



รายงานวิจัย

อิทธิพลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในยางธรรมชาติ
และผงยางครัมป์คอมโพสิต

Influence of Epoxidized Natural Rubber as a Compatibilizer in
Natural Rubber/Crumb Rubber Composite

อุไรวรรณ สุกย้ง

Uraiwan Sookyung

เอกวิทย์ เพียรอนุรักษ์

Ekkawit Pianhanuruk

สุรเดช มัจฉาเวช

Suradet Matchawet

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับเงินสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562 เป็นงานวิจัยเพื่อเป็นองค์ความรู้ในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อการพัฒนาต่อยอดสู่อุตสาหกรรมด้านยางพารา

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนคำแนะนำในการทำการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่ช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจาก ความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

อุไรวรรณ สุขยัง
เอกวิทย์ เพ็ชรอนุรักษ์
สุรเดช มัจฉาเวช
กันยายน 2562



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดอนุภาคของยางครัมภ์ต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ ทำการผสมยางธรรมชาติโดยแปรปริมาณยางครัมภ์ที่ 20, 40, 60 และ 80 phr ใช้ยางครัมภ์ที่มีขนาดอนุภาคที่ 20 และ 40 เมช ทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติได้แก่ พฤติกรรมการวัลคาไนซ์ ค่าความหนืดมูนีและสมบัติเชิงกล ผลการศึกษาพบว่าขนาดของยางครัมภ์จะไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการวัลคาไนซ์และค่าความหนืดมูนี แต่การเพิ่มปริมาณของผงยางครัมภ์ส่งผลให้ระยะเวลาการสกอซลดลง ผลต่างของค่าทอร์คและค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติเชิงกลพบว่ายางธรรมชาติที่ใส่ผงยางครัมภ์ขนาดอนุภาค 40 เมชจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายางธรรมชาติที่ใส่ผงยางครัมภ์ขนาดอนุภาค 20 เมช และพบว่าสามารถเติมผงยางครัมภ์ลงในยางธรรมชาติได้สูงสุดที่ 60 phr โดยไม่ส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ ยางครัมภ์ ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์



Abstract

This research, influences of loading levels together with particle sizes of crumb rubber on properties of natural rubber vulcanizates were investigated. That is, natural rubber compounds were prepared by using various loading levels of crumb rubber (i.e., 20, 40, 60 and 80 phr) together with different particle sizes (i.e., 20 and 40 mesh). The properties of natural rubber were then characterized in terms of curing characteristic, mooney viscosity and mechanical properties. It was found that the particle size of crumb rubber had no significant effect on curing characteristic and mooney viscosity of rubber compound. However, the increasing of crumb rubber caused reducing of the scorch time, increasing of different torque and mooney viscosity. For mechanical properties, the natural rubber filled with 40 mesh crumb rubber have mechanical properties superior to those filled with 20 mesh crumb rubber. Additionally, the crumb rubber can be loaded up to 60 phr without loss in tensile and tear strength.

Keywords: natural rubber, crumb rubber, natural rubber vulcanizates

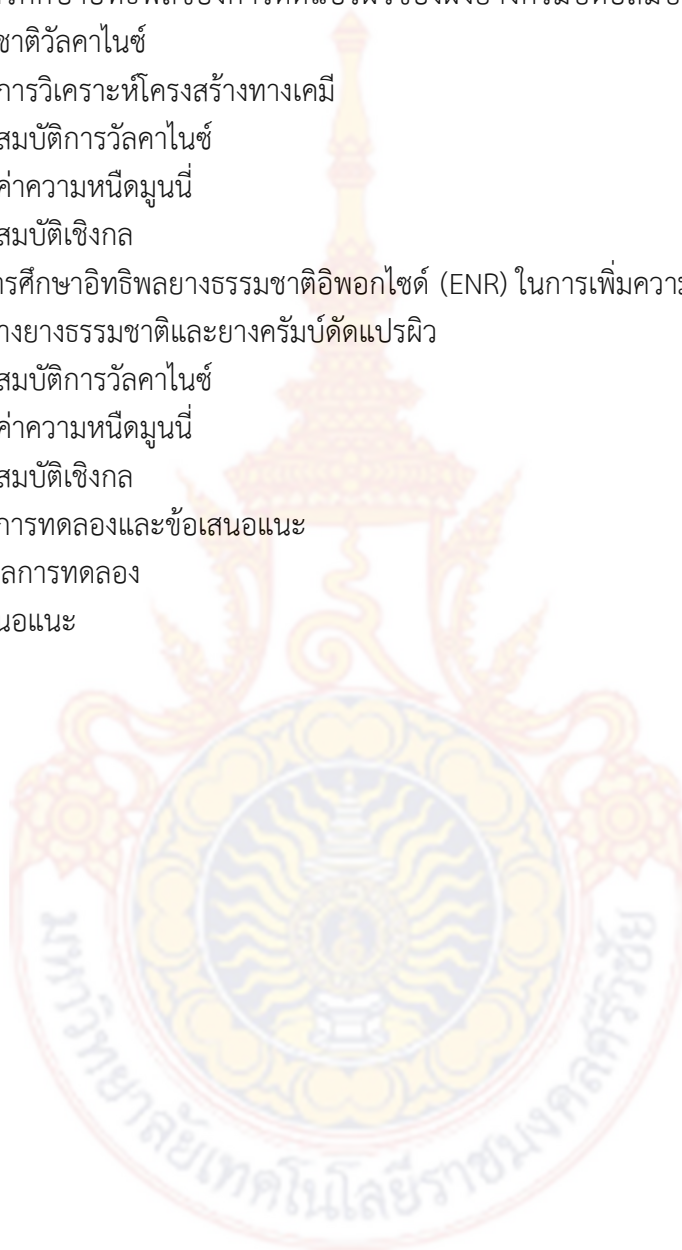


สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.2.1 ยางรีไซเคิล (rubber recycle)	1
1.2.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber; ENR)	2
1.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
2.1 ยางและสารเคมี	7
2.2 อุปกรณ์	7
2.3 การทดสอบ	8
2.4 วิธีการทดลอง	9
2.4.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดของผงยางครีမ်	9
2.4.2 การศึกษาอิทธิพลของการตัดแปรผิวของผงยางครีမ်ต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์	9
2.4.3 การศึกษาอิทธิพลยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและยางครีမ်ตัดแปรผิว	10
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	11
3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดของผงยางครีမ်	11
3.1.1 สมบัติการวัลคาไนซ์	11
3.1.2 ความหนืดมูนนี่	12
3.1.3 สมบัติเชิงกล	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการตัดแปรมีวของผงยางครัมภ์ต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์	15
3.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี	15
3.2.2 สมบัติการวัลคาไนซ์	15
3.2.3 ค่าความหนืดมุนี	16
3.2.4 สมบัติเชิงกล	17
3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและยางครัมภ์ตัดแปรมีว	18
3.3.1 สมบัติการวัลคาไนซ์	19
3.3.2 ค่าความหนืดมุนี	20
3.3.3 สมบัติเชิงกล	20
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	22
4.1 สรุปผลการทดลอง	22
4.2 ข้อเสนอแนะ	22
เอกสารอ้างอิง	23



