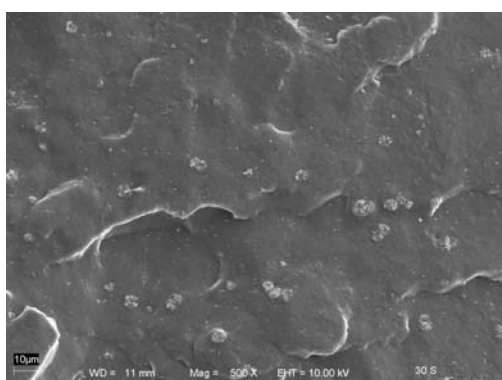


รูปที่ 4 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อลักษณะผิวจากเครื่องเอกซทрудของยางคอมปาวด์

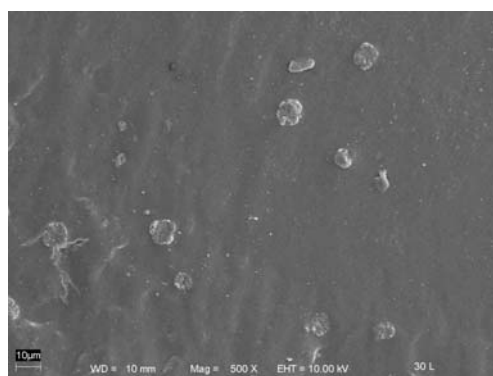
จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ยางสามารถคงรูปจากเครื่องเอกซทрудได้ดี และมีการขยายตัวหลังจากไหลผ่านได (Die swell) ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มปริมาณเศษยางฟองน้ำ จะเป็นการลดความเป็นวิสโคอีลาสติกของยาง (Viscoelastic) ทำให้ยางสามารถคงรูปได้ดีขึ้น แต่ผิวของยางคอมปาวด์มีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งลักษณะผิวเมื่อจัดตามระบบมาตรฐาน ASTM D 2230 B จะพบว่า ลักษณะผิวอยู่ในระดับเดียวกันคือระดับ B และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช ลักษณะผิวยางที่ได้ไม่แตกต่างกัน



