



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติม
ในยางธรรมชาติอิพอกไซด์

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ คณะ

31 พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา
: การใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติอีพอกไซด์”

Small Project on Rubber ; SPR
Using Wasted Newspaper as Filler in Epoxidized Natural Rubber

คณะวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิภูรังษี
นางสาวกนกวรรณ หัตถิยา

สังกัด

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร

(Executive Summary)

กระดาษจากหนังสือพิมพ์ โดยทั่วไปทำมาจากเยื่อไม้บดพวกเส้นใย ราคาต่ำ มีการผลิตออกจำหน่ายแต่ละวันเป็นจำนวนมาก หลังจากใช้แล้วก็จะทิ้งไป มีการนำกลับมาใช้ใหม่ ไม่เกิน 30 % ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นขยะ ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมได้ หากนำกระดาษหนังสือพิมพ์กลับมาใช้ใหม่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยการย่อยกระดาษหนังสือพิมพ์ให้มีขนาดอนุภาคเล็ก หรือทำให้มีสภาพเป็นเยื่อกระดาษ แล้วนำมาใส่ในยางธรรมชาติ (STR 5L) หรือยางอีพอกไซด์ซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่นำมาปรับสภาพโครงสร้างให้มีสมบัติทนทานต่อสภาวะแวดล้อม สามารถเพิ่มมูลค่ากระดาษ และใช้เป็นแนวทางการทำผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไปได้

การศึกษาใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (STR 5L) และยางอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ปริมาณต่างๆ พบว่ายางคอมปาวด์ที่ได้สารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ มีสมบัติความหนืดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เพิ่มขึ้น กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ (10 mesh) มีค่าความหนืดมากกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) เล็กน้อยเท่านั้น การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดและปริมาณเท่ากันในยาง STR 5L และ ยาง ENR พบว่ายาง ENR มีค่าความหนืดค่อนข้างสูงกว่ายาง STR 5L และค่าความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยาง มีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาของยางเร็วขึ้น เวลาของการสก๊อต (scorch time) และเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง (cure time) มีค่าลดลง การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็กลง มีผลทำให้ค่า scorch time และ cure time สั้นลง

ส่วนสมบัติยางวัลคาไนซ์ของยาง STR 5L และยาง ENR ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ พบว่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) โมดูลัส (Modulus) ความแข็งของยาง และการดูดซึมน้ำ (Water absorption) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใส่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) มีแนวโน้มลดลง

เปรียบเทียบขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยาง ยาง STR 5L ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) จะมีสมบัติ Tensile strength ต่ำ แต่ Elongation at break สูงกว่ายางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) ส่วนยางอีพอกไซด์ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก จะให้ค่า Tensile strength และ Elongation at break สูงกว่ายางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วของยางอีพอกไซด์ทำให้ความสามารถในการยึดติดของสารตัวเติมในยางดีขึ้น กระดาษหนังสือพิมพ์ซึ่งมีขนาดเล็ก มีแนวโน้มของความแข็งสูงกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ และสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็กมีค่ามากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ และยาง STR 5L มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่ายาง ENR

หลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน สมบัติ Tensile strength และ Elongation at break มีค่าลดลง ยางอีพอกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้อยกว่ายาง STR 5L และจะลดน้อยลงหากปริมาณหม้ออีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น

ลักษณะพื้นฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก มีการกระจายตัวในยางได้ดีกว่าหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่กว่า ยางอีพอกไซด์ที่มีหม้ออีพอกไซด์ 30 % โมล จะเข้ากับกระดาษหนังสือพิมพ์ได้ดีกว่ายาง STR 5L

บทคัดย่อ

กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ไม่ใช่แล้วนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR พบว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 0, 10, 20 และ 40 phr มีผลทำให้ความถ่วงจำเพาะ และความหนืดมูนนี้ของยางคอมปาวด์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่เวลาที่ยางสก๊อตและวัลคาไนซ์เร็วขึ้น สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดยางจนขาดมีค่าลดลง ส่วนสมบัติมอดูลัส ความต้านทานการฉีกขาด ความแข็ง และการดูดซึมน้ำของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับขนาดกระดาษหนังสือ 10 เมช และ 50 เมช ปริมาณ 40 phr ไม่พบว่ามีผลต่อความหนืดของยางมากนัก เมื่อกระดาษหนังสือพิมพ์มีขนาดเล็กลงจาก 10 เมช เป็น 50 เมช จะส่งผลให้เวลาของยางสก๊อตและวัลคาไนซ์ลดลง ส่วนสมบัติความสามารถในการยืดยางจนขาด ความแข็ง และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น หลังการบ่มเร่งยางด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าความต้านทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าจะลดลงแปรตามปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เพิ่ม ขนาดของกระดาษเล็กลงจาก 10 เมช เป็น 50 เมช จะส่งผลให้ค่ามอดูลัส ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และ ค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าลดลง

คำสำคัญ : สารตัวเติม กระดาษหนังสือพิมพ์ ยางธรรมชาติ ยางอีพอกไซด์

Abstract

Wasted newspaper was used as a filler for natural rubber (STR 5L) and epoxidized natural (ENR) rubber. It was found that an increase of wasted newspaper loading from 0, 10, 20 to 40 phr results in an increase of specific gravity and mooney viscosity, but a decrease of scorch time and cure time. The tensile strength and elongation at break of the vulcanizates were decreased with increasing a loading wasted newspaper, whereas the modulus, tear strength, hardness and water absorption were tended to increase. The wasted newspaper sizes of 10 mesh and 50 mesh at a loading of 40 phr were studied. It was found that both sizes had no significant effect on mooney viscosity of the rubber. By decreasing a particle size of wasted newspaper from 10 mesh to 50 mesh, the scorch time and cure time of rubber were decreased while the elongation at break, hardness and water absorption were increased. After aging at 70°C for 72 hrs, it was found that tensile strength and elongation at break were decreased with increasing wasted newspaper loading. The decreasing particle size of wasted newspaper from 10 mesh to 50 mesh would also decrease modulus, tensile strength and elongation at break of the vulcanized rubber.

keywords : Filler , Newspaper , Natural rubber, Epoxidized Natural Rubber, ENR

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	ii
สารบัญ	iii
สารบัญ รูปภาพ	v
สารบัญ ตาราง	viii
เนื้อหาวิจัย	
1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
4 วิธีการ	4
4.1 การเตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์	4
4.2 การเตรียมยางอโฟกไซค์	4
4.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมใน ยาง STR 5L และยาง ENR	5
4.4 การศึกษาอิทธิพลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมใน ยาง STR 5L และยาง ENR	6
4.5 การศึกษาอิทธิพลการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนของการใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR	7
4.6 การทดสอบ	7
4.6.1 สมบัติของยางคอมปาวด์	7
4.6.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์	8

5. ผลการทดลองและวิจารณ์	9
5.1 การเตรียมยางอีพอกไซด์	10
5.2 การเตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์	10
5.3 ผลของขนาดและปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติยางคอมปาวด์	10
5.3.1 ความหนืด	10
5.3.2 เวลาสกัดและวัลคาไนซ์ยาง	12
5.4 สมบัติยางวัลคาไนซ์ (Vulcanized Properties)	15
5.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	15
5.4.2 สมบัติแรงดึง (Tensile test)	16
5.4.2.1 โมดูลัส (Modulus)	16
5.4.2.2 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)	19
5.4.2.3 ความสามารถในการยืด (Elongation at break)	21
5.4.3 ความแข็ง (Hardness)	23
5.4.4 ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance)	25
5.4.5 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)	27
5.4.6 การบ่มเร่งยางด้วยอากาศร้อน (Hot Air Aging)	31
5.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Surface morphology)	38
5.6 ความเป็นไปได้ของการใช้งาน	42
6. สรุปผล	43
7. ข้อเสนอแนะ	43
8. เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางอีพอกไซค์ (ENR-20) ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซค์ 20% โมล	9
รูปที่ 2 ลักษณะของกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด (a) 10 mesh (b) 50 mesh	10
รูปที่ 3 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Mooney Viscosity ของยางคอมปาวด์ ทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C	11
รูปที่ 4 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Mooney Viscosity ของยางคอมปาวด์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	11
รูปที่ 5 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Scorch time (ts_1) ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่อุณหภูมิ 150°C	12
รูปที่ 6 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Cure time (tc_{95}) ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่อุณหภูมิ 150°C	13
รูปที่ 7 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Scorch time ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่ 150°C ที่ไม่ใส่ และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	14
รูปที่ 8 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Cure time ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่ 150°C ที่ไม่ใส่และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	14
รูปที่ 9 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ (10 mesh) ต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์	15
รูปที่ 10 (a) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 100% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	16
รูปที่ 10 (b) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 200% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	17
รูปที่ 10 (c) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 300% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	17
รูปที่ 11 สมบัติ 100%, 200%, และ 300% Modulus ของยาง STR 5L และยาง ENR-30 ไม่ใส่และใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	17

รูปที่ 12	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tensile strength โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	20
รูปที่ 13	ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	20
รูปที่ 14	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	22
รูปที่ 15	ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	22
รูปที่ 16	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Hardness (IRHD) ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	24
รูปที่ 17	ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Hardness แบบ IRHD และ shore A ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	24
รูปที่ 18	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tear resistance ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	26
รูปที่ 19	ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tear resistance ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	26
รูปที่ 20	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง STR 5L โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	28
รูปที่ 21	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-10 โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	28
รูปที่ 22	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-20 โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	29
รูปที่ 23	ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-30 โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh	29
รูปที่ 24	ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง STR 5L และ ยาง ENR-30 ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	30

รูปที่ 25 (a) สมบัติ 100% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์	
ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ หลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C 72 ชั่วโมง	31
รูปที่ 25 (b) สมบัติ 200% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์	
ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ หลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	31
รูปที่ 25 (c) สมบัติ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์	
ขนาด 10 mesh ปริมาณต่าง ๆ หลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	32
รูปที่ 26 สมบัติ 100%, 200% และ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษ	
ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr หลังการบ่มแรงที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	32
รูปที่ 27 สมบัติ Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C	
เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ	35
รูปที่ 28 สมบัติ Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C	
เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ใส่และที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh	
ปริมาณ 40 phr	35
รูปที่ 29 สมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C	
เป็นเวลา 72 ชั่วโมงโดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่างๆ	37
รูปที่ 30 สมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C	
เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ใส่และไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh	
ปริมาณ 40 phr	37
รูปที่ 31 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L ไม่ใส่กระดาษ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	38
รูปที่ 32 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L ใส่กระดาษขนาด 10 mesh	
ปริมาณ 10, 20 และ 40 phr (a, b, และ c) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	39
รูปที่ 33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง ENR-20 ใส่กระดาษขนาด 10 mesh	
ปริมาณ 10, 20 และ 40 phr (a, b และ c) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	40
รูปที่ 34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L และยาง ENR-30	
ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr	
(a, b, c, และ d) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	41

สารบัญ ตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยาง ENR	4
ตารางที่ 4.2 สูตร STR 5L และยาง ENR แปรปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์	5
ตารางที่ 4.3 ลำดับขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี	5
ตารางที่ 4.4 สูตรยาง STR 5L และยาง ENR ที่แปรขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์	6
ตารางที่ 4.5 ลำดับขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี	6

เนื้อหาวิจัย

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ในรูปของกระดาษที่ผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ มีจำนวนกระดาษที่ผลิตออกมาไม่ถึง 30% ที่มีการนำกระดาษที่ใช้แล้วไปทำผลิตภัณฑ์ใหม่อีกครั้ง ซึ่งเรียกว่าการรีไซเคิล โดยปัจจุบันในแต่ละวันมีการใช้กระดาษเพิ่มขึ้นในปริมาณมาก สื่อที่เป็นหนังสือพิมพ์ได้มีการผลิตออกมาเป็นจำนวนมากเช่นกัน โดยหลังการใช้เสร็จก็จะทิ้ง กลายเป็นขยะ เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ส่งผลทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม มีส่วนน้อยที่นำกระดาษกลับมาใช้ใหม่เป็นกระดาษรีไซเคิล แม้ว่ากระดาษหนังสือพิมพ์จะเป็นกระดาษที่มีคุณภาพต่ำ ส่วนใหญ่ทำจากเยื่อไม้บด (มากกว่า 70%) มีทั้งเยื่อไม้และเยื่อขาวผสมกัน สามารถนำมาผลิตใหม่ได้อีก หากนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ จะมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนโดยเฉพาะในขั้นตอนการกำจัดสีที่ปนเปื้อนออกให้หมด เนื่องจากการมีสารที่เจือปนแม้เพียงเล็กน้อยอาจทำให้กระดาษที่ผลิตใหม่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ ไฟเบอร์ในเนื้อเยื่อกระดาษจะลดลงทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตเพื่อนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ กระดาษที่ผลิตขึ้นใหม่จึงมีคุณภาพด้อยลง มีกระดาษหนังสือพิมพ์เพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นที่สามารถนำกลับมาใช้ผลิตเป็นสิ่งพิมพ์ได้ใหม่ ลักษณะเนื้อเยื่อของกระดาษที่ผลิตโดยทั่วไปทำมาจากเยื่อไม้ที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ราคาต่ำ จึงมีโอกาสนานำกลับมาใช้ประโยชน์เป็นสารตัวเติมใส่ในยางธรรมชาติได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษานำกระดาษหนังสือพิมพ์มาใช้ใหม่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยการย่อยกระดาษหนังสือพิมพ์ให้มีขนาดอนุภาคเล็ก หรือทำให้มีสภาพเป็นเยื่อกระดาษ นำมาใส่ในยางธรรมชาติหรือยางธรรมชาติที่ปรับสภาพโครงสร้างเป็นยางอโฟกไซด์ที่สามารถเข้ากับวัสดุที่มีขี้ผึ้งได้ดีขึ้น น่าจะสามารถเพิ่มมูลค่ากระดาษ และสามารถใช้เป็นแนวทางการทำผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไป ได้แก่ ทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นในอาคาร เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติที่ใช้กระดาษเป็นสารตัวเติม

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไป กระดาษส่วนใหญ่เป็นสารประเภทเซลลูโลสที่ทำมาจากเนื้อไม้ เยื่อกระดาษสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นกระดาษรีไซเคิลหรือนำจะนำกลับมาใช้งานทำหน้าที่เสริมสมบัติบางประการให้กับยางเหมือนเส้นใยที่ใช้เป็นสารคอมโพสิต (composite) ในพอลิเมอร์ทั่วไป และในขั้นตอนการทำกระดาษมีการเติมไททาเนียมออกไซด์และ Clay เพื่อช่วยทำให้กระดาษมีผิวเรียบ ซึ่งสารที่มีสีขาวประเภทไททาเนียมออกไซด์สามารถใช้เป็นสารช่วยป้องกันรังสี UV และ Clay เป็นสารตัวเติมลดต้นทุน มีการศึกษานำกระดาษที่ใช้แล้วมาผสมในพอลิเมอร์พลาสติก โดยการใส่เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพในพลาสติก (Molder, 1996) และมีการทดลองใช้กระดาษที่ปรับสภาพผิวด้วย โซเดียมซิลิเกต และแมกนีเซียมคลอไรด์ เป็นสารตัวเติมเพื่อเพิ่มสมบัติด้าน Electrical และสมบัติเชิงกล (mechanical) ของยางธรรมชาติ (Nashar, 2002)

Nashar *et al.* (2002) ได้ใช้กระดาษที่ใช้แล้วเป็นเส้นใยเสริมประสิทธิภาพในยาง โดยใช้ โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) และแมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium Chloride) เป็นตัวเคลือบเส้นใยกระดาษ แล้วผสมลงในยางธรรมชาติและยางอะไคร์โลไนไตร พบว่าสามารถเพิ่มสมบัติด้านการนำไฟฟ้าและสมบัติเชิงกล เช่น สมบัติทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และสมบัติความทนทานต่อการยืดจนขาดมีค่าจะลดลงเมื่อใช้กระดาษที่ปรับสภาพผิวมากกว่า 40 phr.