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	สูตรยางคอมปาวด์แปรปริมาณยางครีမ်บ์ และขนาดของยางครีမ်บ์	9
ตารางที่ 2.2	สูตรยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บ์ ตัดแปรผิวที่ใช้ยาง ENR เพิ่มความเข้ากันได้	10
ตารางที่ 3.1	สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บ์ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	12
ตารางที่ 3.2	สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บ์ตัดแปรผิวด้วย กรดที่ปริมาณ 0%, 5%, 10% และ 15%	16
ตารางที่ 3.3	สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บ์ตัดแปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%	19



สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ปฏิกริยาอ็อกซิเดชันโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	3
ภาพที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_g กับจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์อ็อกไซด์ในยางธรรมชาติอ็อกไซด์	4
ภาพที่ 3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	11
ภาพที่ 3.2 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	12
ภาพที่ 3.3 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	13
ภาพที่ 3.4 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	14
ภาพที่ 3.5 ความแข็งของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr	14
ภาพที่ 3.6 สเปกตรัม FTIR ของผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวด้วยกรด 0%, 5%, 10% และ 15%	15
ภาพที่ 3.7 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%	16
ภาพที่ 3.8 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%	17
ภาพที่ 3.9 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%	17
ภาพที่ 3.10 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%	18
ภาพที่ 3.11 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวและใช้ยางธรรมชาติอ็อกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%	19
ภาพที่ 3.12 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอ็อกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%	20
ภาพที่ 3.13 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်ที่ตัดแปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอ็อกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 3.14 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บัตัด
แปรรูปที่ใช้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%

หน้า
21



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุตสาหกรรมยางล้อรถยนต์มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ซึ่งยางล้อรถยนต์มีอายุการใช้งานจำกัด ไม่มีการเสื่อมสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้ยากแก่การกำจัดเศษซาก อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้จึงก่อให้เกิดปัญหาขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยยังไม่มีวิธีการกำจัดยางล้อรถยนต์อย่างเป็นระบบจึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีผู้ที่พยายามคิดค้นการนำเศษยางเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น ยางครัมป์ (crumb rubber) ซึ่งอยู่ในรูปผงที่มีขนาดตั้งแต่ 20-40 เมช ใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตยางบางประเภท ปัจจุบันมีนักวิจัยพยายามที่จะคิดค้นวิธีการนำยางครัมป์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เพิ่มปริมาณการใช้ยางครัมป์ในกระบวนการผลิตมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ยางครัมป์ที่ปริมาณสูงๆ จะทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ด้อยลงเนื่องจากโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และการเกิดอันตรกิริยาได้น้อยระหว่างยางและยางครัมป์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งสร้างองค์ความรู้ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางครัมป์และยางธรรมชาติ โดยการดัดแปรผิวเพื่อเพิ่มหมู่ฟังก์ชัน ความเป็นรูพรุนและพื้นที่ผิว รวมถึงการใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ร่วมด้วย

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ยางรีไซเคิล (rubber recycle)

ยางเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีสมบัติเด่นหลายประการโดยเฉพาะความยืดหยุ่น ความสามารถในการหักงอ รวมถึงความสามารถในการดูดซับแรงหรือพลังงานที่เกิดจากเสียงหรือการสั่นสะเทือน ในปัจจุบันจึงมีการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันต่าง ๆ เช่น พื้นรองเท้า ยางอุดรูรั่ว ท่อยาง ยางแท่นเครื่อง สายพาน ยางล้อรถและยางล้อเครื่องบิน เป็นต้น เนื่องจากจำนวนประชากรโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นความต้องการในการใช้ผลิตภัณฑ์ยางมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ปริมาณขยะยางมีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน การจัดการกับขยะเหล่านี้ถือเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากเพราะยางเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมเซตที่โมเลกุลเกิดการเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติผ่านปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (vulcanization) จึงไม่สามารถนำยางไปหลอมขึ้นรูปใหม่ได้เหมือนเช่นพลาสติกบางชนิด อีกทั้งกระบวนการย่อยสลายยางตามธรรมชาติก็ใช้เวลานานนับร้อยปีด้วยเหตุนี้ ขยะยางที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ยางเก่าจึงทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกวิธี ปัญหาจากขยะยางก็จะทวีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต นอกจากขยะที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ยางเก่าแล้วเศษยาง (scrap) หรือขยะที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต (ส่วนใหญ่จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 3-15%) ก็เป็นปัญหาหลักของผู้ประกอบการ เพราะการกำจัดขยะจากเศษยางต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้การพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สามารถนำขยะยางกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นเรื่องสำคัญและได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการอุตสาหกรรมยางและนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโลก

วิธีการกำจัดขยะยางโดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการถลุงที่ การใช้เป็นเชื้อเพลิง การสลายตัวทางความร้อน การแปรรูปเป็นยางผงและการรีไซเคิล

1. การถลุงที่ การนำขยะไปถลุงที่เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในอดีตแต่ในปัจจุบันวิธีนี้มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะหากเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณที่เก็บขยะก็จะทำให้เกิดควันดำและมีการปลดปล่อยสารพิษปริมาณมากสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดีแม้ไม่เกิดเพลิงไหม้แต่การนำยางไปถลุงทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาได้เช่นกัน

2. การใช้เป็นเชื้อเพลิง ยางเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เพราะโครงสร้างโมเลกุลมีอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงจัดเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้เช่นเดียวกับน้ำมัน

3. การสลายตัวทางความร้อน (pyrolysis) การสลายตัวทางความร้อนหรือไพโรไลซิสทำให้ได้น้ำมันดิบ โมโนเมอร์และเขม่าดำ ซึ่งวิธีนี้เป็นที่กำลังได้รับความสนใจ ดังจะเห็นได้จากการจัดสิทธิบัตรจำนวนมากเกี่ยวกับการนำยางล้อเก่ามาทำไพโรไลซิสเพื่อให้ได้เป็นน้ำมันดิบ

4. การแปรรูปให้เป็นผงยางคริมป์ การแปรรูปขยะให้เป็นผงยางคริมป์เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในวงกว้าง เพราะทำได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขนาดและรูปร่างของผงยางคริมป์ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้บด ดังนั้นหัวใจสำคัญจึงอยู่ที่เทคนิคการเตรียมยางผง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ดีและมีต้นทุนต่ำ