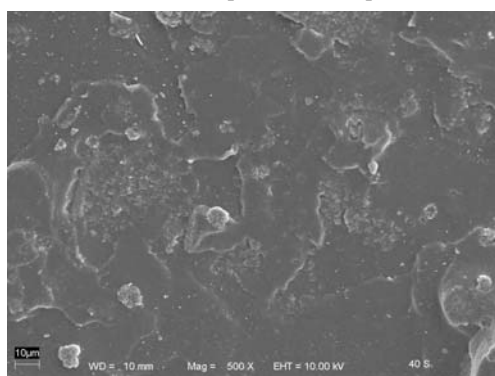
NR unfiller



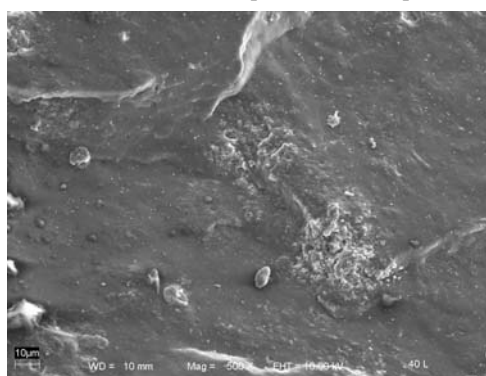
NR latex foam scrap 20 mesh 30 phr



NR latex foam scrap >20 mesh 30 phr



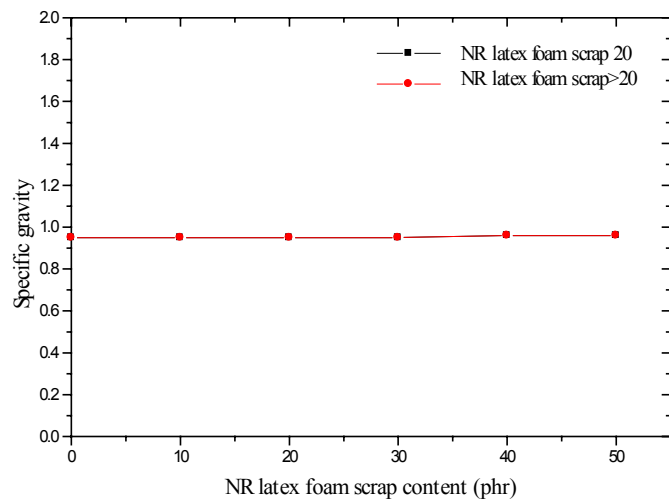
NR latex foam scrap 20 mesh 40 phr



NR latex foam scrap >20 mesh 40 phr

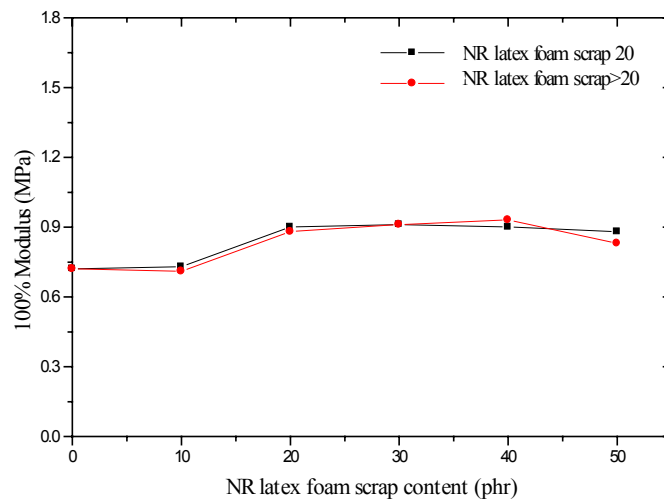
รูปที่ 4.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ที่ปริมาณเศษยางฟองน้ำระดับต่าง ๆ ของยางวัลคาไนซ์ จากกึ่งจูลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกวาด กำลังขยาย 500 เท่า

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่อปริมาณเศษฟองน้ำยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นรูเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากการรวมกลุ่มกันของเศษฟองน้ำยางด้วยกัน ในขณะที่ขนาดของเศษฟองน้ำขนาด 20 และใหญ่กว่า 20 เมช ไม่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน

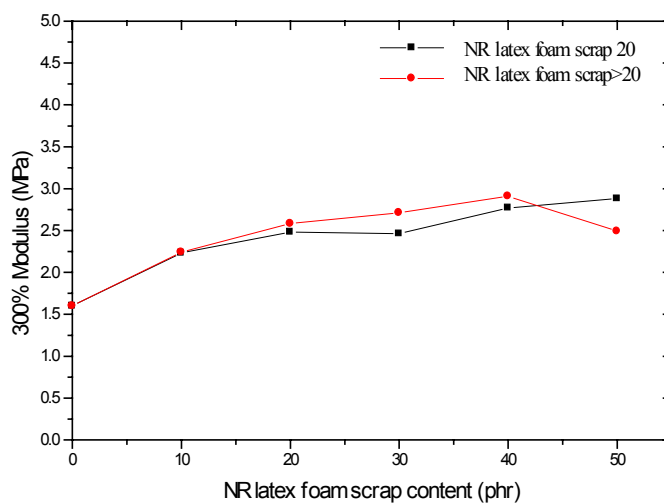


รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ทั้งนี้ก็เป็นเพราะว่าเศษยางฟองน้ำมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติมาก เนื่องมาจากเศษยางฟองน้ำมีโครงสร้างเป็นเซลล์ มีรูพรุน เมื่อเทียบกับที่ปริมาตรเดียวกันน้ำหนักของยางฟองน้ำจะเบากว่ายางธรรมชาติมาก ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของเศษยางฟองน้ำจึงไม่ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยาง ทั้งนี้เป็นเพราะเป็นเศษยางฟองน้ำชนิดเดียวกัน

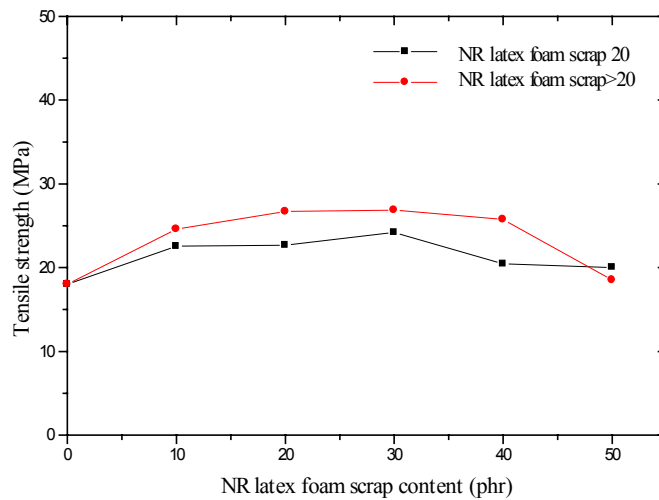


รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่า 100% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์