Molder *et al.* (1996) ได้ศึกษาการใช้เครื่อง Szego Mill บดกระดาษที่ใช้แล้วและแกลบ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก พบว่าสามารถบดกระดาษให้มีขนาดอนุภาคได้ตั้งแต่ 3 มิลลิเมตร ถึง 475 ไมโครเมตร พบว่าสามารถเสริมประสิทธิภาพให้พลาสติกได้

ทัศนีย์ (2544) ศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเยื่อเซลลูโลสจากกระดาษหนังสือพิมพ์ อย่างไรก็ตามปัญหาความไม่เข้ากันและขาดการยึดติดระหว่างเนื้อพลาสติกกับเยื่อเซลลูโลส ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีการใช้สารช่วยผสมคือ พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างองค์ประกอบทั้งสอง ผลการทดสอบของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเยื่อเซลลูโลสจากกระดาษหนังสือพิมพ์ พบว่าเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณ 20 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) เป็นสารช่วยผสมปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษหนังสือพิมพ์ จะมีสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุด

Qiao *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กระดาษที่ผ่านการล้างน้ำหมักนำมาเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพในพอลิโพรพิลีน โดยเปรียบเทียบสารช่วยเพิ่มความเข้ากัน (coupling agent) ชนิดต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP), ไททาเนท (NDZ-101), กรดสเตียริก (SA) โดยได้ทำการศึกษา microstructure, morphology, thermal behaviors

และสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต จากการทดลองชนิดของสารช่วยเพิ่มความเข้ากัน (coupling agent) พบว่าพอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) จะให้ผลของการยึดระหว่างกระดาษที่ผ่านการล้างน้ำหมักและพอลิโพรพิลีนที่ดีที่สุด อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการตกผลึกของคอมโพสิตและสมบัติ tensile strength ที่ดี

Qiao *et al.* (2004) ได้ศึกษาการใช้พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) เป็นสารช่วยผสม ในการเตรียมคอมโพสิตจากกระดาษที่ผ่านการล้างน้ำหมักและพอลิโพรพิลีน จากนั้นได้ทำการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของคอมโพสิตที่ได้ จากผลการทดลองการเข้ากันของกระดาษที่ผ่านการล้างน้ำหมักและพอลิโพรพิลีนจะมีผลต่อความสามารถในการตกผลึก (crystallization) ของคอมโพสิต ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมของพอลิเมอร์ จากการใช้พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) จะสามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันของกระดาษที่ผ่านการล้างน้ำหมักและพอลิโพรพิลีน ส่งผลให้มีการปรับปรุงความเสถียรต่ออุณหภูมิ (Thermal stability) ของคอมโพสิต โดยที่ความแข็งแรงของการยึดติด จะช่วยเพิ่มสมบัติ tensile strength, elongation at break, flexural strength และ impact strength ของคอมโพสิตให้ดีขึ้น

Ishak *et al.* (1997) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของพดติกรรมจีเ้า (WRHA) ที่ใส่เป็นสารตัวเติมในยาง ENR-50 เทียบกับ silica และเขม่าดำที่ใส่ในยาง ENR-50 เช่นเดียวกันโดยในการศึกษาได้ใช้ δ -mercaptopropyltrimethoxysilane เป็น coupling agent โดยจะศึกษาในเรื่อง ระบบการวัลคาไนซ์ hysteresis และการเสื่อมของยางวัลคาไนซ์ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า การใส่สารตัวเติมร่วมกับยางจะทำให้การเสื่อมลดลง

4 วิธีการ

4.1 การเตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์

นำกระดาษหนังสือพิมพ์มาผ่านเครื่องบดหรือฉีกกระดาษ ทำให้กระดาษมีขนาดเล็กลง ลักษณะเป็นเส้นยาว ความกว้างประมาณ 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำเข้าเครื่องย่อยด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ ให้ได้ขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์เล็กที่สุด ต่อจากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงร้อนเพื่อแยกขนาด ด้วยตะแกรงขนาด 10 mesh และ 50 mesh แล้วนำเยื่อกระดาษที่ได้มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ตรวจวัดความชื้นให้ได้น้อยกว่ามาตรฐานยางแท่ง STR 5L (<0.8%)

4.2 การเตรียมยางอิพอกไซด์

เตรียมยางอิพอกไซด์ (ENR) ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิกอิพอกซิเดชัน โดยนำน้ำยางชั้น แอมโมเนียสูงมาเจือจางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20% เติมสบูชนิคอนอ็อกซิกเพื่อให้อนุภาคน้ำ ยางเสถียรจนของผสมเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50°C หลังจากนั้นเติมกรดฟอร์มิกอย่างช้าๆ แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นลำดับสุดท้าย ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา 45 นาที เพื่อให้ได้ ENR-10 ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อให้ได้ ENR-20 และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อให้ได้ ENR-30 แล้วจับตัวด้วยเมทานอน ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำไปอบด้วยอากาศร้อนที่ อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วย FTIR

ตารางที่ 4.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยาง ENR

สารเคมี	ปริมาณ (g)
HA Latex 60%	192.67
Hydrogen peroxide 50%	176.88
Formic acid 94%	44.04
Water	385.33
10% Teric N30	13.0

การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อิพอกไซด์

นำยางอิพอกไซด์ที่เตรียมได้มาทดสอบโดยการนำตัวอย่างยางอิพอกไซด์ที่แห้งแล้วประมาณ 1 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาละลายในคลอโรฟอร์มในหลอดทดลองขนาดใหญ่ หลังจากนั้น นำสารละลายที่ได้ไปทาเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ บนเซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วย

เครื่อง FT-IR จะได้สเปกตรัมอินฟราเรด แล้ววิเคราะห์ปริมาณการเกิดหมู่เอพอกไซด์ (% epoxidation) โดยวิธีการของ Davey และ Loadman (1984)

4.3 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR

อิทธิพลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR โดยใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh แปรปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr ดังส่วนผสมในตารางที่ 4.2 ลำดับขั้นตอนการใส่สารเคมีและเวลาในการผสมดังแสดงในตารางที่ 4.3 แล้วนำยางที่ได้มาทดสอบสมบัติของยางคอมปาวด์ และสมบัติของยางวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.2 สูตรยาง STR 5L และยาง ENR แปรปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์

Ingredient	phr
STR 5L or ENR**	100
ZnO	5
Stearic acid	1
BHT	1
TBBS	1
Sulphur	2.5
Newspaper Waste*	0, 10, 20, 30 and 40

* ใช้ขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ 10 mesh

** ใช้ยางอีพอกไซด์ (ENR) ที่ 10, 20 และ 30 % โมล

ตารางที่ 4.3 ลำดับขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี

ลำดับการใส่สารเคมี	ส่วนผสม	เวลาผสม (นาที)
1	STR 5L or ENR* (Mastication)	2
2	Stearic acid	1
3	ZnO + Newspaper Waste	5-10
4	Antioxidant	1
5	Accelerator	1
6	Sulphur	2

หมายเหตุ ยางคอมปาวด์ผ่านการรีดแผ่น 7 ครั้ง

* ใช้ยางอีพอกไซด์ (ENR) ที่ 10, 20 และ 30 % โมล

4.4 การศึกษาอิทธิพลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR

อิทธิพลของกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ที่ใช้เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR มีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 4.4 นำมาบดผสมด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง โดยลำดับขั้นตอนการผสมดังแสดงในตารางที่ 4.5 แล้วทดสอบสมบัติของยางคอมปาวด์ และสมบัติของยางวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.4 สูตรยาง STR 5L และยาง ENR ที่แปรขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์

Ingredient	phr
STR 5L, ENR-30	100
ZnO	5
Stearic acid	1
BHT	1
TBBS	1
Sulphur	2.5
Newspaper Waste *	40

* ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 and 50 mesh

ตารางที่ 4.5 ลำดับขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี

ลำดับการใส่สารเคมี	ส่วนผสม	เวลาผสม (นาที)
1	STR 5L or ENR-30*(Mastication)	2
2	Stearic acid	1
3	ZnO + Newspaper Waste	5-10
4	Antioxidant	1
5	Accelerator	1
6	Sulphur	2

หมายเหตุ *ENR-30 หมายถึง ยางอีพอกไซด์ที่มี หมู่อีพอกไซด์ 30% โมล

4.5 การศึกษาอิทธิพลการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนของการใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยาง STR 5L และยาง ENR

ศึกษาอิทธิพลการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ต่อสมบัติของยาง STR 5L และยาง ENR ที่ 10, 20 และ 30 % โหมด (ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ตามลำดับ) โดยยางที่ใช้ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr เป็นสารตัวเติม และศึกษาเปรียบเทียบการบ่มเร่งยาง STR 5L และยาง ENR-30 ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

4.6 การทดสอบ

4.6.1 สมบัติของยางคอมปาวด์

4.6.1.1 ความหนืดมูนี ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1646-99 ตั้งอุณหภูมิ 100 °C ใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ อุณหภูมิ 1 นาที บันทึกค่าความหนืดมูนีที่เวลา 4 นาที

4.6.1.2 การวัลคาไนซ์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2084-95 โดยใช้เครื่อง Oscillating Disk Rheometer 100s (ODR) วัดค่า Scorch time : t_{s1} เวลาเป็นนาทีจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 1 lbf.in, และ Cure time : t_{95} เวลาเป็นนาทีของค่าแรงบิด 95% ของแรงบิดสูงสุด

4.6.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

4.6.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ใช้หลักการแทนที่น้ำ โดยการชั่งยางในอากาศ และชั่งในน้ำ

4.6.2.2 สมบัติแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D 412-98a ใช้เครื่องทดสอบเทนโซมิเตอร์ (Tensometer) ความเร็วในการดึง 500 mm/min ตั้งยางวัลคาไนซ์ไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนตัดเป็นรูปดัมเบล (Dumb-bell die C) ทดสอบสมบัติ 100, 200 และ 300% Modulus, Elongation at break และ Tensile strength

4.6.2.3 ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance) ใช้ขึ้นทดสอบแบบมุม ดึงด้วยเครื่องทดสอบเทนโซมิเตอร์ (Tensometer) ตามมาตรฐาน ASTM D 624-86 ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min วัดแรงที่ยางเริ่มฉีกขาดและการขยายตัวของรอยฉีก

4.6.2.4 ความแข็ง (Hardness) วัดความแข็งแบบ IRHD ตามมาตรฐาน ISO 48 และวัดความแข็งแบบ Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D 2240

4.6.2.5 การดูดซึมน้ำของยางที่ผสมกระดาษหนังสือพิมพ์ (Water absorption)

แช่ยางตัวอย่างวัดคาบในน้ำ 50 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมงจนกว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคงที่ รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

4.6.2.6 ความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อน (Hot Air Aging)

ตามมาตรฐาน ASTM D 573-04 ใช้เครื่องบ่มเร่งยางแบบเกียร์ (GEER OVEN) ใช้อุณหภูมิในการทดสอบ 70 °C ระยะเวลาในการบ่มเร่งคือ 72 ชั่วโมงให้ผิวยางสัมผัสอากาศได้ตลอดเวลา

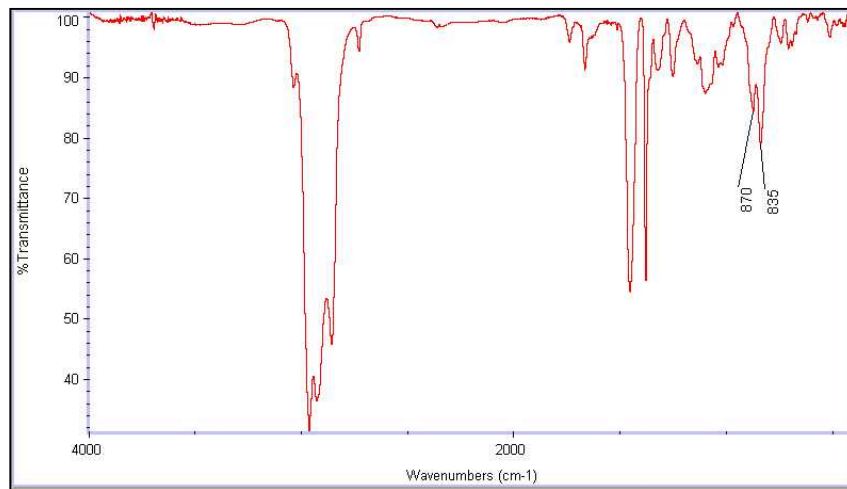
4.6.2.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Surface morphology)

ชิ้นทดสอบที่นำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา จะถูกนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลว ก่อนหักชิ้นทดสอบเพื่อให้ได้ผิวหน้าใหม่ อบชิ้นทดสอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C เคลือบผิวหน้ารอยแตกด้วยทอง โดยนำตัวอย่างวางในแท่นวางตัวอย่าง (stub) ของเครื่องสำหรับเคลือบภายใต้สุญญากาศ ปลดออกก๊าซอาร์กอน (Ar) เข้าสู่ห้องเคลือบ แล้วปรับกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.65 แอมแปร์ ก๊าซอาร์กอนจะแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนวิ่งไปชนแผ่นทองและลงมาเคลือบที่ชิ้นทดสอบ โดยใช้เวลาในการเคลือบทอง 1 นาที จะได้ความหนาในการเคลือบทองประมาณ 7.5 นาโนเมตร (nm) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวชิ้นทดสอบ

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การเตรียมยางอีพอกไซด์

เตรียมยางอีพอกไซด์โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันจนได้หม้ออีพอกไซด์ 10, 20 และ 30% โมล ตามลำดับ จับตัวน้ำยางด้วยเมทานอน วิเคราะห์ปริมาณโมลอีพอกไซด์ด้วยเครื่อง FT-IR ปรากฏสเปกตรัมอินฟราเรดของยางอีพอกไซด์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางอีพอกไซด์ (ENR-20) ที่มีปริมาณหม้ออีพอกไซด์ 20% โมล

สเปกตรัมของยางอีพอกไซด์ มีพิกแสดงลักษณะเฉพาะของหม้ออีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนยางธรรมชาติที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240 cm^{-1} เป็นตำแหน่งที่แสดงการเกิดวงแหวนออกซิเจนที่เกาะบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ วิเคราะห์หาปริมาณการเกิดหม้ออีพอกไซด์ (Mole % epoxidation) ในยาง (Davey *et al*, 1984) โดยใช้อัตราส่วนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Absorbance ratio) ของหม้ออีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} (พิกของหม้อ epoxide) ต่อ 835 cm^{-1} (พิกของ C-H ที่เกาะอยู่กับ C=C ของ *cis*-1,4-polyisoprene ซึ่งแสดงถึงการเกิด Out-of-plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ C=C)

ยางอีพอกไซด์ (ENR-10, ENR-20 และ ENR-30) ที่เตรียมได้มีหม้ออีพอกไซด์ 10, 20 และ 30% โมล ตามลำดับ โดยปริมาณของโมลอีพอกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของกรดฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นกรดเปอร์ฟอร์มิกแล้วจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปกับโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวของยางธรรมชาติ ได้โมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีวงแหวนอีพอกไซด์บนโครงสร้าง (Epoxide ring)

5.2 การเตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์

นำกระดาษหนังสือพิมพ์มาตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 มิลลิเมตร แล้วย่อยด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ให้มีขนาดเล็ก ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 และ 50 mesh ได้กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใย ดังรูปที่ 2 เยื่อกระดาษหลังอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดความชื้นได้ 0.32%



(a)



(b)

รูปที่ 2 ลักษณะของกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด (a) 10 mesh (b) 50 mesh

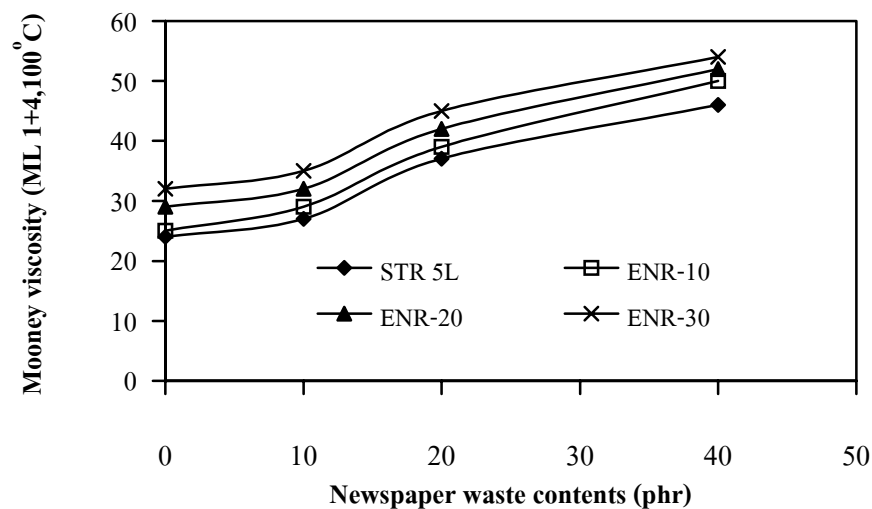
5.3 ผลของขนาดและปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติยางคอมปาวด์

กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr ใส่ในยางธรรมชาติ (STR 5L) และยางอีพอกไซด์ที่ 10, 20 และ 30 %โมล (ENR-10, ENR-20 และ ENR-30) มีค่าความหนืดมูนี ดังรูปที่ 3

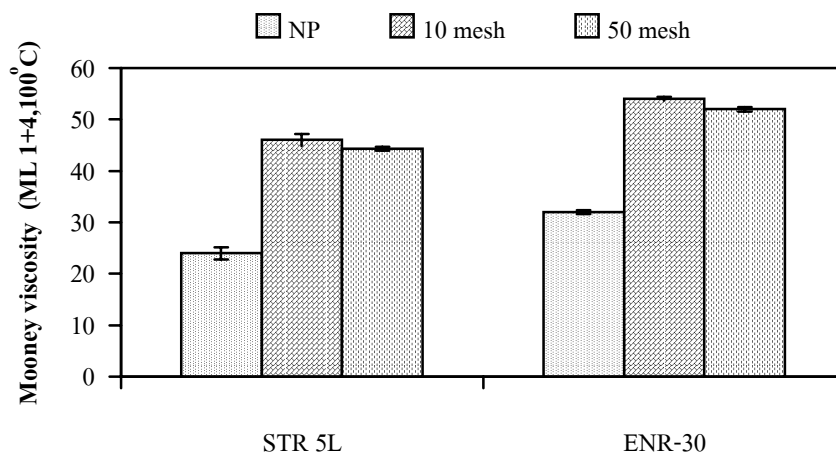
5.3.1 ความหนืด (Mooney Viscosity)