5. การรีไซเคิล เป็นกระบวนการเปลี่ยนยางเก่าที่เป็นเทอร์โมเซตให้เป็นเทอร์โมพลาสติกที่สามารถหลอมขึ้นรูปใหม่ได้และสามารถเกิดวัลคาไนเซชันได้เหมือนยางดิบหรือยางคอมพาวด์ทั่วไป เรียกว่าที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลนี้ว่า ยางรีไซเคิล (reclaimed rubber) การรีไซเคิลแบ่งออกเป็นหลายประเภทคือ การรีไซเคิลแบบดั้งเดิม การรีไซเคิลด้วยสารเคมี การรีไซเคิลด้วยคลื่นไมโครเวฟ การรีไซเคิลด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ

1.2.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber; ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber; ENR) เตรียมได้จากการดัดแปรโครงสร้างยางธรรมชาติด้วยกรดเปอร์ออกซี (peroxy acid) เช่น กรดเปอร์อะซิติก (peracetic) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกรดฟอร์มิก ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สามารถเตรียมได้ทั้งในรูปแบบน้ำยางและยางแห้ง แต่ในทางการค้านิยมใช้ในรูปแบบน้ำยางมากกว่า ปัจจุบันมียางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เช่น Epoxyprene 25, Epoxyprene 50 มีระดับการเกิดอีพอกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 25 (ENR 25) และร้อยละ 50 (ENR 50) เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จะพบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์มีสมบัติที่ดีกว่ายางธรรมชาติในด้านความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ยางทนต่อการสึกกร่อนสูงขึ้น แต่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ก็จะมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติ เช่น ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาดที่ลดลง ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จะช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เช่น ยางมีความเป็นขั้วสูงขึ้น ทำให้สามารถทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้มากขึ้น และสามารถทนต่อโอโซนและทนต่อการซึมผ่านของอากาศได้ดี นิยมนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์มาประยุกต์ใช้เป็นสารยึดติด หรือนำไปผสมกับยางหรือพอลิเมอร์ชนิดอื่น เช่น ยางสไตรีนบิวทาไดอีน พอลิอะคริลิกแอซิด เพื่อ

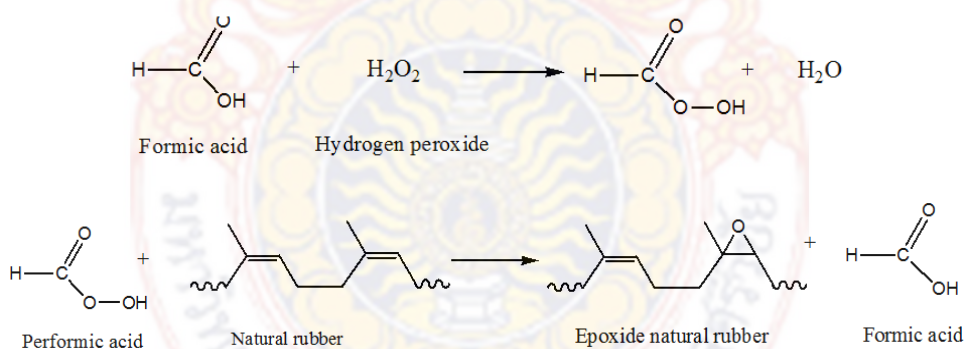
ปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์หรือช่วยเพิ่มความเข้ากันได้

1.2.2.1 ลักษณะทางเคมีของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติ ใช้กรดเปอร์อะซิติกหรือกรดเปอร์ฟอร์มิก วิธีการอาจจะเตรียมเปอร์เอซิดก่อนหรือจะให้เกิดเปอร์เอซิดขณะทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน อัตราส่วนโดยโมลของกรดเปอร์ฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.5 การเกิดเปอร์เอซิดในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันแสดงดังในปฏิกิริยาในภาพที่ 1.1 ซึ่งการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติจากการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้อาจจะทำในสภาวะสารละลายหรือสภาวะน้ำยาง

สภาวะสารละลาย (Solution state) โดยกรดเปอร์เบนโซอิก (Perbenzoic acid) กรดเปอร์เพทาสิก (Perphthalic acid) หรือสารละลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกรดอะซิติก ที่มีกรดพาราโทลูอินซัลโฟนิก เป็นสารเร่งปฏิกิริยา

สภาวะน้ำยาง (Latex state) โดยทั่วไปนิยมใช้เปอร์เอซิดเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน เปอร์เอซิดที่ใช้คือ กรดเปอร์อะซิติกและกรดเปอร์ฟอร์มิก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เปอร์เอซิดจะให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ค่อนข้างสูง การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันในสภาวะน้ำยางจะมีความสะดวก ปลอดภัยจากตัวทำลายจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงจากการเกิดวงแหวนอีพอกไซด์ค่อนข้างน้อยจึงนิยมใช้วิธีนี้มากกว่า



ภาพที่ 1.1 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Baker and Gelling, 1987)

1.2.2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. สเตอริโอเคมี (Stereochemistry) ยางธรรมชาติมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสเตอริโอเคมีของโมเลกุล ดังนั้นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้จะยังคงมีลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ ซิส-1,4 ทั้งหมด

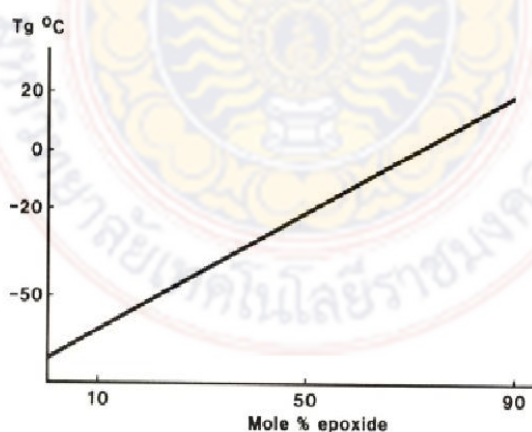
2. การกระจายของหมู่อีพอกไซด์ (Epoxide distribution) การกระจายของหมู่อีพอกไซด์ตลอดความยาวของโซ่โมเลกุลจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

เป็นอย่างมาก ถ้าให้การเกิดอีพอกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ของยางธรรมชาตินั้นเกิดแบบสุ่มและไม่มีควบคุม พบว่าเมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้นการจัดเรียงตัวของหน่วยอีพอกไซด์และหน่วยโอลิฟิน แบบ O-E-O จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากนั้นการจัดเรียงตัวแบบ O-E-O จะลดลง ที่ระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีการจัดเรียงตัวแบบ E-E-E เกิดขึ้นด้วย ซึ่งการจัดตัวแบบนี้เพิ่มขึ้นอย่างมากและมากกว่าการจัดตัวแบบอื่น และเมื่อการเกิดอีพอกซิเดชันสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โมลซึ่งนอกจากการคำนวณแล้วยังสามารถวัดลำดับการจัดเรียงตัวของหน่วยอีพอกไซด์ (Epoxy unit, E) และหน่วยโอลิฟินของการเกิดอีพอกซิเดชันใน ENR-25 และ ENR-50 ได้