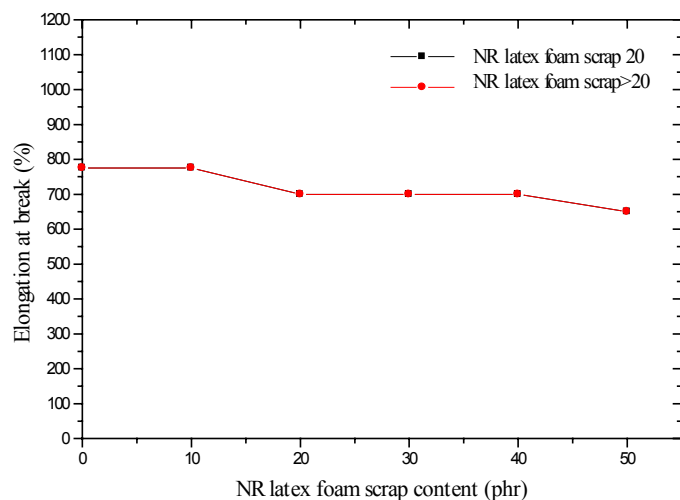
รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่า 300% โมดูลัสของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.7 – 4.8 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า 100% และ 300% โมดูลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะมีเศษฟองน้ำแสดงพฤติกรรมเหมือนสารตัวเดิมที่มีอนุภาคเป็นเม็ดแข็ง (rigid) ทำให้มีความต้านทานต่อการดึงในระยะยืดต่ำ ๆ ส่งผลให้ค่า 100% และ 300% โมดูลัส มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ismail และคณะ 2002 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช ค่า 100% และ 300% โมดูลัส มีค่าใกล้เคียงกัน



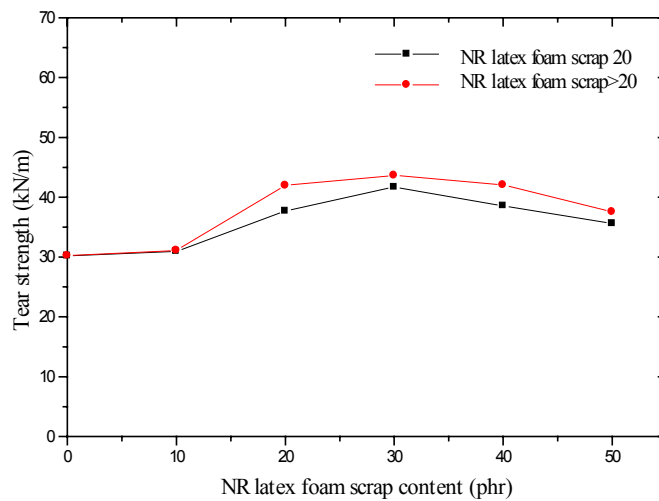
รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นถึงที่ระดับ 30 phr ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะทางสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.5) ที่ปริมาณเศษยางฟองน้ำน้อย ๆ ที่ระดับ 10 – 30 phr มีการกระจายตัวในยางได้ดีกว่าที่ระดับสูงกว่า ทำให้ยางมีความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเศษยางฟองน้ำสูงกว่า 30 phr การกระจายตัวของเศษยางฟองน้ำทำได้ไม่ดีทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของเศษยางฟองน้ำยางธรรมชาติ ทำให้มีช่องว่างระหว่างยางกับเศษยางฟองน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงลดลง แต่ก็ยังให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่สูงกว่าสูตรที่ไม่มีการใส่เศษยางฟองน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าที่ขนาดเศษยางฟองน้ำใหญ่กว่า 20 เมช จะมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในขณะทำการผสมเศษยางฟองน้ำขนาดใหญ่ อาจจะถูกบดทำให้ขาดออกจากกันกลายเป็นเศษฟองน้ำที่มีขนาดเล็กลง การกระจายตัวดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ได้ไม่ต่ำลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Mathew *et. al.* (2001) ที่ศึกษาการใช้เศษขนาดต่าง ๆ ยางจากน้ำยางมาผสมในยาง ENR