ความหนืดมูนีของยางคอมปาวด์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ทั้งในยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ดังรูปที่ 3 เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมมีความแข็งมากกว่ายาง เมื่อนำกระดาษหนังสือพิมพ์ใส่ในยางจะทำให้ยางมีความหนืดมูนีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การผสมกระดาษหนังสือพิมพ์กับยางจะทำให้กระดาษหนังสือพิมพ์แทรกเข้าไประหว่างโมเลกุลของยางทำให้ยางไหลยากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดมูนีของยางที่ผสมกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 จะพบว่ายางอีพอกไซด์จะมีค่าความหนืดมูนีสูงกว่ายาง STR 5L และการเพิ่มปริมาณหมู่อีพอกไซด์ทำให้ค่าความหนืดมูนีสูงขึ้น เนื่องจากการมีหมู่อีพอกไซด์จะเพิ่มสภาพความเป็นขั้วในโมเลกุลของยางธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของยางและกระดาษสูงขึ้น และที่อุณหภูมิทดสอบ 100°C ยางจะหลอมและไหลได้ วงแหวนอีพอกไซด์สามารถเกิดการแตกออก และเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกันเอง ดังนั้นการมีปริมาณหมู่อีพอกไซด์มาก จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากันมากขึ้น เป็นเหตุให้ค่าความหนืดมูนีของยางอีพอกไซด์มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น (Alex et al, 1989)

ขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ มีผลต่อความหนืดของยางคอมปาวด์ดังแสดงในรูปที่ 4 กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ผสมในยาง STR 5L กับยาง ENR-30 พบว่า กระดาษที่มีขนาดใหญ่ (10 mesh) มีผลทำให้ความหนืดของยางสูงกว่ากระดาษที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) เล็กน้อย เนื่องจากยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ (10 mesh) สามารถขัดขวางการไหลของยางได้ ส่งผลให้ค่าความหนืดของยางมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 3 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Mooney Viscosity ของยางคอมปาวด์ ทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C

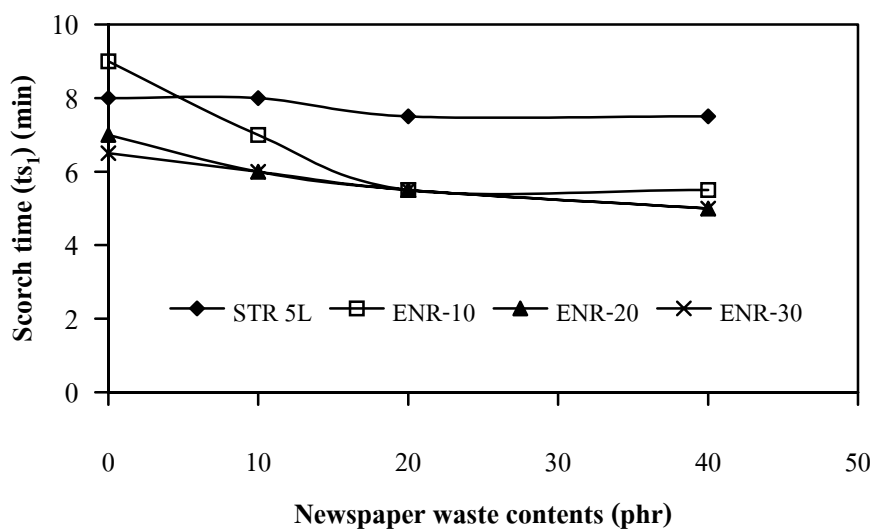


รูปที่ 4 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Mooney Viscosity ของยางคอมปาวด์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

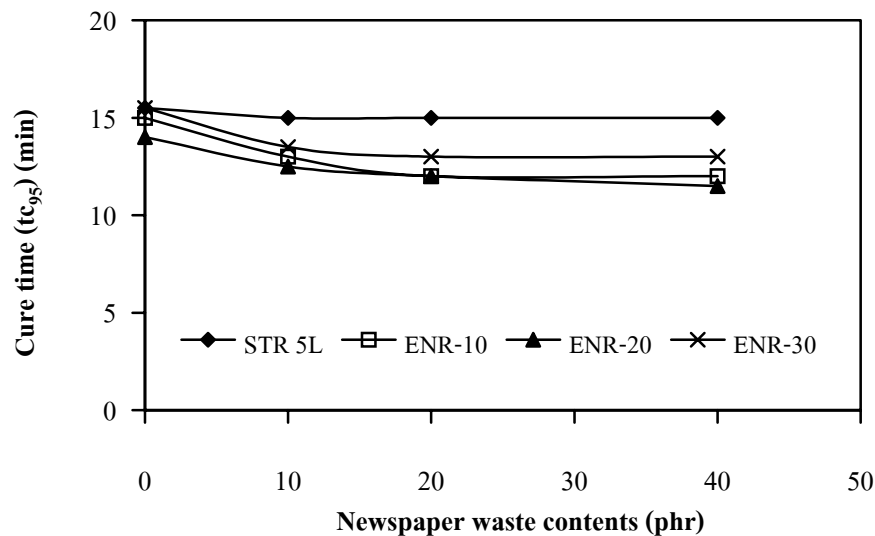
5.3.2 เวลาสก๊อตและ วัลคาไนซ์ยาง (Scorch time และ Cure time)

ยาง STR 5L และ ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2084-95 โดยใช้เครื่อง ODR รุ่น 100s มีค่า Scorch time และ Cure time ดังแสดงในรูปที่ 5-6 ส่วนยาง STR 5L และยาง ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ดังแสดงในรูปที่ 7-8

ยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 พบว่า ค่า Scorch time และค่า Cure time มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกระดาษและหม้อไฟพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5-6 เนื่องจากปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใส่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ต้องใช้เวลาในการบดผสมยางบนเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งนานขึ้น ส่งผลให้ความร้อนที่เกิดจากการผสมกระดาษหนังสือพิมพ์มีค่า Induction time ลดลง ยางจึงเกิดการวัลคาไนซ์เร็วขึ้น รวมทั้งโครงสร้างโมเลกุลของกระดาษมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ จึงมีสมบัติเป็นด่าง ทำให้การวัลคาไนซ์ยางเกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการแปรรูปลดลงเล็กน้อย แต่การใส่กระดาษปริมาณมากกว่า 20 phr ไม่มีผลทำให้ค่า Scorch time และค่า Cure time เปลี่ยนแปลงนัก



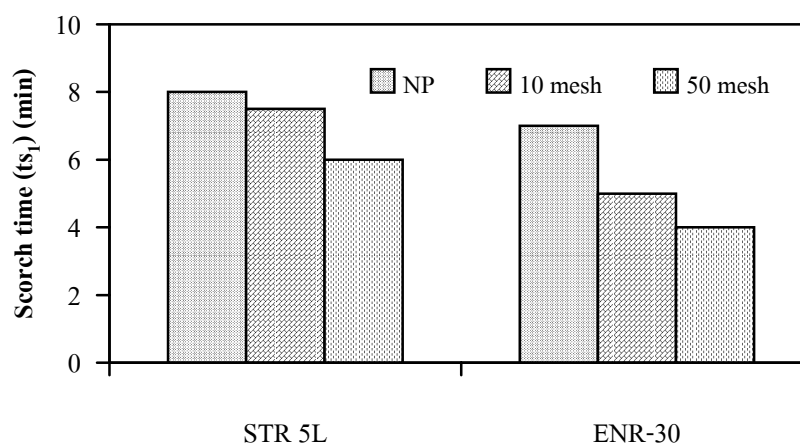
รูปที่ 5 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Scorch time (ts_1) ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่อุณหภูมิ 150°C



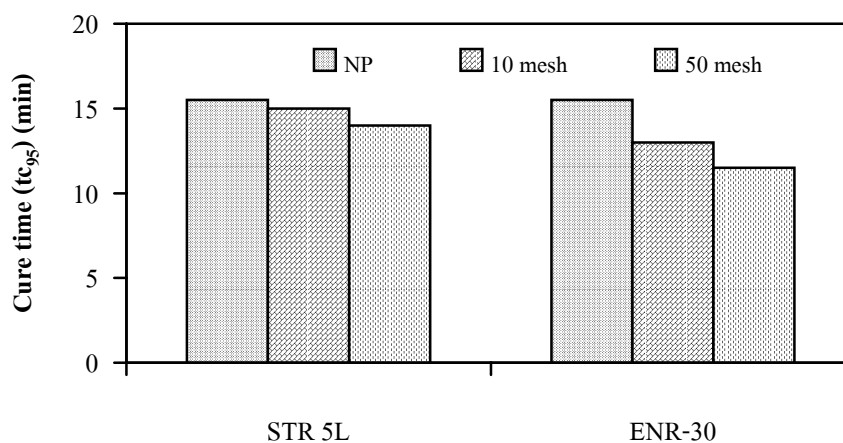
รูปที่ 6 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ต่อค่า Cure time (tc_{95}) ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่อุณหภูมิ 150°C

กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) มีผลทำให้ค่า Scorch time และค่า Cure time สั้นกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) ดังรูปที่ 7-8 เนื่องจากกระดาษมีสมบัติเป็นด่าง และการใส่กระดาษชนิดที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (50 mesh) ปริมาณ 40 phr มีผลทำให้ความร้อนเกิดขึ้นขณะผสมยางมากกว่า และกระจายตัวในยางได้สม่ำเสมอ มีผลทำให้เวลาในการการวัลคาไนซ์เร็วกว่ากระดาษที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (10 mesh)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติและยางอีพอกไซด์ (STR 5L และ ยาง ENR-30) ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณเท่ากัน (40 phr) พบว่าค่า Scorch time และค่า Cure time น้อยกว่าส่วนผสมของยางที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ และยาง ENR-30 จะมีค่า Scorch time และค่า Cure time น้อยกว่ายาง STR 5L



รูปที่ 7 ผลของขนาดกระจายหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Scorch time ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่ 150°C ที่ไม่ใส่ และที่ใส่กระจายหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

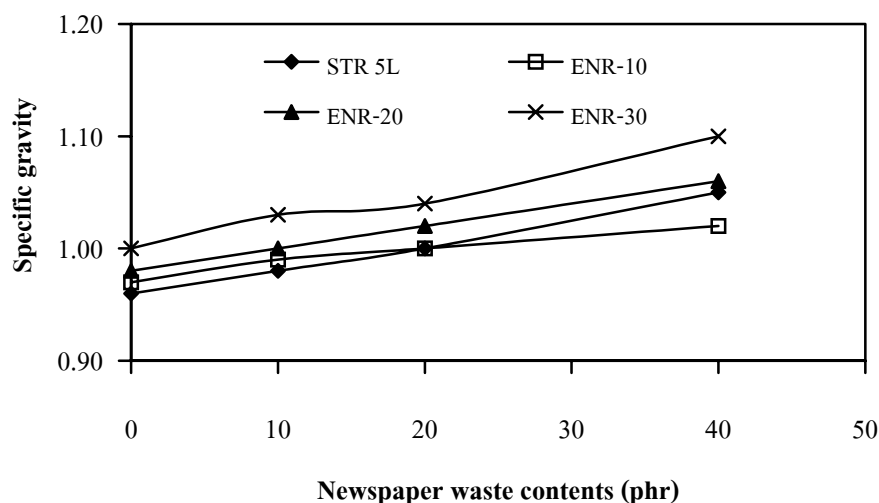


รูปที่ 8 ผลของขนาดกระจายหนังสือพิมพ์ ต่อค่า Cure time ของยางคอมปาวด์ ด้วยเครื่อง ODR 100S ที่ 150°C ที่ไม่ใส่และที่ใส่กระจายหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4 สมบัติยางวัลคาไนซ์ (Vulcanized Properties)

5.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะยางวัลคาไนซ์ ของยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ มีแตกต่างกันน้อยมาก (STR 5L = 0.96, ENR-10=0.97, ENR-20=0.98 และ ENR-30=1.00) ดังรูปที่ 9 การเพิ่มปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ในส่วนผสมยาง มีผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่ายาง (ถพ.กระดาษหนังสือพิมพ์ 1.05, ถพ. ยางธรรมชาติ = 0.93) เมื่อใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับยางวัลคาไนซ์ (STR 5L และ ENR-30) ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr เท่ากัน มีค่า ถพ. ไม่แตกต่างกัน



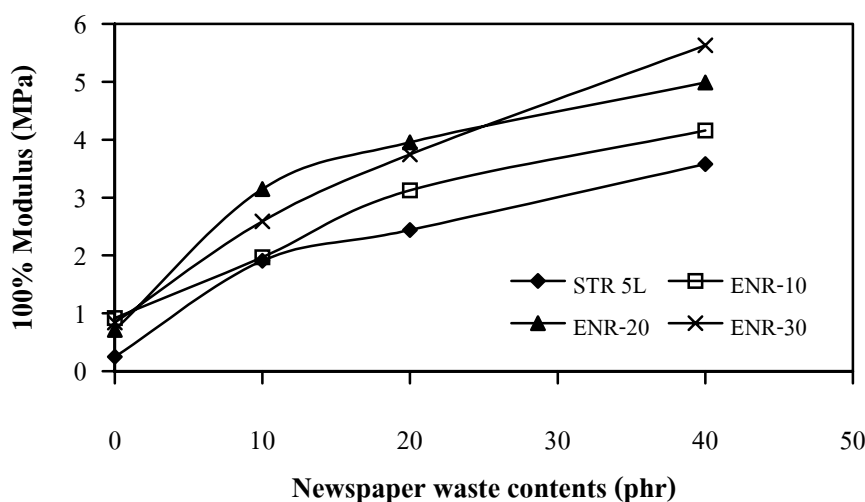
รูปที่ 9 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ (10 mesh) ต่อค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์

5.4.2 สมบัติแรงดึง (Tensile test)

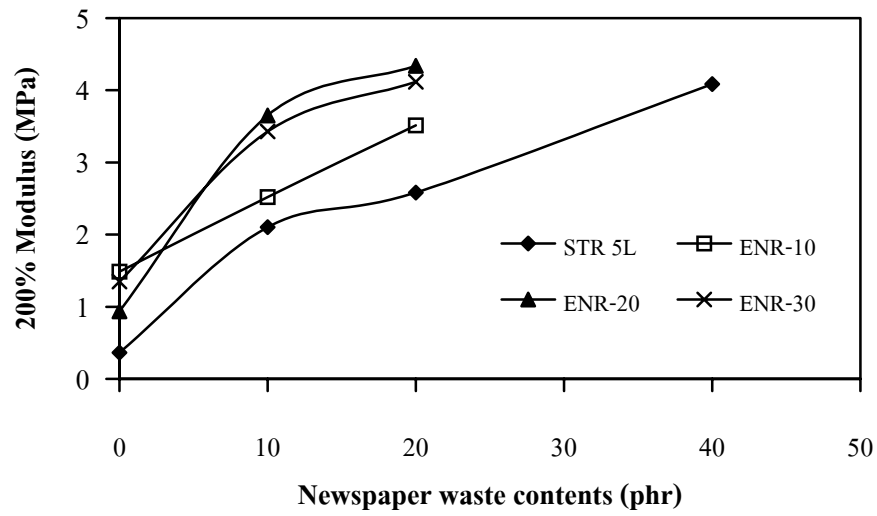
ขึ้นทดสอบยางวัลคาไนซ์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทดสอบเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนตัดเป็นรูปดัมเบล (Dumbbell die C) นำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเทนโซมิเตอร์ ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min ได้สมบัติ 100%, 200% และ 300% Modulus รวมทั้ง Tensile strength และ Elongation at break ดังนี้

5.4.2.1 มอดูลัส (Modulus)

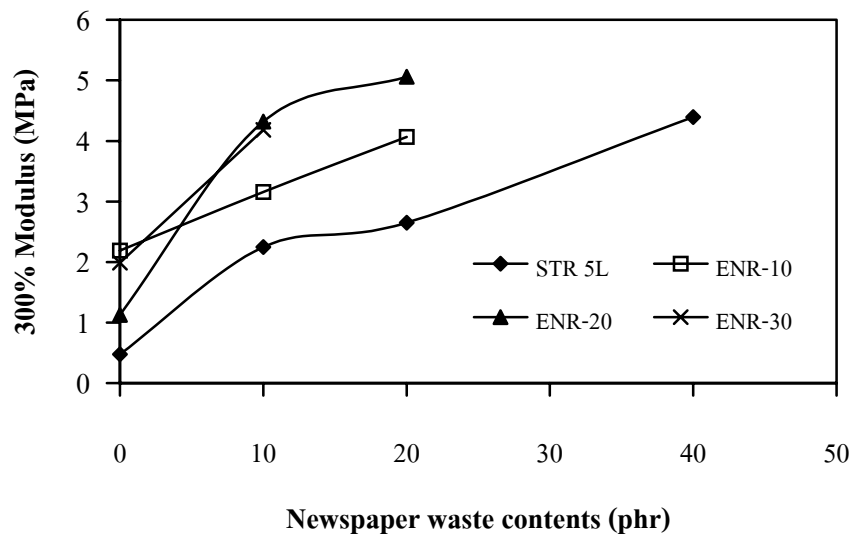
ยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 mesh แปรปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr มีสมบัติ 100%, 200% และ 300% Modulus ของ ดังแสดงในรูปที่ 10 (a)-(c) จะเห็นว่า สมบัติ Modulus ของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกระดาษ หนังสือพิมพ์ที่เพิ่มขึ้นทั้งในยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 เนื่องจาก กระดาษหนังสือพิมพ์เมื่อใส่ลงในยางจะทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ที่มีปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากัน พบ ว่า ยางอีพอกไซด์จะมีค่า Modulus สูงกว่ายาง STR 5L และ ค่า modulus จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ หมู่อีพอกไซด์ด้วย แสดงว่าการมีหมู่อีพอกไซด์ซึ่งเป็นหมู่อที่มีสภาพขี้ในยางธรรมชาติ จะทำให้เกิด พันระเชื่อมโยงได้ดีมากยิ่งขึ้น ยางจึงมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 10 (a) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 100% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