1.2.2.3 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. ความเหนียวและความสามารถในการละลาย ENR-25 และ ENR-50 มีค่าความเหนียวอยู่ในช่วง 75-90 หน่วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องบดก่อนที่จะนำไปผสมกับสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะมีสภาพความเป็นขี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ สำหรับความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันและชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถละลายได้ง่ายขึ้นหากมีการบดขยี้ก่อนตัวทำละลายที่เหมาะสมได้แก่ ทูโลอิน คลอโรฟอร์มและเตตราไฮโดรฟูเรน

2. อุณหภูมิคล้ายแก้ว การเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์โมลบนโมเลกุลยางธรรมชาติ จะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1°C ดังภาพที่ 1.10 ซึ่งพบว่า ENR-25 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -47°C และ ENR-50 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -22°C



ภาพที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tg กับจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Gelling and poster, 1988)

3. ความทนทานต่อน้ำมัน สภาพความเป็นขี้ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความต้านทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงจะเป็นวัสดุที่ทนทานต่อสารไฮโดรคาร์บอน แต่ความทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขั้วลดลง ยาง ENR-50 จะทนทานต่อ ASTM oil ได้ใกล้เคียงกับ ยางไนไตรล์ที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์ปานกลางและจะทนกว่ายางคลอโรพรีนจึงสามารถใช้ ENR-50 แทนพอลิเมอร์เหล่านี้ได้ในงานที่ต้องการสมบัติด้านความทนต่อน้ำมัน

4. การเหนียวติดกันและความทนต่อโอโซนและการซึมของอากาศ เมื่อระดับของการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการเหนียวติดกันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วลดลง แต่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะสามารถยึดติดกับพอลิเมอร์ที่มีขั้วได้ดีขึ้น ในส่วนของความทนทานต่อโอโซนและการซึมของอากาศดีใกล้เคียงกับยางบิวไทล์ เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลงและมีกลุ่มของอีพอกไซด์เกิดขึ้นแทน

1.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ismail *et al.* (2002) ศึกษาผลของการใช้ผงยางครัมป์ เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยทำการแปรปริมาณผงยางครัมป์ ที่ปริมาณ 0,10,20,30 และ 50 phr ผลการศึกษาพบว่าค่าทอร์คต่ำสุด (ML) และค่าความหนืดมูนนี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของผงยางครัมป์ เป็นผลจากการที่ผงยางครัมป์ ไปขัดขวางการไหลของยาง ในขณะที่ระยะเวลาสกอร์ช (scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (cure time) ลดลงเป็นผลเนื่องจากผงยางครัมป์ ยังคงมีสารวัลคาไนซ์ที่หลงเหลืออยู่ ทำให้ยางคอมปาวด์มีปริมาณของกลุ่มสารวัลคาไนซ์ที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของผงยางครัมป์ จึงส่งผลให้ยางคอมปาวด์เกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ผงยางครัมป์ ที่ปริมาณ 10 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงยางครัมป์ เพิ่มขึ้นที่มากกว่า 10 phr สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงจะมีค่าลดลง เนื่องจากที่ปริมาณต่ำกว่า 10 phr ผงยางครัมป์ จะยังคงสามารถกระจายตัวได้ดี แต่เมื่อปริมาณผงยางครัมป์ ที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกระจายตัวจะลดลง ผงยางครัมป์ จะเกิดการเกาะกลุ่มและจับตัวเป็นก้อนส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง

Yehia *et al.* (2004) ศึกษาการปรับปรุงผิวของยางครัมป์ โดยใช้สารออกซิไดซ์ประเภทกรดและเปอร์ออกไซด์ที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แล้วนำยางครัมป์ ที่ดัดแปรผิวไปใช้ผสมในยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับกรณีการเติมยางครัมป์ ที่ไม่ได้ดัดแปรผิว จากการศึกษาพบว่า การดัดแปรผิวส่งผลให้สมบัติเชิงกลและสมบัติหลังการบ่มเร่งมีการปรับปรุงดีกว่ากรณีของการใช้ยางครัมป์ ที่ไม่ได้ดัดแปรผิว

Saiwari *et al.* (2014) ศึกษาอิทธิพลของยางรีไซเคิลที่ได้จากถุงมือยางต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ศึกษาโดยทำการเบลนด์ผสมกับยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณของยางรีไซเคิลที่ปริมาณ 20-100 phr จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของยางรีไซเคิล ในขณะที่ค่าทอร์คสูงสุด (maximum torqure) และผลต่างของทอร์ค (different torque) เพิ่มขึ้น นั่นคือยางรีไซเคิลส่งผลให้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสามารถในการยืดจนขาด (elongation at break) ลดลง และจากการศึกษานี้พบว่าปริมาณของยางรีไซเคิลสามารถใส่ได้สูงสุดที่ 60% ที่จะไม่ส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงลดลง

สราวุธ และคณะ (2559) ศึกษาผลของอัตราส่วนยางครัมภ์ และแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลและทางความร้อนของยางผสมระหว่างยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (EPDM) และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ดี (ENR) โดยแปรปริมาณยางครัมภ์ และแคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 0/60 ถึง 60/0 โดยน้ำหนักในขณะที่ผลรวมของสารตัวเติมคงที่ที่ 60 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณยางครัมภ์ แทนที่แคลเซียมคาร์บอเนต ส่งผลทำให้ค่าความหนืดมูนี้ ความแข็งและการเสียรูปถาวรหลังการกดสูงขึ้นในขณะที่ความทนทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการบ่มเร่งด้วยความร้อนลดลง

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณยางครัมภ์ ที่ปริมาณ 0, 20, 40, 60 และ 80 phr โดยเปรียบเทียบยางที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 2 ขนาด คือ ขนาด 20 และ 40 เมช
2. ทำการดัดแปรผิวของยางครัมภ์ โดยใช้สารดัดแปรผิวที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 5, 10 และ 15% w/w และศึกษาอิทธิพลของยางครัมภ์ ดัดแปรผิวต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์
3. ศึกษาอิทธิพลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและยางครัมภ์ดัดแปรผิว โดยใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ปริมาณ 4, 8 และ 12 phr

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ส่งเสริมการใช้ของเสียจากยางเพื่อลดปริมาณขยะและลดต้นทุนในการผลิต
2. ปรับปรุงสมบัติของยางครัมภ์ ในการใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ
3. ทราบผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้ยางผลเป็นสารตัวเติม