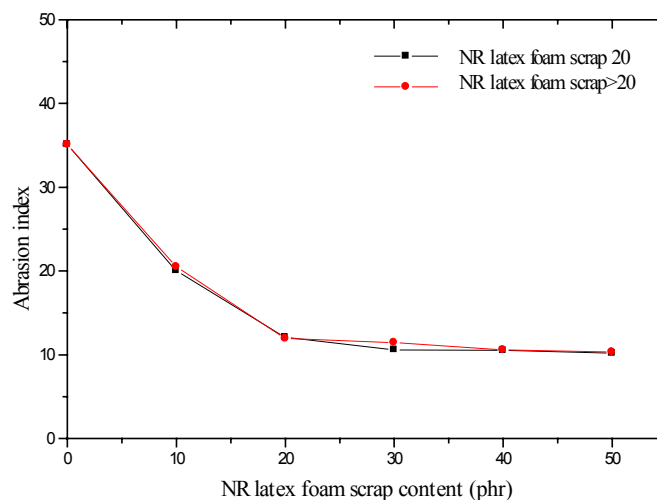
รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่าระยะยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการเพิ่มปริมาณของเศษยางฟองน้ำทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อระยะยืดจนขาด



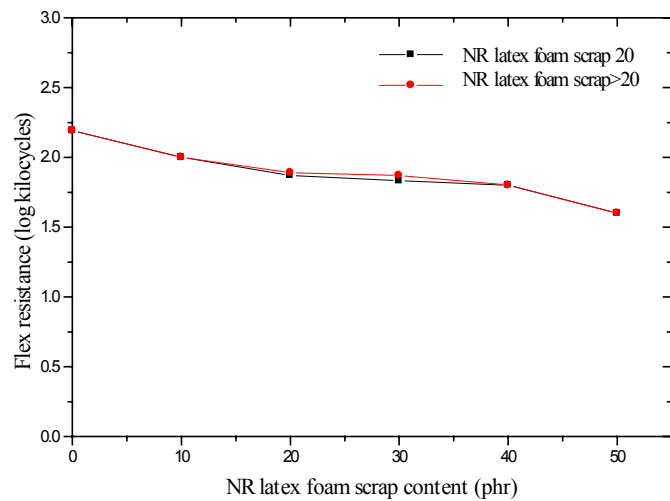
รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นถึงที่ระดับ 30 phr ให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าที่ขนาดเศษยางฟองน้ำใหญ่กว่า 20 เมช จะมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณ 50 phr ยังให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดที่สูงกว่าสูตรที่ไม่มีการใช้เศษฟองน้ำ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง



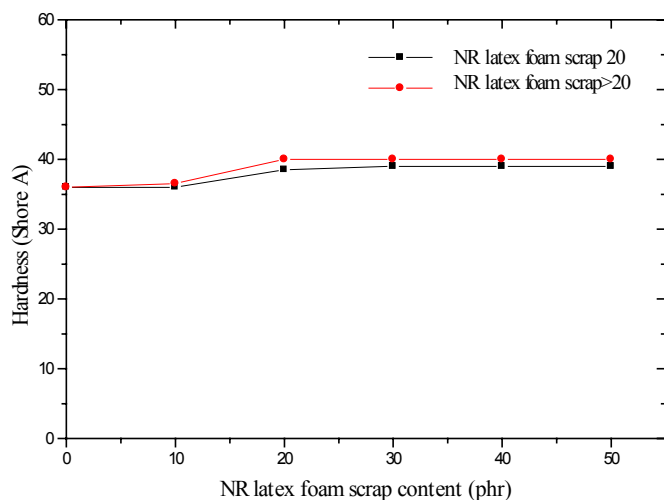
รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการสึกหรอของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเศษยางฟองน้ำมีการยึดเกาะตัวระหว่างผิวเศษยางฟองน้ำกับผิวยางไม่มากพอ ทำให้เมื่อเกิดการขัดถูอย่างรุนแรง มีการหลุดร่อนออกมามาก ส่งผลให้ความต้านทานต่อการสึกหรอลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีการใส่เศษฟองน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อความต้านทานต่อการสึกหรอของยาง