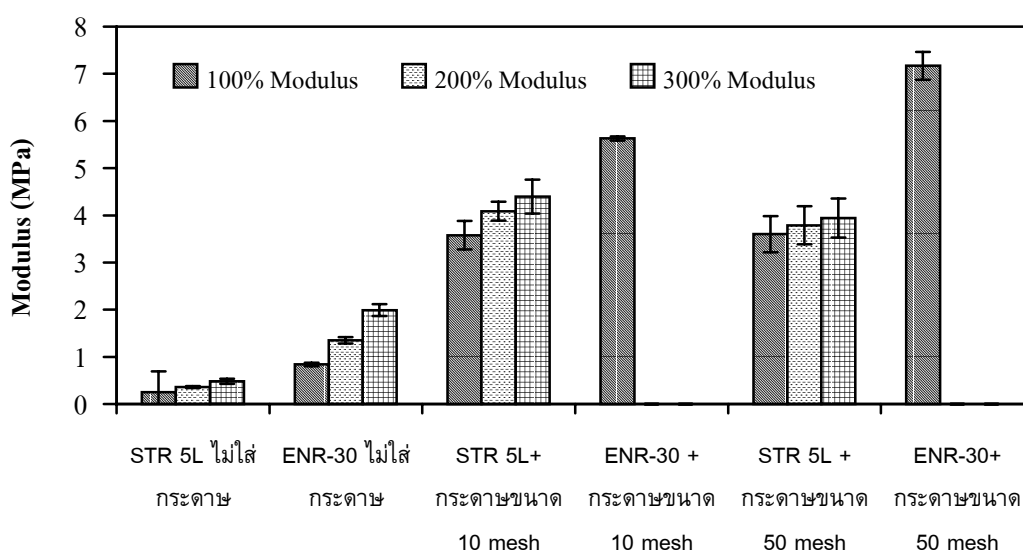
รูปที่ 10 (b) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 200% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



รูปที่ 10 (c) ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 300% Modulus โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh

สำหรับการเปรียบเทียบผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ 100%, 200% และ 300% Modulus ดังแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นว่ายาง STR 5L ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) จะให้ค่า 100%, 200% และ 300% Modulus ที่ต่ำกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) เนื่องจาก กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก จะขัดขวางการยืดของโมเลกุลยางน้อยกว่า แรงที่ใช้ในการดึงยางที่ระยะ 100-300% จึงมีค่าต่ำกว่า หากเปรียบเทียบยาง STR 5L กับยาง ENR-30 จะพบว่ายาง ENR-30 จะมีค่า 100% Modulus สูงกว่ายาง STR 5L เนื่องจากยางอพอกไซค์มีความเป็นขั้วเช่นเดียวกับกระดาษ ดังนั้นแรงยึดเกาะของกระดาษกับยางอพอกไซค์ จึงมีความแข็งแรงมากกว่า ยาง STR 5L ส่วน 200% และ 300% Modulus ของยาง ENR-30 ไม่สามารถหาได้ ยางขาดก่อนการยืดที่ระยะ 200% และ 300%

สำหรับยาง ENR-30 การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) จะมีผลทำให้ค่า 100% Modulus มีค่าสูงกว่าใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) ซึ่งจะแตกต่างกับในกรณีของยาง STR 5L เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารที่มีขั้วเช่นเดียวกับยางอพอกไซค์ สามารถยึดเกาะกับยางได้ดี นั่นคือการมีหมู่อพอกไซค์ซึ่งเป็นหมู่อที่มีสภาพขั้วโมเลกุลของยางอพอกไซค์ จะทำให้ยางกับกระดาษหนังสือพิมพ์มีความเข้ากันได้และยึดเกาะกันดีขึ้น



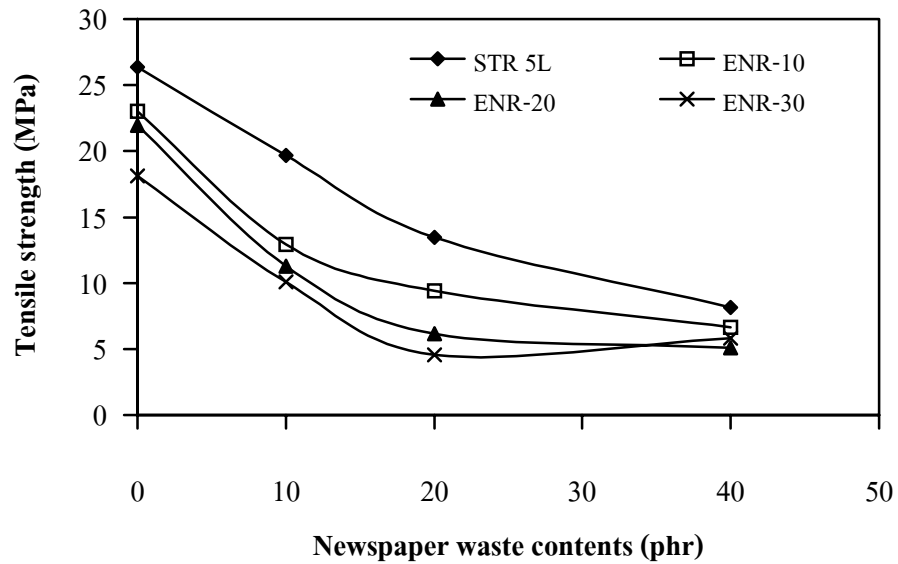
รูปที่ 11 สมบัติ 100%, 200%, และ 300% Modulus ของยาง STR 5L และยาง ENR-30 ไม่ใส่และใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4.2.2 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

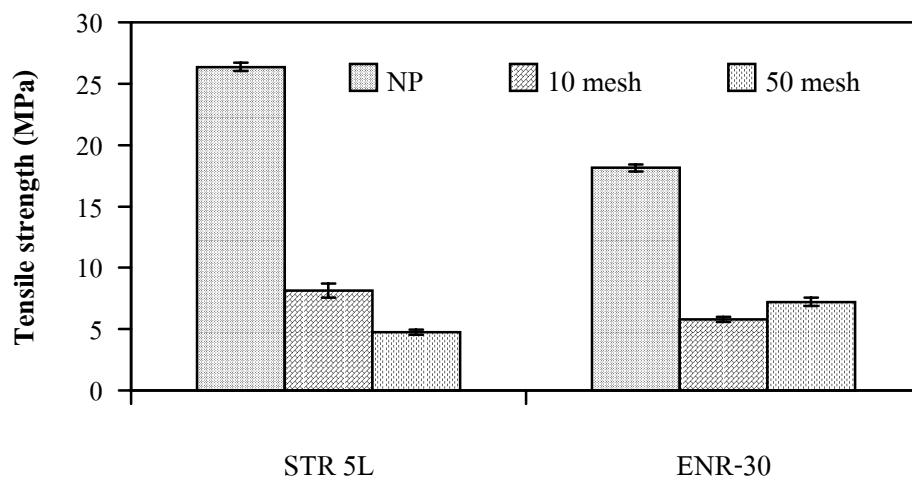
ยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์ยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า Tensile strength มีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 12 เนื่องจาก เมื่อถูกดึงยืดออก กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใส่ลงไปยางจะขัดขวางการเรียงตัวของโมเลกุลยาง ทำให้ความสามารถในการดกผลึกของโมเลกุลยางลดลง และทำให้สมบัติของยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเดิมมีค่า Tensile strength ลดลงตามปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มขึ้น

ยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์ ที่มีหมู่อิพอกไซค์ 10, 20 และ 30 % พบว่ายางอิพอกไซค์มีค่า Tensile strength ลดลงตามปริมาณหมู่อิพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้นและมีค่าต่ำกว่ายาง STR 5L เนื่องจากยางอิพอกไซค์มีพันธะคู่สั้นกว่ายาง STR 5L และหมู่อิพอกไซค์ที่มีอยู่ซึ่งเป็นหมู่เพิ่มสภาพขั้วในยาง ทำให้เกิดพันธะการเชื่อมโยงน้อยกว่าในยาง STR 5L ถึงแม้ว่ายางอิพอกไซค์สามารถดกผลึกได้เช่นเดียวกับยาง STR 5L แต่นอกจากนี้ยางอิพอกไซค์จะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้ยางเปราะขาดได้ง่ายขึ้น การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเดิมในยาง จะส่งผลให้ค่า Tensile strength มีค่าลดลง เนื่องจากสมบัติยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์สามารถดกผลึกได้เมื่อถูกดึงยืด ดังนั้นการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ลงไปยาง จะทำให้ความสามารถในการดกผลึกของโมเลกุลยางลดลงเมื่อถูกดึงยืดออก กระดาษหนังสือพิมพ์จะไปขัดขวางการเรียงตัวของเส้นโมเลกุลยาง ทำให้สมบัติของยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเดิมจะมีค่า Tensile strength ลดลง

หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L และยาง ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดต่างกัน 10 mesh และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ดังรูปที่ 13 พบว่ายาง STR 5L ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีสมบัติ Tensile strength ต่ำกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (10 mesh) เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่า ความสามารถในการยึดติดของกระดาษไม่ดี แต่ในกรณีของยาง ENR-30 ขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) จะให้ค่า tensile strength สูงกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (10 mesh) เนื่องจาก ยางอิพอกไซค์มีหมู่อิพอกไซค์ซึ่งมีสภาพของความเป็นขั้วในโมเลกุลของยาง ทำให้ยางกับกระดาษหนังสือพิมพ์มีความเข้ากันได้มากขึ้น นอกจากนี้กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) มีพื้นที่ผิวมากสามารถยึดติดกับยางและมีการกระจายตัวในโครงสร้างโมเลกุลของยางได้ดี ทำให้ยางสามารถดกผลึกได้สูงขึ้น เมื่อถูกแรงดึงทำให้มีค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกัน หากเปรียบเทียบการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 40 phr ระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-30 จะพบว่ายาง ENR-30 จะมีค่า Tensile strength ต่ำกว่ายาง STR 5L แต่ในกรณีที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 50 mesh พบว่ายาง ENR-30 จะมีค่า Tensile strength สูงกว่ายาง STR 5L



รูปที่ 12 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tensile strength โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 mesh



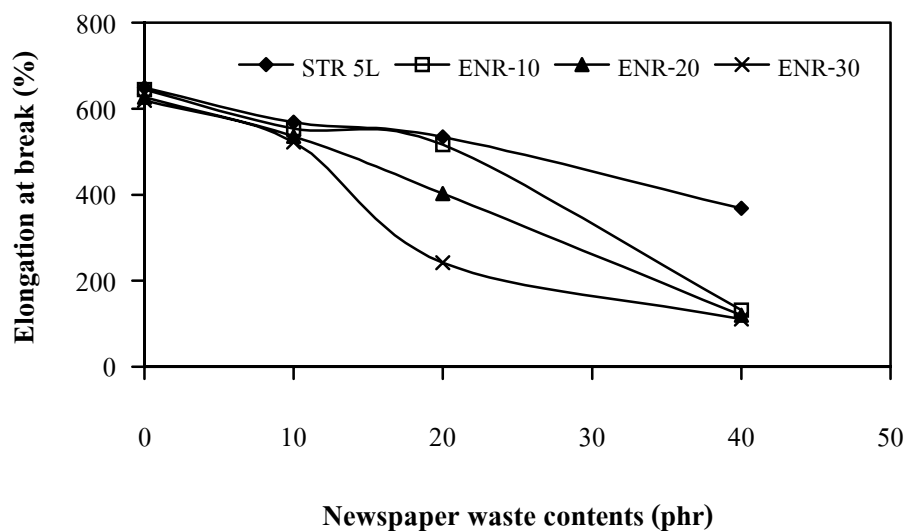
รูปที่ 13 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่ กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4.2.3 ความสามารถในการยืด (Elongation at break)

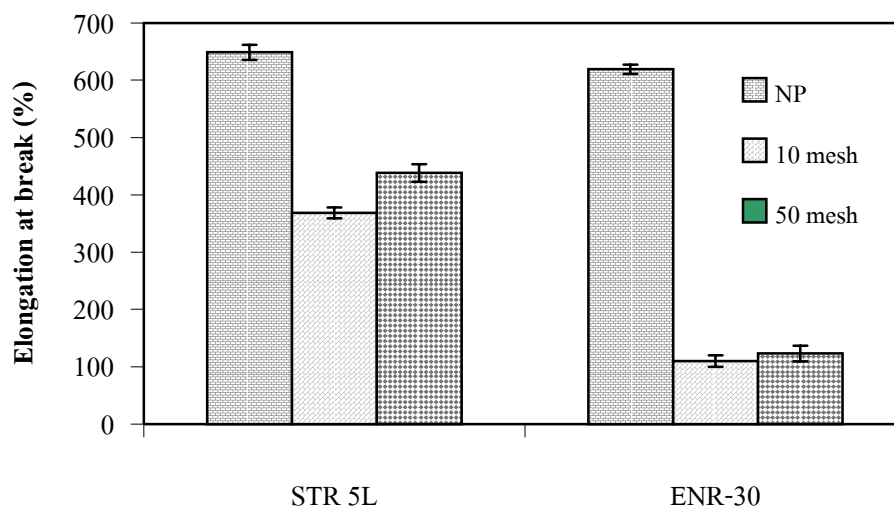
สมบัติ Elongation at break ของยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ (ขนาด 10 mesh) ปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่ามีผลทำให้ค่า Elongation at break ลดลง ดังรูปที่ 4.14 เนื่องจาก การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมเข้าไปทำให้ความเป็นยางลดลง ทำให้สัดส่วนของปริมาณเนื้อยาง (Volume factor) ในยางวัลคาไนซ์มีค่าลดลง และยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการยืดของยางได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 พบว่ายางอียิปต์มี Elongation at break ต่ำกว่ายาง STR 5L และลดลงตามปริมาณหมู่อียิปต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากหมู่อียิปต์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติทำให้โมเลกุลมีความสามารถในการยืดต่ำลง และแรงดึงดูดภายในระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ทำให้ยางมีค่า Elongation at break ลดลง

หากใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีผลทำให้การกระจายตัวของกระดาษหนังสือพิมพ์ในโมเลกุลยางจะดีขึ้น ความสามารถในการยืดของยางจะมีค่าสูงกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ (10 mesh) ส่งผลให้ค่า Elongation at break ของยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีค่าสูงกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 15 เนื่องจากอนุภาคกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก จะขัดขวางการยืดของยางน้อยกว่า

หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-30 ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ พบว่ายาง STR 5L จะมีความสามารถในการยืดสูงกว่ายาง ENR-30 เนื่องจากยาง ENR-30 การมีหมู่อียิปต์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ ทำให้มีแรงดึงดูดภายในโครงสร้างโมเลกุลเพิ่มขึ้น ยางมีความอ่อนตัวต่ำลง ความสามารถในการยืดของยาง ENR-30 มีค่าลดลงด้วย หากใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ลงไปในส่วนผสมของยางทั้งสองชนิด พบว่าสมบัติ Elongation at break จะมีค่าลดลง เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์จะแทรกระหว่างโครงสร้างโมเลกุลยาง มีผลทำให้ยางแข็งเพิ่มขึ้น โครงสร้างโมเลกุลยางและกระดาษไม่มีพันธะยึดเกาะกันอย่างถาวร ความสามารถในการยืดของยางน้อยลง



รูปที่ 14 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



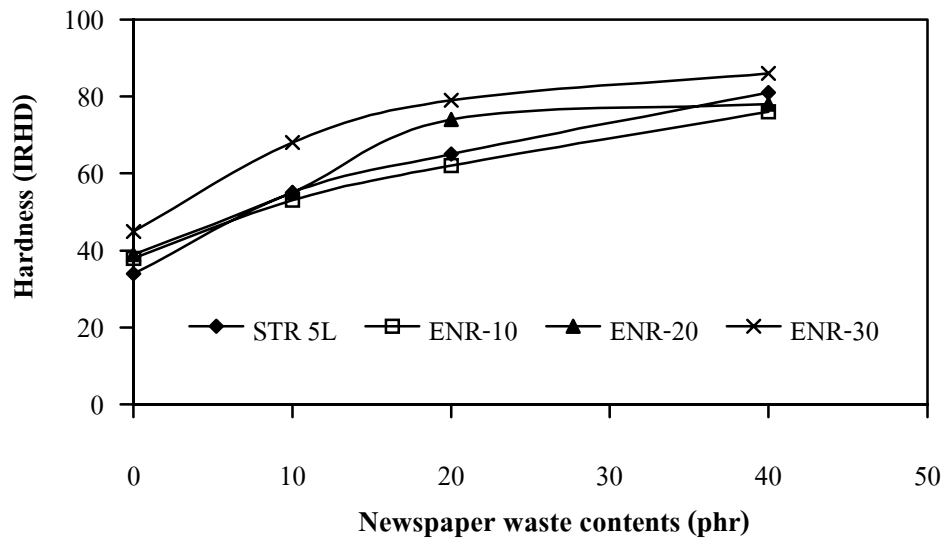
รูปที่ 15 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อสมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4.3 ความแข็ง (Hardness)