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ยางและสารเคมี

1. ยางธรรมชาติ ใช้ยางแท่ง STR 20 ผลิตโดย บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์กรุ๊ป จำกัด
2. ซิงค์ออกไซด์ (zinc Oxide) ลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดย บริษัท ยูนิไทย จำกัด ใช้เป็นสารกระตุ้นในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง
3. กรดสเตียริก (stearic acid) ลักษณะเป็นเกล็ดสีน้ำตาลอ่อน ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท อินพีเรียล เคมีคัล จำกัด ใช้เป็นสารกระตุ้นในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์
4. สารตัวเร่งไดเบนโซไทอาซิลไดซัลไฟด์ (dibenzothiazyl disulphide, MBTS) มีลักษณะเป็นเม็ดสั้นๆ มีเทาอ่อนๆ ผลิตโดย Asia Pacific Specialty Chemicals Limited ประเทศออสเตรเลีย ใช้เป็นสารเร่งในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง
5. น้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเขียวยาว เป็นสารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต
6. กำมะถัน (sulphur) ลักษณะเป็นผงสีเหลือง ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์
7. พวงยางครัมป์ (crumb rubber) ขนาด 20 และ 40 เมช ผลิตโดยบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนา จำกัด
8. ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber) ได้จากการตัดแปลงโครงสร้างจากยางธรรมชาติด้วยกรดเพอร์ออกไซด์ ผลิตโดยบริษัท แชน-แทป อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว สามารถผสมยางได้ในปริมาณ 2.5-4 ปอนด์ ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 15 แรงม้า ผลิตโดยบริษัท ชัยเจริญการช่างประเทศไทย จำกัด
2. เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal Mixer) เครื่องบดผสมระบบปิด มีความจุของห้องเส้น 500 มิลลิลิตร ผลิตโดยบริษัท เจริญทัศน์ จำกัด
3. เครื่องอัดไฮโดรลิก (Compression Moulding) ใช้อัดเข้าซึ่งมีส่วนประกอบ คือ มีชุดควบคุมความร้อนที่ใช้ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ 3 ชุด อุณหภูมิสูงสุดของเครื่องเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งมีแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 350 kg/cm^2 ผลิตโดยบริษัท ชัยเจริญการช่างประเทศไทย จำกัด
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใช้ในการชั่งน้ำหนักของยางและสารเคมี รุ่น PB 3002-3 พิกัดกำลังสูงสุด 3,100 กรัม ผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo (Thailand) จำกัด รุ่น METTLER AJ 150 ผลิตโดยบริษัท Diethel.co,ltd เป็นเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง มีพิกัดกำลังสูงสุด 150 กรัม

5. เครื่องกวน (Hotplate and Stirrer) กวนโดยการใช้อแม่เหล็ก ผลิตภัณฑ์บริษัท ไชแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด รุ่น MS7-500S

2.3 การทดสอบ

1. สมบัติการวัลคาไนซ์ของยาง ทดสอบด้วยเครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR) ยี่ห้อ TECH PRO รุ่น TECH OD+ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5289 ที่ความถี่ 1.67 Hz อุณหภูมิการทดสอบ 150 องศาเซลเซียส รายงานผลค่าทอร์คต่ำสุด (M_L) ค่าทอร์คสูงสุด (M_H) ความแตกต่างค่าทอร์ค ($M_H - M_L$) เวลาการสกออร์ช (T_{s1}) เวลาการวัลคาไนซ์ (T_{90})

2. ความหนืดของยางทดสอบด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ยี่ห้อ Montech รุ่น MV-2020 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1646 ที่อุณหภูมิการทดสอบ 100 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบโดยอุ่นยาง 1 นาที แล้วทำการทดสอบใช้เวลาการทดสอบ 4 นาที

3. การทดสอบความแข็ง (Hardness Tester) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D224 ใช้เครื่องวัดความแข็งกดลงบนชิ้นทดสอบโดยทำการวัด 3 ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งจากหน้าปัดของเครื่อง แล้วหาค่ากลาง ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น Shore A ยางที่ใช้ทดสอบ จะต้องมีความหนาประมาณ 8-10 มิลลิเมตร ความกว้างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร การวัดจะต้องกดให้แป้นสัมผัสกับหน้ายางโดยตลอด

4. การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Shear strength) ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Tensile testing machine ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10 KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield รุ่น H10 KS ประเทศอังกฤษ การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด ใช้ความเร็วในการดึงขึ้นทดสอบ 500 mm/min การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 ขึ้นทดสอบตัดตามมาตรฐาน die type C การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624 ขึ้นทดสอบตัดตามมาตรฐาน die type B การรายงานผลจะรายงานค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบ ณ จุดขาด (Elongation at break) ความเค้นหรือโมดูลัสในการยืดของชิ้นทดสอบที่ระยะยืด 100% และ 300% (Modulus at 100% and 300% elongation) และความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

5. ทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วย เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ DRY-CABINET รุ่น AD-030 มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือเมื่อรังสีอินฟราเรดที่หลายความถี่จากแหล่งกำเนิดคลื่นรังสีอินฟราเรดผ่านเข้าไปยังอิเทอร์โพโรมิเตอร์ ลำแสงจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่เป็น beamsplitter ลำแสงครึ่งหนึ่งจะผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่และกระจกที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เมื่อรังสีสะท้อนกลับมาที่ beam splitter จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน หรือการแทรกสอดแบบหักล้างของแต่ละความยาวคลื่น เมื่อแสงผ่านสารตัวอย่างไปยังตัววัดสัญญาณที่อ่านได้ทุกความถี่พร้อมกับช่วงสแกนของกระจกโดยที่อัตราการสุมวัดสัญญาณและความเร็วของกระจกที่เคลื่อนที่ได้จะถูกควบคุมให้มีความถูกต้องและคงที่เรียกสัญญาณอ้างอิงจากตัววัดสัญญาณที่เกิดจากหลอด He-Ne laser ว่า Internal Reference Laser สัญญาณที่ตัววัดสัญญาณอ่านได้จะถูกอยู่ในรูปอินเทอร์โพแกรมถูกเก็บไว้

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดของผงยางครีမ်

เตรียมยางคอมปาวด์โดยสูตรการผสมแสดงดัง ตารางที่ 2.1 ในขั้นตอนการผสมแบ่งการผสมเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมยางคอมปาวด์ที่ไม่ใส่สารวัลคาไนซ์ ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด โดยทำการผสมที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็วรอบ 60 rpm หลังจากนั้นนำยางผสมที่ได้มาทำการผสมด้วยสารวัลคาไนซ์ (Sulphur และ MBTS) บนเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้งรีดยางเป็นแผ่นวางทิ้งไว้ 1 คืนแล้วนำยางคอมปาวด์ไปทำการทดสอบสมบัติ หลังจากนั้นนำยางไปอัดเข้าที่อุณหภูมิ 160 °C เวลาการอัดเข้าตามเวลาที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Oscillating disc rheometer (ODR) แล้วนำยางวัลคาไนซ์ที่ได้ทำการทดสอบสมบัติ