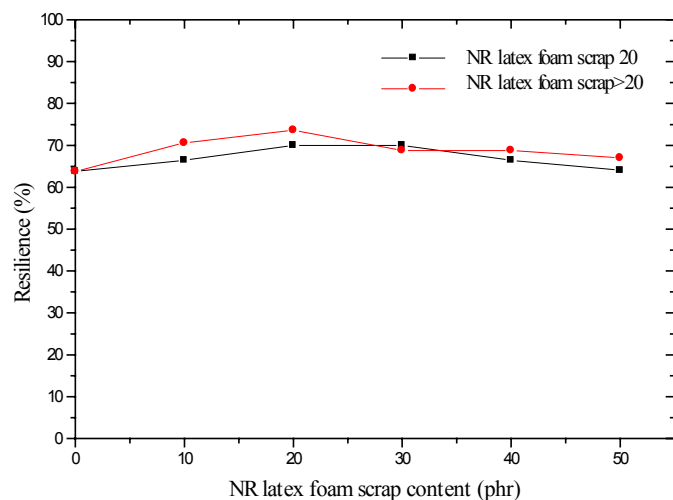
รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อการหักงอของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานต่อการหักงอลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มปริมาณเศษยางฟองน้ำ ทำให้โอกาสที่เศษฟองน้ำเกิดการเกาะกลุ่มทำให้เกิดจุดอ่อนขึ้นในยาง ส่งผลให้ความต้านทานต่อการหักงอลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อความต้านทานต่อการหักงอของยาง



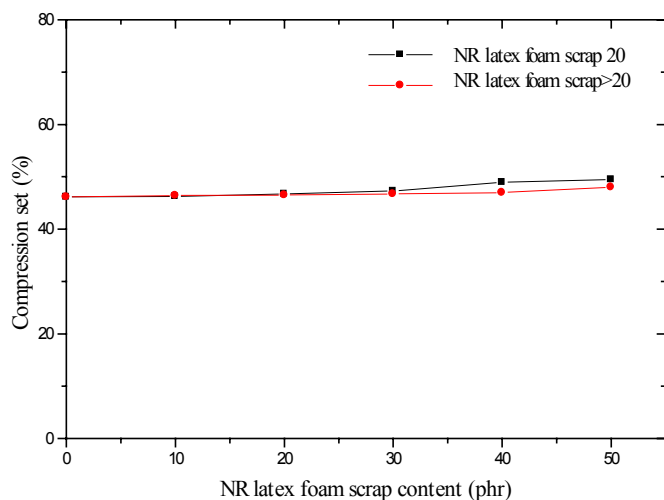
รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อความต้านทานต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความแข็งของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 5 หน่วย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อความแข็งของยาง



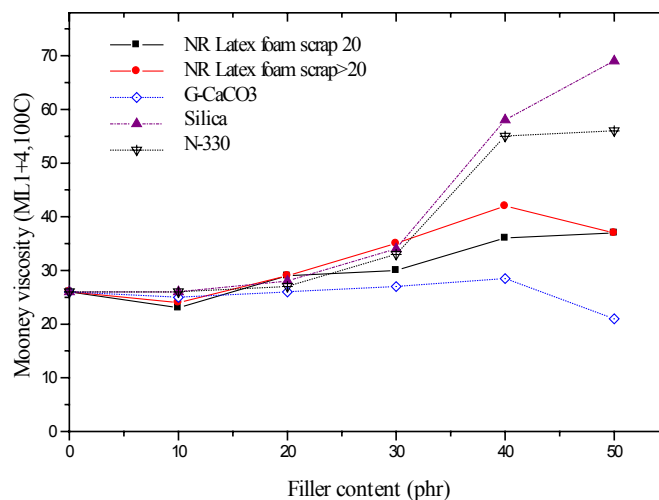
รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อค่าการกระเดื่องตัวของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 30 phr มีผลทำให้ค่าความกระเดื่องตัวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณเศษยางฟองน้ำ ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นความยืดหยุ่นของยางลดลง ส่งผลให้ค่าการกระเดื่องตัวของยางลดลง แต่สมบัติความกระเดื่องตัวก็ไม่เปลี่ยนแปลงจากสูตรที่ไม่ใส่เศษฟองน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อค่าการกระเดื่องตัวของยาง