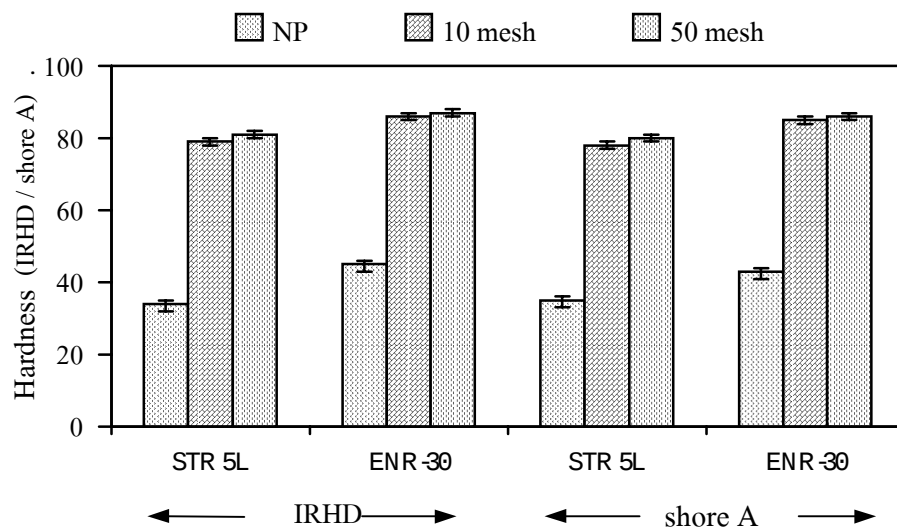
ยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 นำมาใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr หลังการวัลคาไนซ์ พบว่ามีผลทำให้ยางมีความแข็ง เพิ่มขึ้นตามปริมาณกระดาดหนังสือพิมพ์ ดังรูปที่ 16 เนื่องจากกระดาดหนังสือพิมพ์ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม เมื่อใส่เข้าไปในยาง จะแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลยาง ทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง ส่งผลให้ยางที่วัลคาไนซ์ มีความแข็งเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า มอดูลัส ยางที่ใส่กระดาดหนังสือพิมพ์จะมีความแข็งมากกว่ายางที่ไม่ใส่กระดาดหนังสือพิมพ์

หากเปรียบเทียบความแข็งระหว่างยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 พบว่ายางอีพอกไซด์มีความแข็งมากกว่ายาง STR 5L และสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ เนื่องจากยางอีพอกไซด์มี epoxide ring ในโครงสร้างซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนจากเปอร์ฟอรั่มิกเข้าไปทำลายพันธะคู่ของสายโซ่ยางธรรมชาติ ซึ่งพันธะคู่ของยางธรรมชาติเป็นส่วนที่ทำให้ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นทำให้การเคลื่อนของเส้นโมเลกุลยาง (Flexible) ลดลง ความแข็งของยางจะสูงขึ้นและจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถวัดความแข็งได้ในหน่วย IRHD หรือ Shore A ขึ้นกับมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ โดยความแข็งในหน่วย IRHD (มาตรฐาน ISO 48) จะวัดค่าความแข็งได้สูงกว่าแบบ Shore A (มาตรฐาน ASTM D 2240) ประมาณ 1-2 หน่วย จึงถือว่าไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 17 หากเปรียบเทียบยางคอมปาวด์ระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-30 ไม่ใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ พบว่า ยาง ENR-30 มีค่าความแข็งสูงกว่ายาง STR 5L (5-10 IRHD หรือ Shore A) เนื่องจากยางอีพอกไซด์มี oxide ring ในโครงสร้างซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนจากเปอร์ฟอรั่มิกเข้าไปทำลายพันธะคู่ของสายโซ่ยางธรรมชาติ ซึ่งพันธะคู่ของยางธรรมชาติเป็นส่วนที่ทำให้ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่น (Flexible) เมื่อพันธะคู่ถูกทำลายจึงทำให้ยางอีพอกไซด์ที่ปรับสภาพโครงสร้างมีความแข็งมากกว่ายาง STR 5L และความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ปริมาณ 40 phr เท่ากัน พบว่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่ใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh และ 50 mesh ไม่มีความแตกต่างกันนัก แต่กระดาดหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีแนวโน้มค่าความแข็งสูงกว่าการใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากกระดาดหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็กจะสามารถกระจายตัวในโครงสร้างระหว่างโมเลกุลยางได้ดี ทำให้ยางมีความแข็งที่สูงกว่า



รูปที่ 16 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Hardness (IRHD) ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



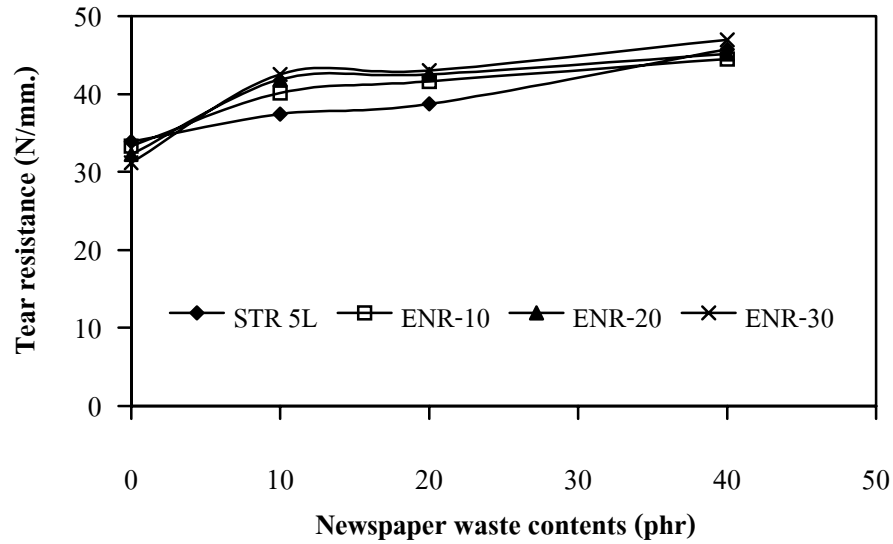
รูปที่ 17 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Hardness แบบ IRHD และ shore A ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4.4 ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance)

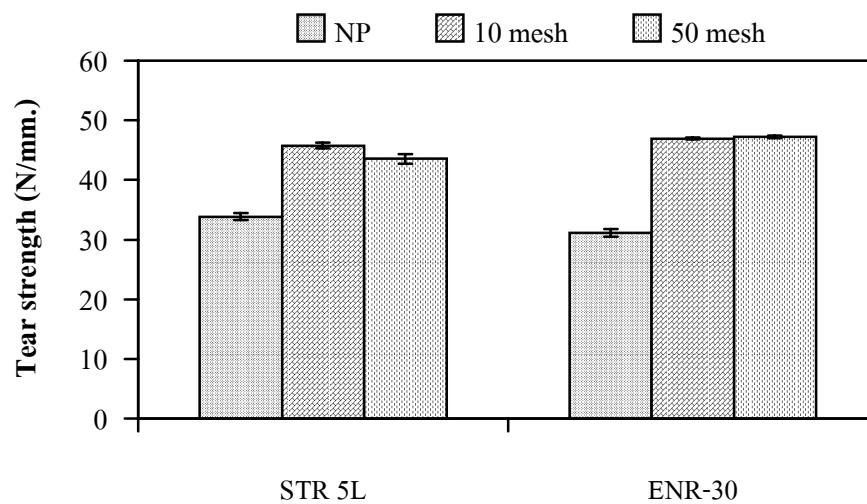
สมบัติ Tear resistance ทดสอบโดยใช้ชิ้นแบบมุม ความเครียดจะเกิดขึ้นและถูกสะสมที่ปลายมุมจนกระทั่งเกิดรอยฉีกตรงปลายมุมและรอยฉีกขยายตัวออกไป เกิดต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็ว โดยเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr ได้ผลดังรูปที่ 18 พบว่า การใส่กระดาษปริมาณเพียงเล็กน้อย 10 phr ทำให้ค่า Tear resistance เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระดาษที่ใส่เป็นสารตัวเติมเส้นใยเล็กๆ สามารถขัดขวางแนวฉีกของยางได้ (Young et al, 1996) หากการยึดติดของกระดาษและยางไม่ดี มีช่องว่างเกิดขึ้นในยาง จะส่งผลให้ค่า Tear resistance ลดต่ำลงได้ สำหรับการเพิ่มปริมาณกระดาษ มีผลต่อค่า Tear resistance เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีความเป็นไปได้ที่ค่า Tear resistance ลดต่ำลง หากเส้นใยไม่แข็งแรงและการยึดติดระหว่างยางและกระดาษไม่ดี

หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 จะพบว่า ยางอีพอกไซด์จะมีค่า Tear resistance สูงกว่ายาง STR 5L ที่มีปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากัน และจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณหม้ออีพอกไซด์ เนื่องจากความเป็นขั้วของยางอีพอกไซด์ และเปอร์เซนต์โมเลกุลอีพอกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้มีความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้น ทำให้ยางมีแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมลงไปในยาง ทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้น (รูปที่ 16) ค่า Tear resistance ของยางมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยโดยไม่มีนัยสำคัญนัก

สำหรับการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) และขนาดใหญ่ (10 mesh) ปริมาณ 40 phr เท่ากัน ในยาง STR 5L และยาง ENR-30 ดังแสดงในรูปที่ 19 พบว่า การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) จะมีค่า Tear resistance ต่ำกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh เล็กน้อย เนื่องมาจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีองค์ประกอบประเภทเส้นใย มีความเป็นขั้วไม่สามารถยึดกับโครงสร้างโมเลกุลยาง STR 5L แต่จะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลยาง กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมาก สามารถเกิดช่องว่างหรือรอยต่อตรงผิวสัมผัสระหว่างซึ่งเป็นช่องว่างเล็กๆ ค่อนข้างมากกว่าการใช้กระดาษที่มีขนาดใหญ่ (50 mesh) ส่งผลให้ค่า Tear resistance ที่ได้ต่ำลง ดังนั้นค่า Tear resistance ของยางคอมปาวด์วัลคาไนซ์ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) จึงมีค่าต่ำกว่ายางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (10 mesh) ส่วนการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 50 mesh และ 10 mesh ในยาง ENR-30 จะให้ค่า Tear resistance ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากยางอีพอกไซด์มีหม้ออีพอกไซด์เกาะอยู่ที่โมเลกุลของยางธรรมชาติ มีสมบัติความเป็นขั้ว กระดาษหนังสือพิมพ์มีความเป็นขั้วเหมือนกันและใส่ปริมาณเท่ากัน จึงทำให้ยางอีพอกไซด์ และกระดาษสามารถเข้ากันได้ดี ดังนั้นกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ (10 mesh) และขนาดเล็ก (50 mesh) ในปริมาณ 40 phr ให้ค่า Tear resistance ไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 18 ผลของปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tear resistance ของยางวัลคาไนซ์ โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh

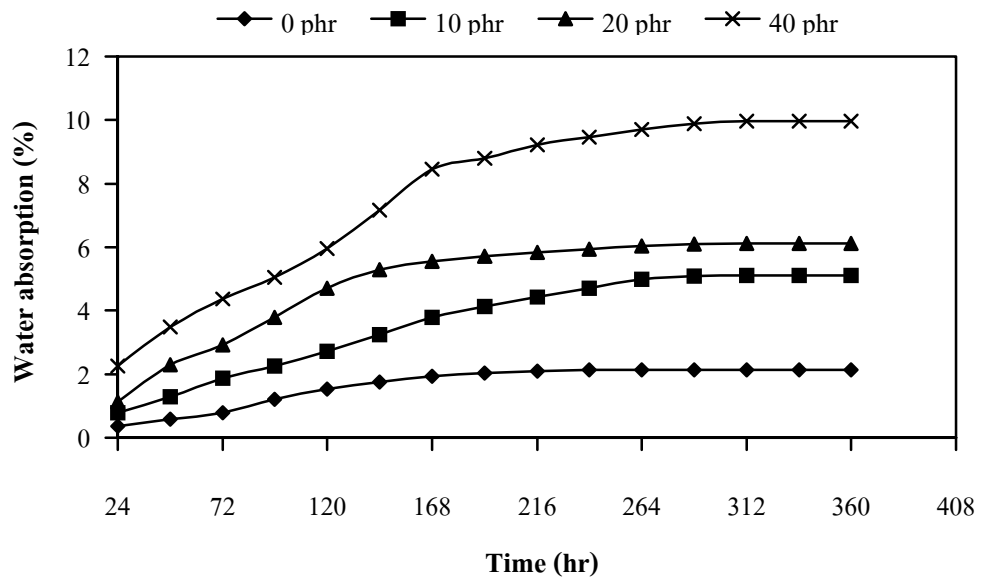


รูปที่ 19 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่า Tear resistance ของยางวัลคาไนซ์ ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

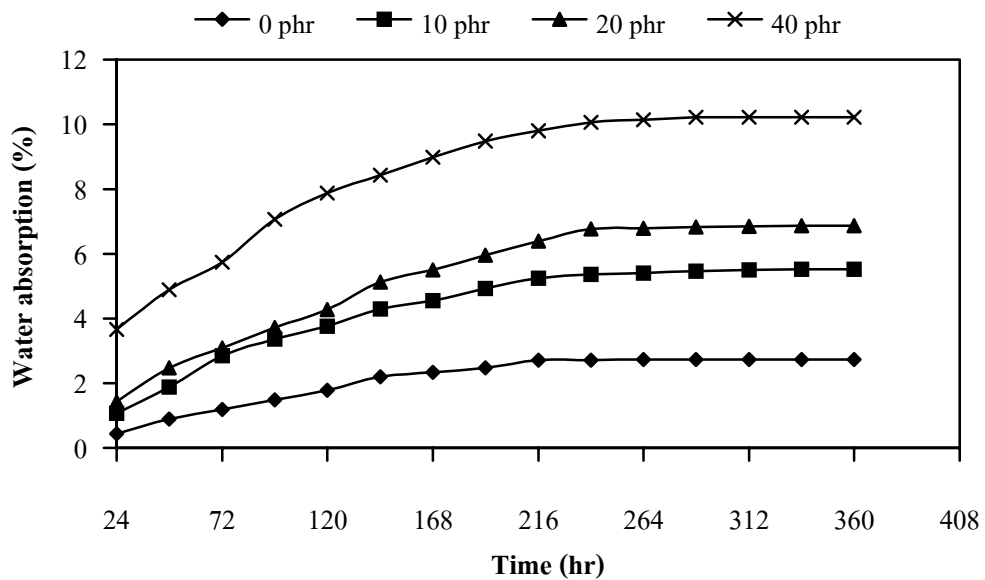
5.4.5 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr ยางที่วัดคาบในแล้วชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วแช่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร รวบรวมการดูดซึมน้ำทุกๆ 24 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคงที่ได้ดังรูปที่ 20-23 พบว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยางปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การดูดซึมน้ำของยางเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกระดาษมีองค์ประกอบเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีหมู่ -OH ส่งผลให้กระดาษหนังสือพิมพ์ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 จะพบว่ายางอพอกไซค์จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ายาง STR 5L และจะสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์หมู่อพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของยางอพอกไซค์มีหมู่อพอกไซค์ ซึ่งมีสภาพความเป็นขั้วในยาง ทำนองเดียวกับน้ำที่มีสภาพเป็นขั้ว จึงทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี กับยางอพอกไซค์และการที่มีเปอร์เซ็นต์หมู่อพอกไซค์เพิ่มขึ้น จะมีสภาพขั้วเพิ่มขึ้นให้กับยางทำให้ยางอพอกไซค์ที่มีเปอร์เซ็นต์หมู่อพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้น มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นด้วย