สมบัติยางคอมปาวด์ทดสอบสมบัติความเหนียวนี้ตามมาตรฐาน ASTM D1646 และทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ตามมาตรฐาน ASTM D5289 สมบัติยางวัลคาไนซ์ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 ทดสอบค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D224 ทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ภายหลังการบ่มเร่งตามมาตรฐาน ASTM D573 และทดสอบความทนทานต่อการบวมพองในตัวทำละลายตามมาตรฐาน ASTM D471

จากการศึกษาในขั้นตอนนี้จะเลือกขนาดอนุภาคและปริมาณที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดเพื่อนำไปศึกษาในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 2.1 สูตรยางคอมปาวด์แปรปริมาณยางครีမ် และขนาดของยางครีမ်

Ingredients	Content (phr)
Internal mixer	
STR 20	100
ZnO	5
Stearic acid	2
Aromatic oil	5
Rubber powder (20 mesh)/(40 mesh)	0, 20, 40, 60, 80
Two roll-mill	
Sulphur	3
MBTS	1.2

2.4.2 การศึกษาอิทธิพลของการตัดแปรมีวของผงยางครีမ်ต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์

เตรียมยางครีမ်ตัดแปรมีวตามวิธีการตัดแปรมีวของ Yehia *et al.* (2004) โดยขนาดยางครีမ် ที่ใช้จะเป็นขนาดที่เลือกจากการทดลองในหัวข้อ 2.4.1 วิธีการเตรียมโดยการนำยางครีမ်ใส่ในปิกเกอร์ หลังจากนั้นค่อยๆ เติมสารตัดแปรมีวที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 5, 10, และ 15% ลงในยางครีမ် พร้อมทำการกวนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งยางครีမ်จมอยู่ในสารละลาย หลังจากนั้นเพิ่ม

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เป็น 70°C แล้วทำการกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาจึงทำการกรองยางครัมบ์ออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งยางมีสภาพเป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งหลังจากนั้นนำยางดัดแปรที่ได้ไปทดสอบโครงสร้างทางเคมีโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้ขั้นตอนการผสม สูตรการผสมและการทดสอบเช่นเดียวกันกับในหัวข้อ 2.4.1 โดยปริมาณยางครัมบ์ที่ใช้จะเป็นปริมาณยางครัมบ์ที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดตามหัวข้อ 2.4.1

จากการศึกษาในขั้นตอนนี้อย่างครัมบ์ดัดแปรผิวที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด จะถูกเลือกนำไปศึกษาในหัวข้อถัดไป

2.4.3 การศึกษาอิทธิพลยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและยางครัมบ์ดัดแปรผิว

ศึกษาอิทธิพลยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพื่อช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางครัมบ์ดัดแปรผิวและยางธรรมชาติ เตรียมยางคอมปาวด์โดยใช้สูตรผสมดังตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการเตรียมยางคอมปาวด์และการทดสอบเช่นเดียวกันกับในหัวข้อ 2.4.1

ตารางที่ 2.2 สูตรยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติผสมยางครัมบ์ ดัดแปรผิวที่ใช้ยาง ENR เพิ่มความเข้ากันได้

Ingredients	Content (phr)
Internal mixer	
STR 20	100
ZnO	5
Stearic acid	2
Aromatic oil	5
Modified rubber powder	X
ENR 25	0, 4, 8, 12
Two roll-mill	
Sulphur	3
MBTS	1.2

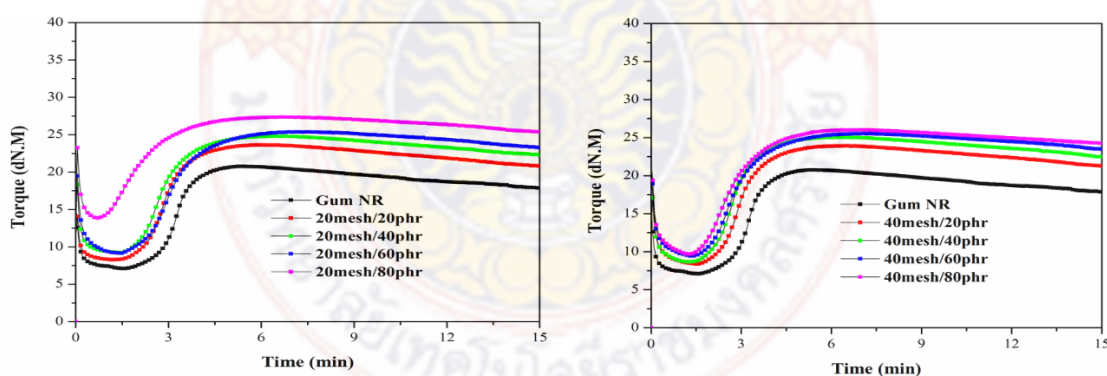
บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดของผงยางครีมน์

3.1.1 สมบัติการวัลคาไนซ์

ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมน์ขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr และสมบัติการวัลคาไนซ์สรุปดังตารางที่ 3.1 จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณผงยางครีมน์จะส่งผลต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ โดยการเติมผงยางครีมน์ส่งผลให้เวลาการสกอซ (scorch time) ลดลง เนื่องจากในผงยางครีมน์มีสารวัลคาไนซ์ที่หลงเหลือ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณยางครีมน์ทำให้ปริมาณของสารในระบบวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงส่งผลปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น จึงส่งผลให้เวลาการสกอซของยางลดลง และพบว่าค่าทอร์คต่ำสุด (M_L) มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของผงยางครีมน์ โดยค่าทอร์คต่ำสุดจะสัมพันธ์กับค่าความหนืดของยางคอมปาวด์ การเติมผงยางครีมน์ที่เป็นอนุภาคของแข็งของเม็ดยางวัลคาไนซ์จะส่งผลให้ค่าความหนืดของยางคอมปาวด์เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของผงยางครีมน์ อีกทั้งพบว่าการเติมผงยางครีมน์ส่งผลต่อผลต่างค่าทอร์ค ($M_H - M_L$) ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าผลต่างค่าทอร์คบ่งบอกถึงปริมาณความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง นั่นคือการเติมผงยางครีมน์จะทำให้ปริมาณความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นจนถึงที่ใช้ผงยางครีมน์ที่ปริมาณ 40 phr และหลังจากนั้นจะมีค่าคงที่ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้ผงยางครีมน์ที่ขนาด 20 และ 40 เมช ไม่ให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปริมาณของผงยางครีมน์ส่งผลต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ แต่ขนาดของอนุภาคจะไม่ได้ส่งผลอย่างเด่นชัดต่อสมบัติการวัลคาไนซ์