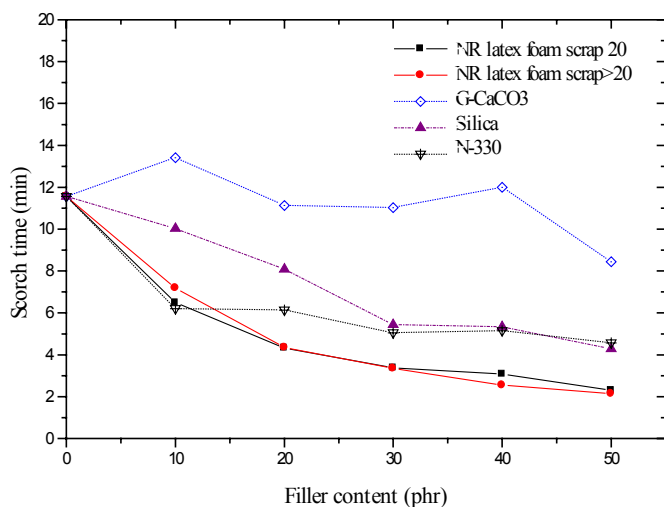
รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณเศษยางฟองน้ำต่อการเสียรูปเนื่องจากการกดของยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อปริมาณเศษยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การเสียรูปเนื่องจากการกดมีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณเศษยางฟองน้ำ ซึ่งเป็นสารตัวเติมที่เป็นยางมีลักษณะยืดหยุ่นอยู่ระดับหนึ่ง จึงทำให้ความสามารถคืนรูปดีไม่แตกต่าง ส่งผลให้ยางมีการเสียรูปเนื่องจากการกดไม่เปลี่ยนแปลงจากสูตรที่ไม่มีการใส่เศษยางฟองน้ำและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของเศษยางฟองน้ำ 20 เมช และขนาดใหญ่กว่า 20 เมช พบว่าขนาดของเศษยางฟองน้ำในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อค่าการเสียรูปเนื่องจากการกดของยาง

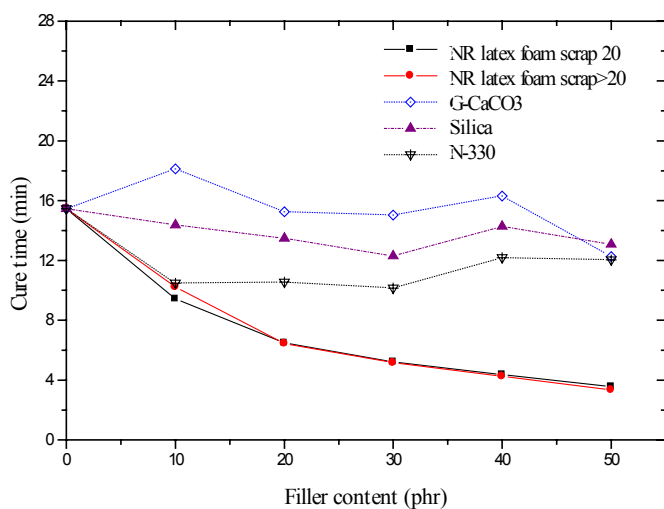


รูปที่ 4.17 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความหนืดของยางคอมปาวด์

จากรูปที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติม พบว่าสูตรที่ใช้เศษยางฟองน้ำมีความหนืดสูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ต่ำกว่า เชม์ดำ และซิลิกาตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเศษยางฟองน้ำจะกระจายตัวในยางได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต และเศษยางฟองน้ำมีความเข้ากันได้กับยางดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ แต่ยังน้อยกว่าการใช้เชม์ดำและซิลิกาตามลำดับ ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ซึ่งสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าขนาดอนุภาคใหญ่ช่วยให้การยึดติดกับเนื้อยางได้ดีกว่า และเมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้น ทุกชนิดของสารตัวเติม



รูปที่ 4.18 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อเวลาสก๊อชของยางคอมเพาด์



รูปที่ 4.19 ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพาด์

จากรูปที่ 4.18 – 4.19 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติม พบว่าสูตรที่ใช้เศษยางฟองน้ำ มีเวลาสก๊อชและเวลาการวัลคาไนซ์เร็วกว่าสูตรที่ใช้ขี้เถ้า ชิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะสารตัวเร่งที่มีอยู่ในเศษยางฟองน้ำสามารถแพร่ออกมา ทำให้ในระบบมีปริมาณสารตัวเร่งมากขึ้น ส่งผลให้เวลาสก๊อช และเวลาการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้เศษยางฟองน้ำเร็วกว่าสูตรอื่น ๆ และเมื่อปริมาณของเศษฟองน้ำมากขึ้น ส่งผลเวลาเวลาสก๊อชและเวลาการวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ซึ่งผลสอดคล้องกับ Gibala และ Hamed (1994)