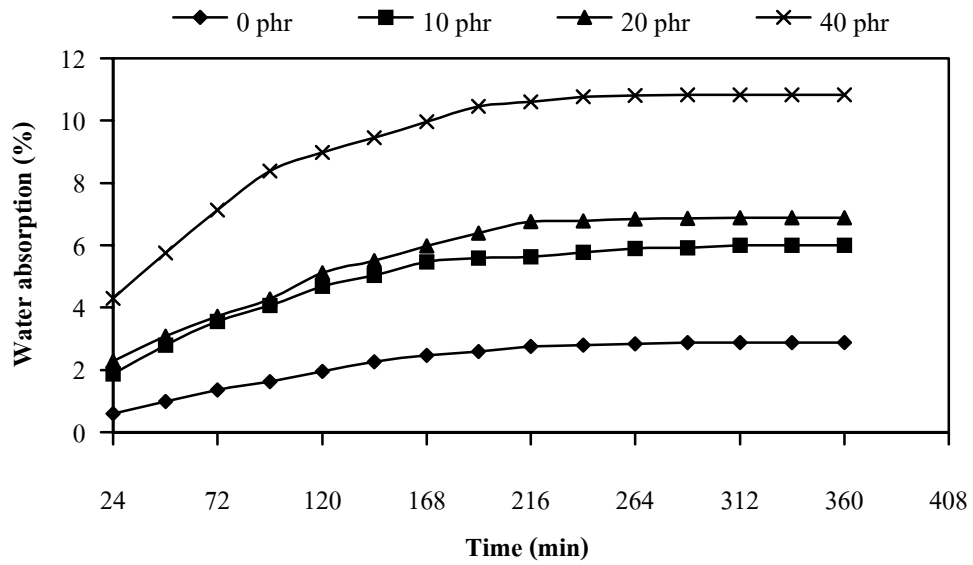
หากเปรียบเทียบขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ 10 และ 50 mesh ที่ปริมาณ 40 phr ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำในยาง STR 5L กับยาง ENR-30 ดังรูปที่ 24 พบว่ายางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก 50 mesh จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ายางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (10 mesh) เนื่องจากเมื่อขนาดอนุภาคของกระดาษหนังสือพิมพ์เล็กลง จะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสน้ำได้มากขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น โดยยาง ENR-30 จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ายาง STR 5L ที่ปริมาณและขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เท่ากัน เนื่องจากที่โมเลกุลของยางอพอกไซค์จะมีหมู่อพอกไซค์ ซึ่งเป็นตัวเพิ่มสภาพขั้วในยาง น้ำสามารถแตกตัวให้ประจุที่มีสภาพเป็นขั้วเช่นเดียวกัน ทำให้สามารถเข้ากันได้ดีกับยางอพอกไซค์ นอกจากนี้การที่ยางอพอกไซค์มีเปอร์เซ็นต์หมู่อพอกไซค์เพิ่มขึ้น จะเพิ่มสภาพขั้วให้กับยางทำให้ยางอพอกไซค์ที่มีเปอร์เซ็นต์หมู่อพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้น มีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นหากเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของยางที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ พบว่ายางที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยมาก และจะมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่ยางในน้ำ เนื่องจากปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์จะมีเส้นใยกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นซึ่งเป็นเซลลูโลสที่มีหมู่ -OH ซึ่งชอบน้ำจึงทำให้กระดาษหนังสือพิมพ์ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น กรณีที่ไม่มีกระดาษหนังสือพิมพ์จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง



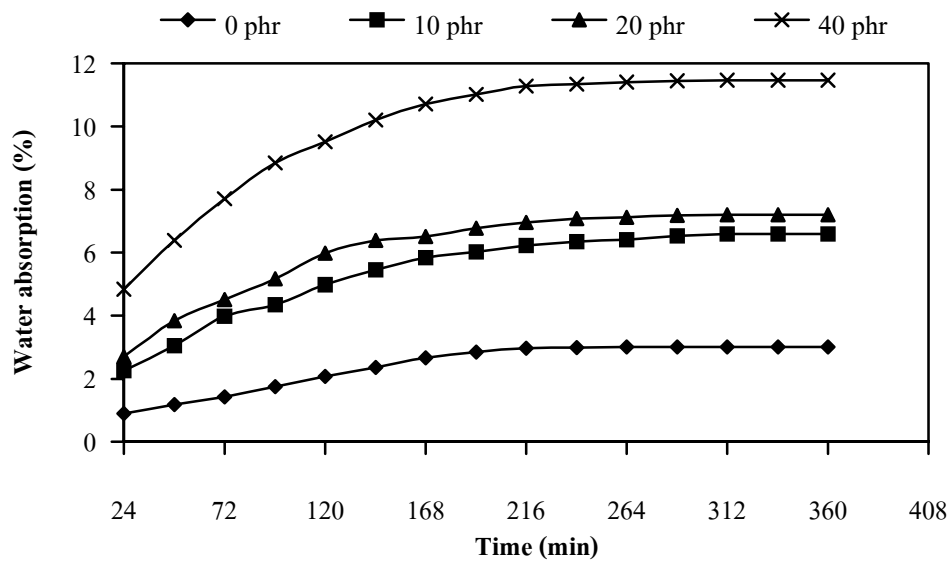
รูปที่ 20 ผลของปริมาณกระดาศหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง STR 5L โดยใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



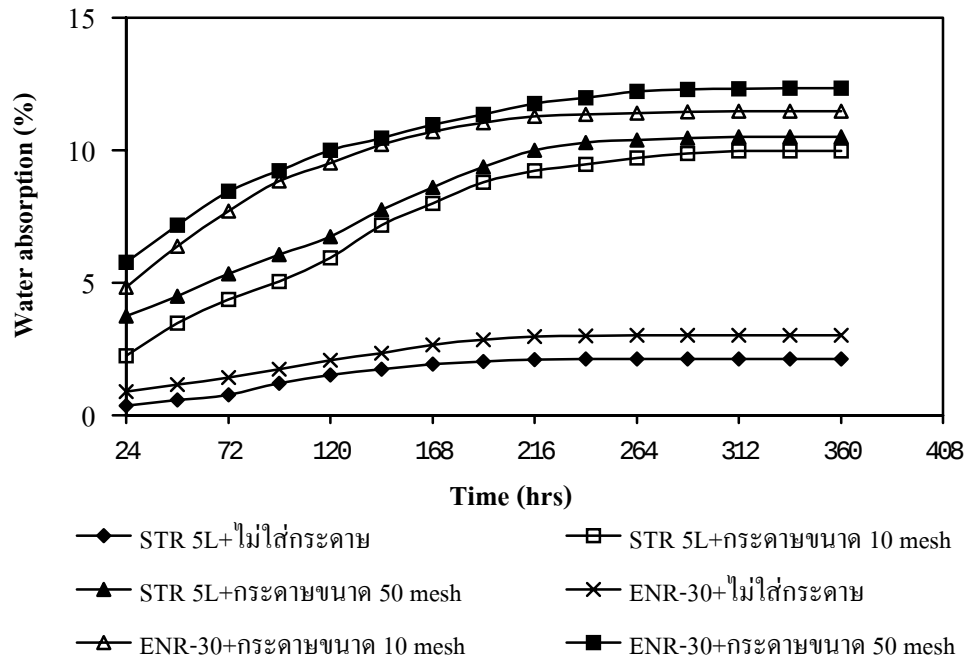
รูปที่ 21 ผลของปริมาณกระดาศหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-10 โดยใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



รูปที่ 22 ผลของปริมาณกระดาดหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-20 โดยใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



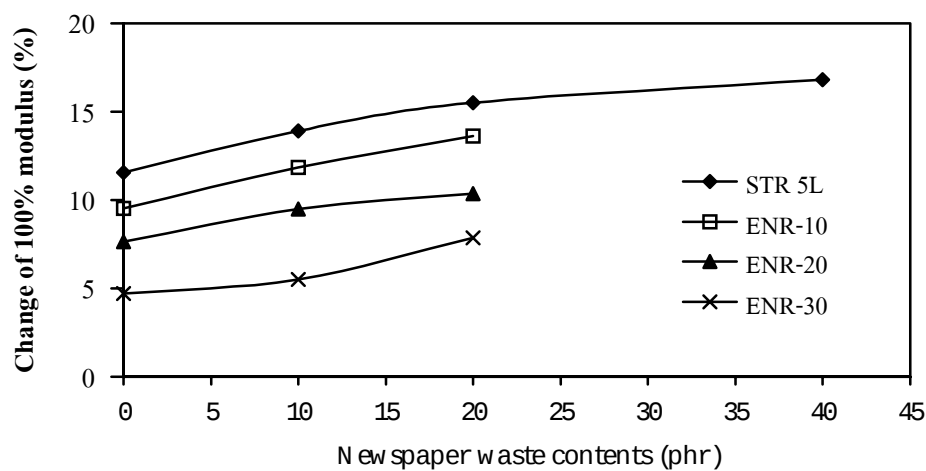
รูปที่ 23 ผลของปริมาณกระดาดหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง ENR-30 โดยใส่กระดาดหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



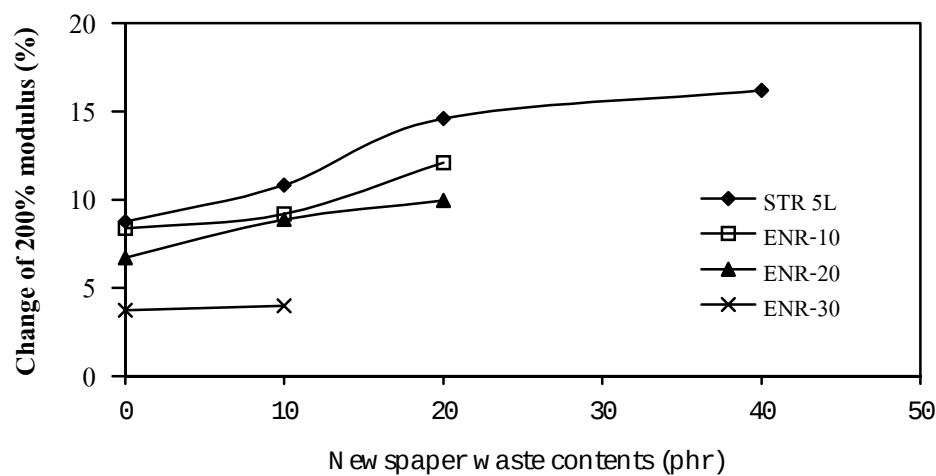
รูปที่ 24 ผลของขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ต่อค่าการดูดซึมน้ำของยาง STR 5L และยาง ENR-30 ที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ และที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

5.4.6 การบ่มเร่งยางด้วยอากาศร้อน (Hot Air Aging)

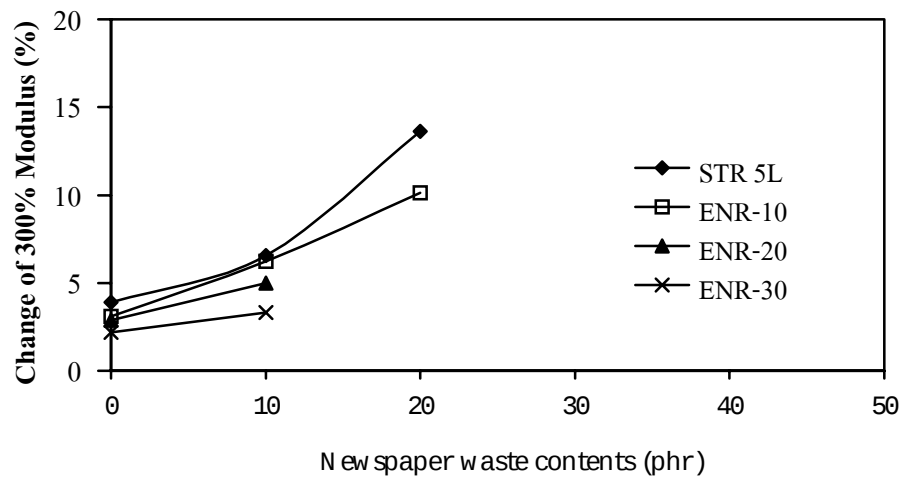
ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 573-04 โดยใช้ชิ้นทดสอบยางรูปดัมเบล แขนงในเครื่องบ่มเร่งแบบเกียร์ แบบเซลโดยไม่มีลมความเร็วดี ความดันสัมพัทธ์อากาศได้ตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และไม่ถูกแสง หลังอบตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง ก่อนทดสอบสมบัติที่เปลี่ยนไปหลังบ่มเร่ง โดยเปรียบเทียบผลของยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณ 0, 10, 20 และ 40 phr มีสมบัติเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 25 (a) – (c)



รูปที่ 25 (a) สมบัติ 100% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ หลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C 72 ชั่วโมง

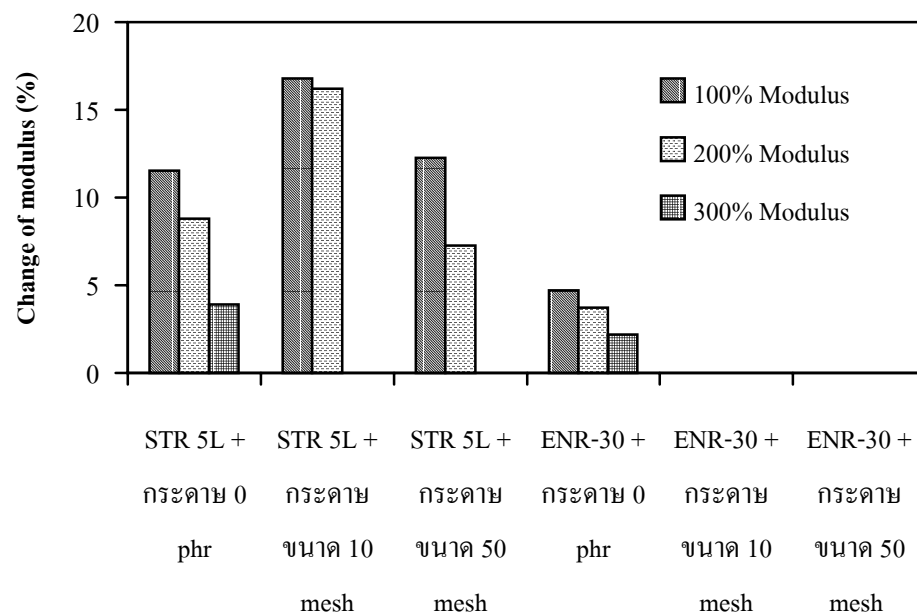


รูปที่ 25 (b) สมบัติ 200% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ หลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 25 (c) สมบัติ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณต่าง ๆ หลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ส่วนกระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ใส่ในยาง STR 5L และ ยาง ENR-30 หลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนมีสมบัติเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 สมบัติ 100%, 200% และ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์โดยใช้กระดาษขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr หลังการบ่มแรงที่ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

การบ่มแรงด้วยอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง มีผลทำให้โมเลกุลของยางกับสารเคมีจะเกิดการเชื่อมพันธะกันอีก ทำให้ยางมีความแข็งแรงมากขึ้น สมบัติ modulus ของยางวัลคาไนซ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ยางคอมปาวด์ที่แปรกระดาศขนาด 10 mesh ปริมาณต่างๆ 10, 20, 30 และ 40 phr ดังรูปที่ 25 (a-c)-พบว่า การบ่มแรงยางทำให้สมบัติ 100%, 200% และ 300% modulus ของยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกระดาศหนังสือพิมพ์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระดาศหนังสือพิมพ์ปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และปริมาณกระดาศที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ยางขาดเร็วขึ้น โดยเฉพาะยางอโฟกไซค์ที่ใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ปริมาณเกิน 20 phr ยางวัลคาไนซ์จะยึดได้ที่ระยะต่ำกว่า 200-300%

หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L กับยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 ดังรูปที่ 25 (a) และรูปที่ 26 จะเห็นว่า ยาง STR 5L จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Modulus สูงกว่ายางอโฟกไซค์ เนื่องจากยาง STR 5L มีพันธะคู่มากกว่ายางอโฟกไซค์ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงได้มาก การเปลี่ยนแปลงของ modulus จึงมีค่ามากด้วย ทำนองเดียวกันหากเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โมลอโฟกไซค์ต่างๆ จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ modulus ของยางอโฟกไซค์มีค่าลดลงตามปริมาณหม้ออโฟกไซค์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของพันธะคู่ในยางจะลดลงตามปริมาณของหม้ออโฟกไซค์ที่เพิ่มขึ้น

หากเปรียบเทียบผลของขนาดกระดาศหนังสือพิมพ์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ 100%, 200%, และ 300% Modulus พบว่าการใส่กระดาศหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมปริมาณ 40 phr ชนิดที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) มีผลทำให้สมบัติ Modulus มีค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าการใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (10 mesh) เนื่องจากกระดาศหนังสือพิมพ์ที่เล็กนั้นจะสามารถกระจายตัวในโมเลกุลยางได้ดีทำให้สมบัติ Modulus ก่อนและหลังทดสอบการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนมีค่าต่างกันไม่มาก ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของการใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีค่าน้อยกว่าการใส่กระดาศหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh)