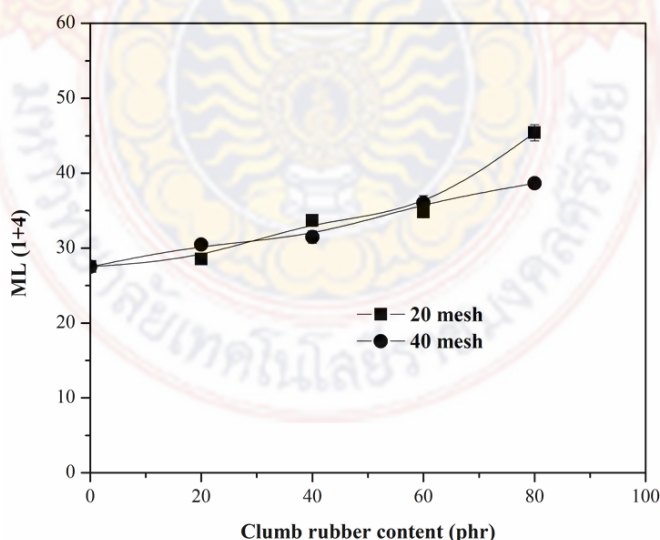
ภาพที่ 3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมน์ขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr

ตารางที่ 3.1 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมน้ำขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr

Samples	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	M_H-M_L (dN.m)	Ts1 (min)	Tc90 (min)
Gum NR	7.10	20.75	13.65	2.28	4.03
20mesh-20phr	8.27	23.63	15.36	1.58	3.58
20mesh-40phr	9.24	24.81	15.57	1.55	4.04
20mesh-60phr	9.16	25.36	16.20	1.58	4.37
20mesh-80phr	13.87	27.35	13.48	1.07	3.46
40mesh-20phr	8.38	23.91	15.53	2.04	4.07
40mesh-40phr	8.64	25.04	16.40	2.01	3.56
40mesh-60phr	9.44	25.52	16.08	2.00	4.19
40mesh-80phr	9.67	26.02	16.35	1.42	4.13

3.1.2 ความหนืดมูนี

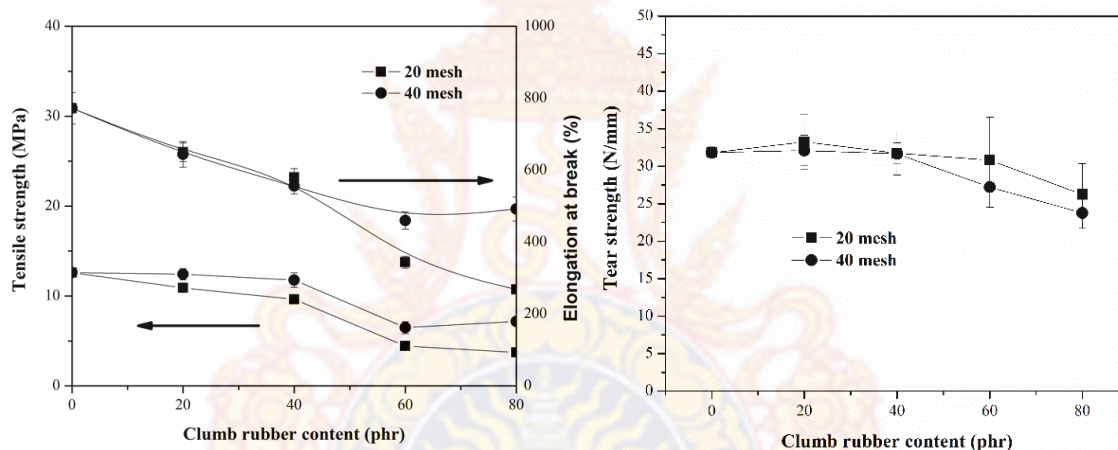
ภาพที่ 3.2 แสดงความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมน้ำขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr จากผลการทดสอบพบว่าค่าความหนืดเมื่อเพิ่มปริมาณของผงยางครีมน้ำ นั่นคือการใส่ผงยางครีมน้ำเป็นการเพิ่มอนุภาคของแข็งของยางวัลคาไนซ์ การใส่อนุภาคของแข็งที่เพิ่มขึ้นทำให้ยางคอมปาวด์แข็งขึ้น ทำให้ไปขัดขวางการไหลส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบทั้ง 2 ขนาด พบว่าค่าความหนืดที่ได้มีแนวโน้มเท่าๆกัน ไม่เห็นผลอิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อความหนืดมูนีของยางคอมปาวด์



ภาพที่ 3.2 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมน้ำขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr

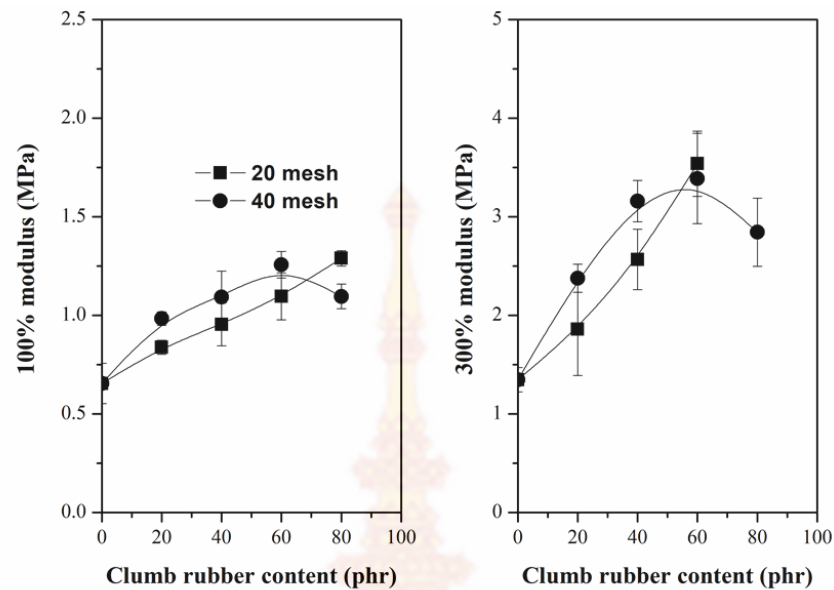
3.1.3 สมบัติเชิงกล

ภาพที่ 3.3 แสดงความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาด ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมนับขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดจะให้ผลไปทิศทางเดียวกันคือ พบว่าการเติมผงยางครีมนับที่ไม่เกิน 40 phr จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงและแรงฉีกขาด แต่หากเติมที่ปริมาณมากขึ้นเกิน 40 phr จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดลดลง ในขณะที่ความสามารถในการยืดจนขาดลดลงตามการเพิ่มผงยางครีมนับ เพราะว่าผลของแข็งของผงยางครีมนับจะไปลดความสามารถในการยืดของยางวัลคาไนซ์ และจากสมบัติการทดสอบแรงดึงพบว่าการใช้ผงยางครีมนับที่ขนาด 40 เมช จะให้สมบัติที่ดีกว่าขนาด 20 เมช นั่นคือผงยางครีมนับที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะให้สมบัติที่ดีกว่าเนื่องจากพื้นที่ผิวที่สูงกว่าเกิดผิวสัมผัสกับยางได้มากกว่า จึงส่งผลให้สมบัติที่ดีกว่า