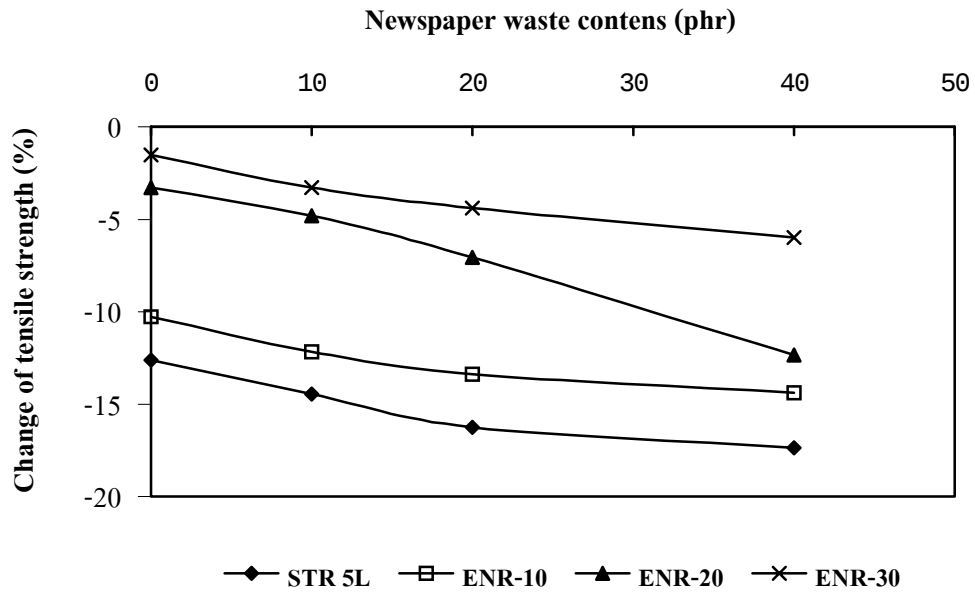
สำหรับยาง ENR-30 ใส่กระดาศหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมปริมาณ 40 phr ขนาด 10 mesh และ 50 mesh พบว่ายางที่วัลคาไนซ์แล้วจะยึดได้ในระยะที่สั้นมาก ไม่สามารถวัดค่าสมบัติ 100-300% Modulus ของยางได้

หลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ปริมาณต่างๆ 10ล 20 และ 40 phr (รูปที่ 27) พบว่า เมื่อปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มขึ้น สมบัติ Tensile strength หลังการบ่มแรงจะมีค่าลดลง และจะมีค่าลดลงตามปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มขึ้น สำหรับยาง STR 5L จะมีการลดลงของเปอร์เซ็นต์ของค่า Tensile strength มากกว่ายางอิพอกไซค์

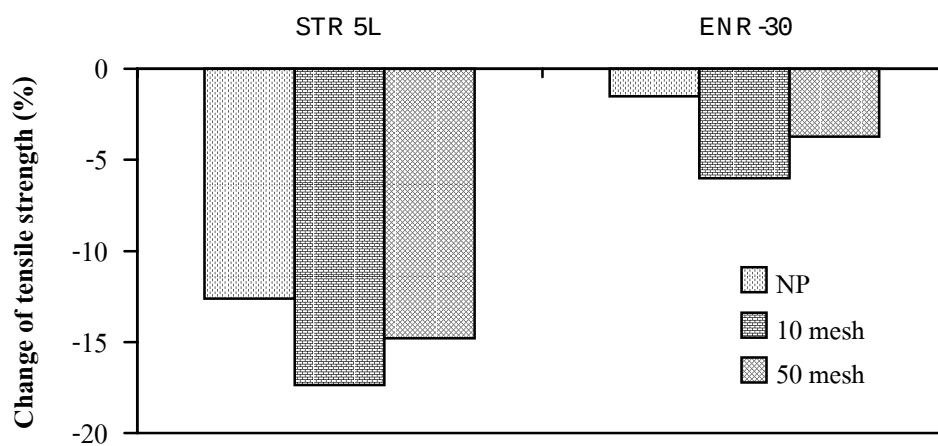
หลังบ่มแรงยางที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 มีสมบัติ Tensile strength เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าในยาง STR 5L เนื่องจากการที่ยาง STR 5L มีโครงสร้างพันธะคู่มากกว่า ทำให้ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายจึงเกิดการเสื่อมได้ง่าย ดังนั้นการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน หลังการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติม จึงมีผลทำให้กระดาษหนังสือพิมพ์เสื่อมง่ายยิ่งขึ้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงหลังบ่มแรงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์

การใส่และไม่ใส่สารตัวเติมกระดาษ ในส่วนผสมของยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์ พบว่า ยางอิพอกไซค์ มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Tensile strength น้อยกว่าในยาง STR 5L และสมบัติ Tensile strength มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของหมู่อิพอกไซค์เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางอิพอกไซค์มีหมู่อิพอกไซค์ซึ่งเป็นหมู่ที่เพิ่มสภาพขี้ในยางธรรมชาติโครงสร้างพันธะคู่น้อยกว่ายาง STR 5L ทำให้ยางอิพอกไซค์ ทนการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนแลทนทานต่อการถูกออกซิไดส์ได้มากขึ้น จึงเกิดการเสื่อมได้น้อยกว่า

หากเปรียบเทียบการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก (50 mesh) และขนาดใหญ่ (10 mesh) ปริมาณ 40 phr ในยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์ บ่มแรงยางที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า ยาง STR 5L และยางอิพอกไซค์ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Tensile strength น้อยกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) ดังรูปที่ 28 เนื่องจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก สามารถกระจายตัวในโมเลกุลยางได้สม่ำเสมอ ส่วนจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่จะมีสมบัติ Tensile strength ที่แปรปรวนมากกว่า ส่งผลให้ยางวัลคาไนซ์ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) มีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Tensile strength มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก หลังทดสอบการบ่มแรงด้วยอากาศร้อน การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็ก (50 mesh) จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



รูปที่ 27 สมบัติ Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่าง ๆ

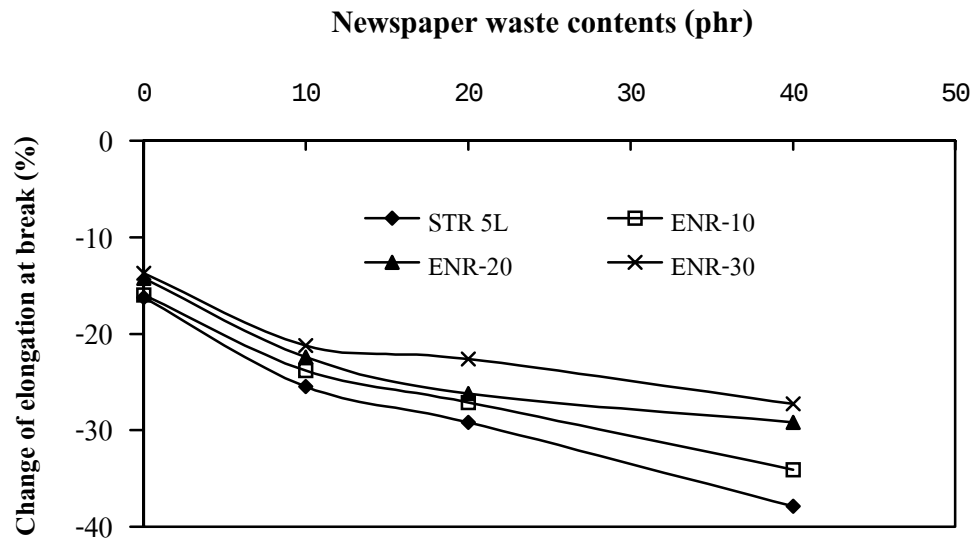


รูปที่ 28 สมบัติ Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ใส่และที่ไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr

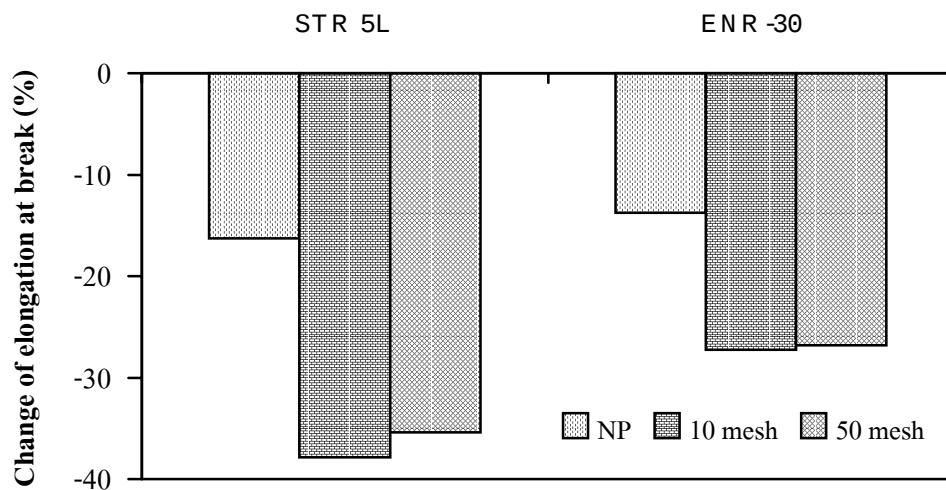
ทำนองเดียวกันหลังการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Elongation at break ของยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 มีแนวโน้มลดลงมากขึ้นตามปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์ ดังรูปที่ 29 เนื่องจากเมื่อยางได้รับความร้อนยางจะมีความแข็งเพิ่มสูงขึ้นทำให้ยางยืดได้น้อยลง

หากเปรียบเทียบระหว่างยาง STR 5L และยาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 พบว่ายาง STR 5L มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Elongation at break สูงกว่ายาง ENR-10, ENR-20 และ ENR-30 เนื่องจากการบ่มแรงยางที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ยาง STR 5L เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายกว่ายางอีพอกไซด์ ความยืดหยุ่นของยางจึงต่ำลง

หากเปรียบเทียบกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใส่ในส่วนผสมยางที่มีขนาดใหญ่และเล็ก (10 mesh และ 50 mesh) ตามลำดับ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติ Elongation at break มีผลแตกต่างกันไม่มากนัก (รูปที่ 30) การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดใหญ่ (10 mesh) มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเล็กน้อย กระดาษหนังสือพิมพ์ที่เล็กนั้นจะสามารถกระจายตัวในโมเลกุลยางได้ดีกว่า ทำให้สมบัติ Elongation at break ก่อนและหลังทดสอบการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนมีค่าต่างกันไม่มากทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 50 mesh มีค่าน้อยกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh



รูปที่ 29 สมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังจากการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมงโดยใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh ที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 30 สมบัติ Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ ภายหลังจากการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ใส่และไม่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr.

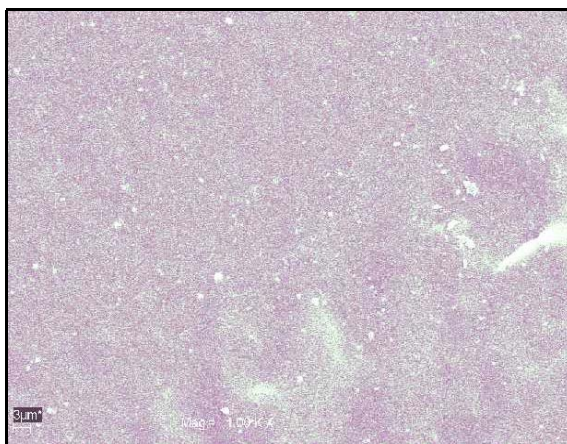
5.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Surface morphology)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางวัลคาไนซ์ เตรียมจากการนำขึ้นทดสอบมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ยางแข็งตัวเหมือนแก้ว แล้วหักขึ้นทดสอบให้ได้ผิวหน้าใหม่ นำขึ้นทดสอบมาอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อจากนั้นเคลือบผิวหน้ารอยแตกด้วยทอง นำขึ้นทดสอบมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวขึ้นทดสอบ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L และยางอีพอกไซด์ (ENR) ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณต่างๆ (รูปที่ 31-33) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์มีผลทำให้ความเป็นเนื้อเดียวกันขององค์ประกอบในยางระหว่างกระดาษหนังสือพิมพ์กับยางจะลดลง เนื่องจากการเกิดช่องว่างระหว่างกระดาษหนังสือพิมพ์กับยางเพิ่มขึ้น

เปรียบเทียบระหว่าง ยาง STR 5L ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ 0, 10, 20 และ 40 phr กับยางอีพอกไซด์ (ENR) จะเห็นว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใส่ในยางอีพอกไซด์จะมีการเกาะติดกับยางมากกว่าการใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ในยาง STR 5L หากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลอีพอกไซด์ระดับต่าง ๆ พบว่าการใช้ยางอีพอกไซด์ที่ 30 %โมล (ENR-30) จะมีความเข้ากันได้มากที่สุด รองลงคือยางอีพอกไซด์ที่ 20 %โมล (ENR-20) และยางอีพอกไซด์ที่ 10 %โมล (ENR-10) ตามลำดับ เนื่องจากการมีหมู่อีพอกไซด์เป็นการเพิ่มความเป็นขั้วในยางธรรมชาติ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์โมลมากก็จะเป็นขั้วที่สูง โดยจะเป็นขั้วที่มีความแข็งแรงส่งผลให้ยางอีพอกไซด์มีแรงยึดเหนี่ยวของขั้วในโครงสร้างกับกระดาษหนังสือพิมพ์ได้ดีขึ้น

กระดาษหนังสือพิมพ์ 0 phr



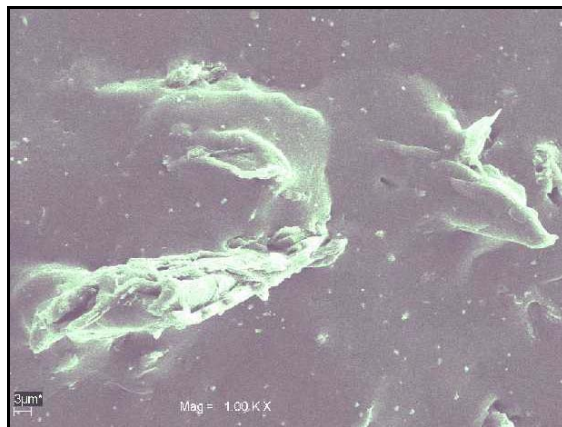
รูปที่ 31 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L ไม่ใส่กระดาษ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

กระดาษหนังสือพิมพ์ 10 phr



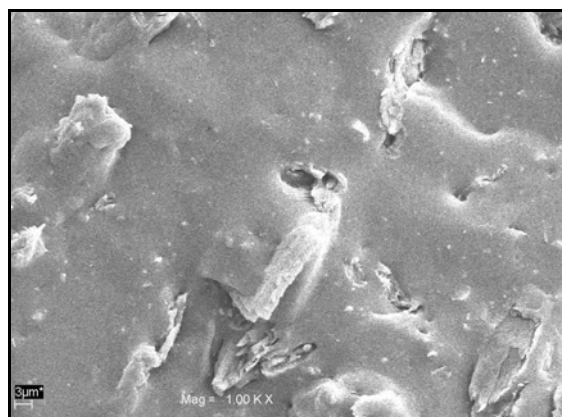
(a)

กระดาษหนังสือพิมพ์ 20 phr



(b)

กระดาษหนังสือพิมพ์ 40 phr



(c)

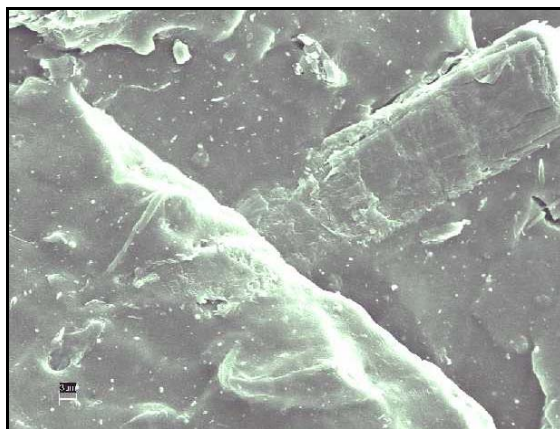
รูปที่ 32 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L ใส่กระดาษขนาด 10 mesh ปริมาณ 10, 20 และ 40 phr (a, b และ c) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

กระดาษหนังสือพิมพ์ 10 phr



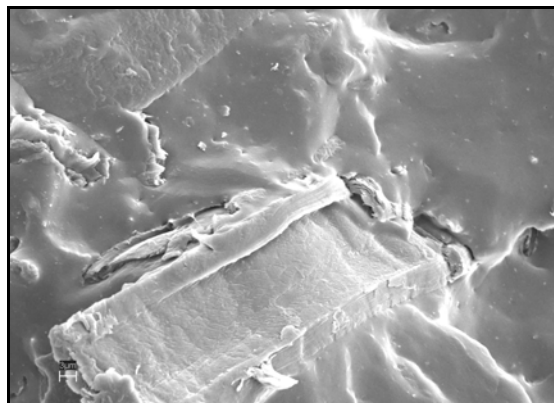
(a)

กระดาษหนังสือพิมพ์ 20 phr



(b)

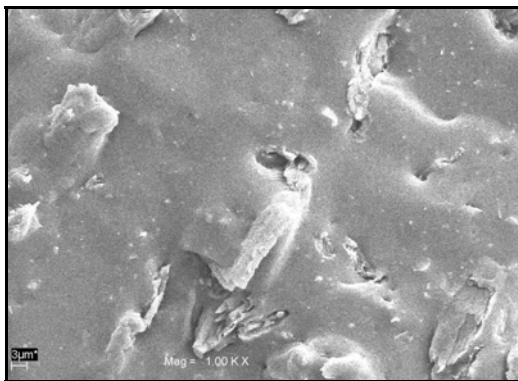
กระดาษหนังสือพิมพ์ 40 phr



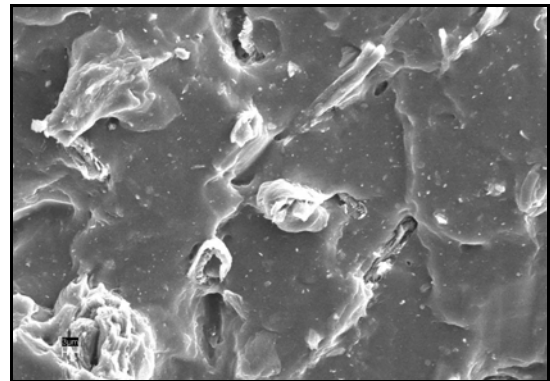
(c)

รูปที่ 33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางENR-20 ใส่กระดาษขนาด 10 mesh ปริมาณ 10, 20 และ 40 phr (a, b และ c) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

รูปที่ 34 (a-d) แสดงให้เห็นว่า ยาง STR 5L ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ขนาด 10 mesh และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr มีช่องว่างระหว่างยางกับกระดาษหนังสือพิมพ์มากกว่ายางอิพอกไซค์ ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเดียวกัน ช่องว่างที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก แสดงว่า ขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ มีผลต่อสมบัติของแรงดึงและการฉีกขาดของยางค่อนข้างมาก ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าสามารถแทรกตัวเข้ากับยางได้ดีกว่าขนาดใหญ่ และขนาดอนุภาคที่เล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสยางที่มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างยางกับกระดาษหนังสือพิมพ์น้อยลง กระดาษหนังสือพิมพ์มีองค์ประกอบของเส้นใยที่มีขั้วทำให้สามารถเกาะติดกับยางอิพอกไซค์มีความเป็นขั้วได้ดี

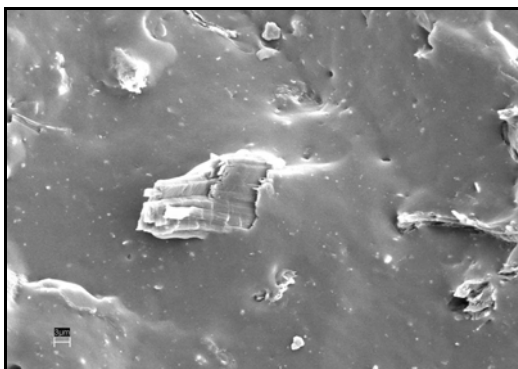


(a)

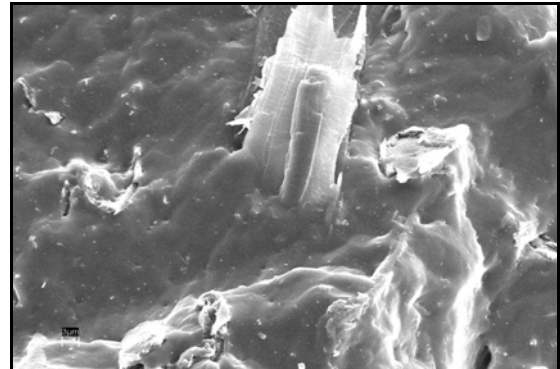


(b)

STR 5L + กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณ 40 phr ขนาด (a) 50 mesh (b) 10 mesh



(c)



(d)

ENR-30 + กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณ 40 phr ขนาด (c) 50 mesh (d) 10 mesh

รูปที่ 34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยาง STR 5L และยาง ENR-30 ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาด 10 mesh และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr (a, b, c, และ d) ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

5.6 ความเป็นไปได้ของการใช้งาน

ผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีสมบัติทางกายภาพดี ราคาถูก เช่น ยางปูพื้น ไม่มีการกำหนดมาตรฐานแน่นอน ในทางการค้าจึงมีการผลิตโดยใช้ยางธรรมชาติที่มีเกรดต่ำ ใช้เศษยางที่วัลคาไนซ์แล้ว หรือยางรีเคลมที่ทำมาจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้แล้วนำกลับมาใช้แปรรูปใหม่ โดยการใช้เป็นส่วนผสมยาง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นมีราคาไม่แพง ทำนองเดียวกันวัสดุที่ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง และมีจำนวนมาก เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ มืองค์ประกอบของเส้นใยหรือเยื่อกระดาษที่สามารถย่อยสลายได้ หากมีการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยาง จะสามารถทำให้ราคาค้นทุนของผลิตภัณฑ์ยางลดลงได้อย่างมาก

วิธีการนำกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้แล้ว มาผ่านกระบวนการบดและย่อย (หัวข้อที่ 4.1 และ 5.2) ทำให้กระดาษมีขนาดอนุภาคเล็ก (10 mesh-และ 50 mesh) มีลักษณะคล้ายเยื่อกระดาษ หลังจากอบไล่ความชื้นให้มีค่าต่ำกว่า 0.8% แล้วนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (STR 5L) และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) พบว่ายางคอมปาวด์สามารถวัลคาไนซ์ได้ในระยะเวลาที่สั้นลง (หัวข้อ 5.3.2) สมบัติของยางวัลคาไนซ์พบว่า มีแนวโน้มของความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ระยะยืดสั้นๆ (100-300% Modulus) และความทนทานต่อการฉีกขาดค่อนข้างสูงกว่ายางวัลคาไนซ์ที่ไม่ใส่สารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ (หัวข้อ 5.4.2 และ 5.4.4 ตามลำดับ) รวมทั้งแผ่นยางวัลคาไนซ์มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่ายางวัลคาไนซ์ที่ไม่ใส่สารตัวเติมกระดาษ (หัวข้อ 5.4.5) แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ใช้แล้วมาใช้เป็นประโยชน์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยเฉพาะยางธรรมชาติที่ปรับสภาพให้มีความเป็นขี้ (ENR) สามารถยึดติดกับวัสดุที่มีความเป็นขี้ได้ดี หากนำมาใช้เป็นส่วนผสมของยางปูพื้นอาคาร ยางปูพื้นสนามเด็กเล่น จะสามารถเพิ่มความร่มเย็น ลดการบาดเจ็บเนื่องจากอุบัติเหตุการหกล้มได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยางมีราคาถูก เพิ่มมูลค่ากระดาษ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

6. สรุปผล

การใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (STR5L) และยางอีพอกไซค์ (ENR) ปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ 0, 10, 20 และ 40 phr พบว่า ความหนืดมูนนี้ยางคอมปาวด์มีค่าสูงขึ้น ส่วนเวลาขึงสก็อตและการวัลคาไนซ์ยางมีแนวโน้มลดลง โดยยาง ENR มีเวลาขึงสก็อตและเวลาวัลคาไนซ์ ต่ำกว่ายาง STR 5L

การใส่สารตัวเติมกระดาษหนังสือพิมพ์ มีผลทำให้สมบัติ 100-300% Modulus, Tear resistance ความแข็ง การดูดซึมน้ำ และ ความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยยาง ENR มีค่าสูงกว่ายาง STR5L ส่วนสมบัติ Tensile strength และ Elongation at break มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เพิ่มขึ้น โดยยาง ENR มีค่า Tensile strength และ Elongation at break ต่ำกว่ายาง STR 5L และมีค่าลดลงตามปริมาณหม้ออีพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้น

การใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีขนาด 10 mesh และ 50 mesh ปริมาณ 40 phr ไม่มีผลต่อค่าความหนืดของยาง ขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เล็กกลง จะส่งผลให้เวลาขึงสก็อต การวัลคาไนซ์ยาง, สมบัติ 100-300% Modulus และ Tensile strength มีแนวโน้มลดต่ำลง ส่วน Elongation at break, ความแข็ง และการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

หลังบ่มเร่งยางด้วยอากาศร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า 100-300% Modulus, Tensile strength และ Elongation at break มีค่าลดลงตามปริมาณกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เพิ่มขึ้น และขนาดของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เล็กกลง โดยยาง ENR มีสมบัติเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ายาง STR5L และลดลงตามปริมาณของหม้ออีพอกไซค์ที่เพิ่มขึ้น

การนำกระดาษหนังสือพิมพ์มาใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อทำผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นมีความเป็นไปได้ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยางที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่าความเข้ากันได้ของกระดาษกับยางลดลง กระดาษหนังสือพิมพ์ขนาดเล็กมีความเข้ากันได้กับยางมากกว่า

7. ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของความต้านทานต่อการสึกหรอของยางธรรมชาติที่ผสมกระดาษหนังสือพิมพ์และยางอีพอกไซค์ ที่ผสมกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มเติม เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับลักษณะของการสึกหรอเมื่อนำไปใช้งานจริง

2. ศึกษาการใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ในยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์ยาง และวิเคราะห์ราคาวัตถุดิบ รวมทั้งเปรียบเทียบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ผลิตภัณฑ์

8. เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ พุทธนา 2544. การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน/เยื่อเซลลูโลสจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผ่านการตัดแปรรูปผิว, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Alex, R., De, P.P. and De, S.K. 1989. Self-vulcanizable rubber blend system based on epoxidized Natural rubber and carboxylated nitrile rubber, *J. Polym Sci : Part C : Polym Let.*, 27 : 361-367
- ASTM D 412-98a Method A. 2000. Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer-Tension, *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 09.01. 43-55
- ASTM D 624-86. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. *Annual Book of ASTM Standards*. Vol 09.01
- ASTM D 1646-99. 2000. Standard Test Method for Rubber Property-Viscosity, Stress Relaxation, and Pre-Vulcanization Characteristic (Mooney Viscometer), *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 09.01. 327-337
- ASTM D 2084-95. 2000. Standard Test Method for Rubber Property-Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter, *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 09.01. 365-375
- ASTM D 2240. 2000. : Standard Test Method. for Rubber Property Durometer Hardness, *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 09.01
- Davey, J.E. and Loadman, M.J.R. 1984. Chemical demonstration of the randomness of epoxidation of natural rubber. *British Polymer Journal*, 16, 134-138
- Ishak, Z. A. M., Abu Bakar, A., Ishiaku, U. S., Hashim, A. S., and Azahari, B. (1997). An investigation of the potential of rice husk ash as a filler for epoxidized natural rubber-II. Fatigue behaviour. *Journal of applied polymer science*, Vol .33, p. 73-79
- Molder T. and Traes O. 1996. Grinding of waste paper and rice hull with the Szego mill for as plastics filler. *Int. J. Miner. Process.* 44-45: 583-595
- Nashar, D.E.El., Abd-El-Messieh, S.L. and Basta, A.H. 2002. Newsprint Paper Waste as a Filler Reinforcement in Rubber Composites. *J. Polym. Science*, 91 : 3410-3420
- Qiao, X., Zhang, Y. and Zhang, Y. 2004. Maleic anhydride grafted polypropylene as a coupling agent for polypropylene composite filled with ink-eliminated waste paper sludge flour, *Journal of applied polymer science*, Vol .91, p. 2320-2325
- Qiao, X., Zhang, Y. and Zhang, Y. 2003. Ink-eliminated waste paper sludge flour-filled polypropylene composites with different coupling agent treatments. *J. of applied polymer science*, Vol.89, p. 513-520
- Young, R.J. and Lovell, P.A. 1996. *Introduction to Polymers* 2nd ed. Chapman & Hall, London. p 407-411

ภาคผนวก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษาการใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ	1. ศึกษาการเตรียมยางอโฟกไซค์ (ENR) และเตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์ - แปรรูปยางอโฟกไซค์ที่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซนต์โมล - ย่อยกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยการบดและร่อนด้วยตะแกรง (ขนาด 10 และ 50 mesh)	- เตรียมยางอโฟกไซค์ (ENR) ที่มีหุ้ อโฟกไซค์ 10, 20, และ 30 เปอร์เซนต์โมล - เตรียมกระดาษหนังสือพิมพ์ โดย การบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด ขนาด 10 และ 50 mesh	- สามารถเตรียมยางอโฟกไซค์ (ENR) ที่มีหุ้ อโฟกไซค์ 10, 20, และ 30 เปอร์เซนต์โมล - สามารถย่อยกระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษหนังสือพิมพ์ โดยการบด และร่อนด้วยตะแกรง (ขนาด 10 และ 50 mesh)
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติที่ใช้กระดาษเป็นสารตัวเติม	2. ศึกษาการใช้กระดาษที่ย่อยแล้ว เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมของยางอโฟกไซค์ และทดสอบสมบัติ	- ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ ที่ย่อยแล้ว เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมของยางธรรมชาติ และยางอโฟกไซค์ และทดสอบสมบัติ	- สามารถผสมยางที่ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ย่อยแล้ว ขนาด 10 และ 50 mesh เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (STR 5L) และทราบสมบัติของยาง

2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติที่ใช้กระดาษเป็นสารตัวเติม (ต่อ)	2.1 ใส่กระดาษเป็นสารตัวเติมในส่วนผสมของยางธรรมชาติ - แปรขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากับ 10 และ 50 mesh - แปรปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากับ 0, 10, 20 และ 40 phr 2.2 ทดสอบสมบัติความหนืดของยางคอมเพาวด์ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษด้วยเครื่องความหนืดมูนนี่ 2.3 ทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่อง ODR	- ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ ขนาด 10 และ 50 mesh เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมของยางธรรมชาติ และ ยางอิพอกไซด์ : แปรขนาดกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากับ 10 และ 50 mesh : แปรปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์เท่ากับ 0, 10, 20 และ 40 phr - ตรวจสอบสมบัติความหนืดของยางคอมเพาวด์ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษด้วยเครื่องความหนืดมูนนี่ - ตรวจสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ Scorch time, cure time ด้วยเครื่อง ODR	- ได้ส่วนผสมยางธรรมชาติ และยางอิพอกไซด์ ที่ใส่กระดาษหนังสือพิมพ์ ที่มีขนาดต่างกัน เป็นสารตัวเติมของยางธรรมชาติ และมีการแปรปริมาณของกระดาษหนังสือพิมพ์ - ทราบสมบัติความหนืดของยางคอมเพาวด์ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษ ขนาดและปริมาณต่างๆ - ทราบสมบัติการวัลคาไนซ์ (Scorch time, cure time) ด้วยเครื่อง ODR
---	---	--	--

2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติที่ใช้กระดาษเป็นสารตัวเติม (ต่อ)	2.4 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ 2.5 ศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของชิ้นทดสอบยางที่ใส่สารตัวเติมกระดาษ	- ตรวจสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่ใส่สารตัวเติมกระดาษ ได้แก่ - Tensile strength, - 100%, 200% และ 300% modulus - longation at break) - ความแข็ง (Shore A และ IRHD) - ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) - การดูดซึมน้ำ (Water absorption) - สมบัติหลังการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อน (Aging test) - ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยา ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	- ทราบสมบัติเชิงกลและสมสมบัติทางกายภาพของยางที่วัลคาไนซ์ ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง และการยืดของยาง (stress-strain) ความแข็ง (hardness) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) และสมบัติหลังการบ่มเร่งด้วยอากาศร้อน (Aging test) - ทราบลักษณะพื้นฐานวิทยาของชิ้นทดสอบยางที่ใส่สารตัวเติมกระดาษ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)
---	---	---	--

**สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
การใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติอิพอกไซด์. RDG 4950025**

1. ขาดประเด็นในเรื่องความเป็นไปได้ที่จะนำกระดาษหนังสือพิมพ์มาใช้เป็นยางปูพื้นในอาคาร
(สิ่งที่คาดว่าจะได้รับข้อ 3)
คำชี้แจง เพิ่มเติมในหัวข้อ 5.6
2. ควรปรับปรุงคุณภาพของรูปในผลการทดลองใหม่ทั้งหมด ให้มี Format เดียวกัน และดูชัดเจน เช่น เส้น
กรอบบางรูปจางมาก ๆ เป็นต้น
คำชี้แจง แก้ไขแล้ว
3. ควรปรับแก้ abstract ภาษาอังกฤษ เพราะผิดไวยากรณ์มาก เช่น ประโยคแรกไม่มี verb.
คำชี้แจง แก้ไขแล้ว
4. การเตรียมหนังสือพิมพ์นี้ มีรายละเอียดค่อนข้างน้อย ระบุ initial moisture ด้วย เพราะมีผลมากกับสมบัติ
ของยาง
คำชี้แจง เพิ่มเติมในส่วนของวิธีการ หัวข้อ 4.1 หน้า 4 และผลการทดลอง หัวข้อ 5.2 หน้า 10
5. คำอธิบาย tear strength ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมกระดาษหนังสือพิมพ์เพิ่มมากขึ้นไม่น่าจะถูกต้อง มี reference
สนับสนุนหรือไม่
คำชี้แจง ดูคำอธิบายหัวข้อ 5.4.4 หน้า 25 และเพิ่มเติมเอกสารอ้างอิง
6. การบดยางใน two roll mill ทำให้ขนาดของหนังสือพิมพ์นี้เปลี่ยนไปแค่ไหน ผู้วิจัยได้ทำการวัดหรือไม่
คำชี้แจง เครื่องบดที่ใช้ไม่ใช่ two roll mill แต่ เป็นเครื่องบด ตัด หรือฉีกกระดาษให้มีขนาดเล็ก ลักษณะ
คล้ายใบมีด โดยทั่วไปใช้บดกระดาษให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
7. บทสรุปยาวเกินไป ควรสรุปให้กระชับ
คำชี้แจง แก้ไขแล้ว