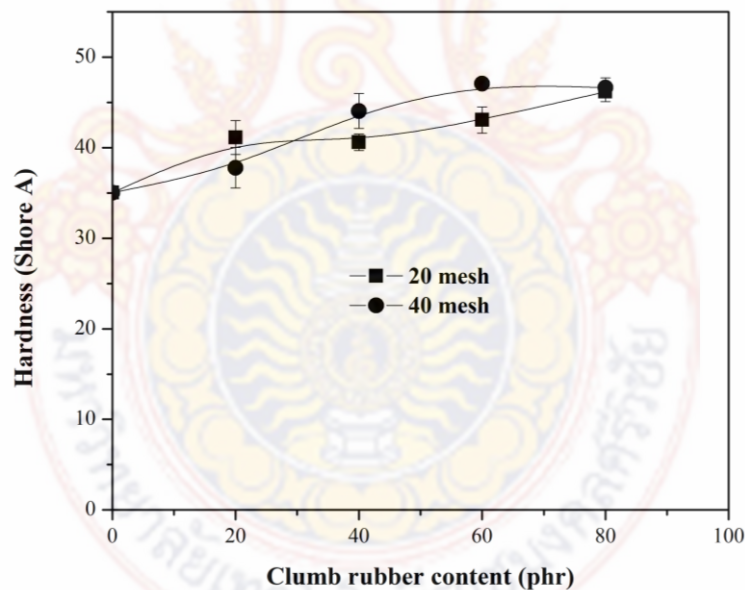


ภาพที่ 3.3 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมนับขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr

ผลการทดสอบค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% (ภาพที่ 3.4) และค่าความแข็ง (ภาพที่ 3.5) ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีมนับขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr พบว่ามอดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางครีมนับถึง 40 phr ความแข็งดึงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเพิ่มอนุภาคของแข็งเข้าไปในยาง ประกอบกับทั้งผงยางครีมนับส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณพันธะเชื่อมโยง จึงทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และพบว่าการเติมผงที่มีขนาดอนุภาค 40 เมช จะให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งที่สูงกว่า 20 เมช นั่นคือการใส่ผงยางครีมนับที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะให้สมบัติที่ดีกว่าการใส่ผงที่มีขนาดใหญ่



ภาพที่ 3.4 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครัมภ์ขนาด 20 เมช และ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr



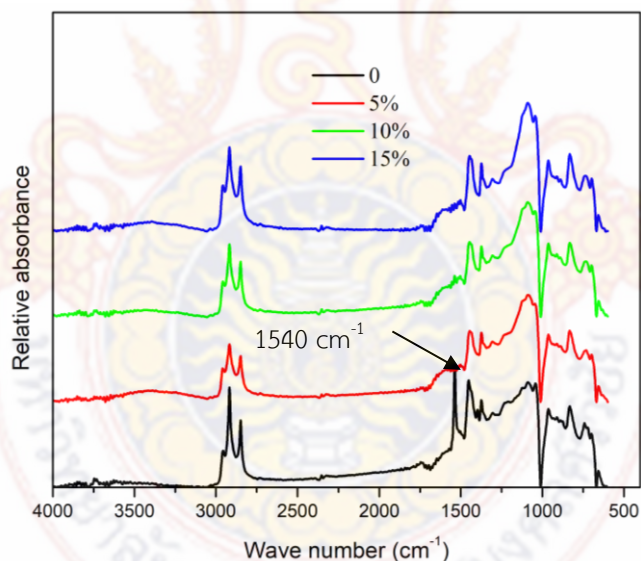
ภาพที่ 3.5 ความแข็งของยางธรรมชาติผสมผงยางครัมภ์ขนาด 20 เมชและ 40 เมช ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 phr

จากการศึกษาผลขนาดอนุภาค 20 และ 40 เมช ในปริมาณ 0, 20, 40, 60 และ 80 phr โดยสรุปได้ว่าขนาดของอนุภาคที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดคือ 40 เมช และปริมาณที่ดีที่สุดคือ 40 phr เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจึงทำให้มีความเข้าได้ เพราะมีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่าขนาดอนุภาค 20 เมช และยังมีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น การวัลคาไนซ์ที่ดีขึ้น การเกิดเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น มีค่าทอร์คสูงขึ้น มีความแข็งตึงเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้ทำให้สมบัติด้านการฉีกขาดและสมบัติการต้านทานต่อแรงดึงลดลงมากจนเกินไป จึงเลือกขนาดอนุภาค 40 เมช ปริมาณ 40 phr ไปใช้ในหัวข้อถัดไป

3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการดัดแปรผิวของผงยางครีမ်ต่อสมบัติของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์

3.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

โครงสร้างของผงยางครีမ်ที่ดัดแปรผิวและไม่ดัดแปรผิว ทดสอบด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 3.6 จาก FTIR สเปกตรัมของทั้งผงยางครีမ်ที่ดัดแปรและไม่ดัดแปรจะพบแถบการดูดกลืนที่เหมือนกันที่ความยาวคลื่น 2925 และ 2854 cm^{-1} แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ที่ปรากฏอยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผงยางครีမ်ที่ดัดแปรและไม่ดัดแปรจะพบแถบการดูดกลืนที่แตกต่างกันที่ความยาวคลื่น 1540 cm^{-1} กรณีของผงยางครีမ်ที่ดัดแปรผิวด้วยกรดจะไม่ปรากฏพีคการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นดังกล่าว ซึ่งแถบดูดกลืนดังกล่าวบ่งบอกถึงโครงสร้างของซิงค์สเตียเรทที่อยู่ในผงยางครีမ် นั่นคือผงยางครีမ်ที่ไม่ดัดแปรผิวจะมีสารซิงค์สเตียเรทอยู่ในโครงสร้าง แต่ผงยางครีမ်ที่ดัดแปรผิวสารเหล่านี้จะโดนกำจัดออกในระหว่างกระบวนการดัดแปรผิวในขั้นตอนของการล้างและกรองจึงทำให้สารเหล่านี้หมดไป อย่างไรก็ตามในการดัดแปรผิวต้องการให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้น แต่ในการศึกษานี้ไม่พบหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ในผงยางครีမ်ที่ผ่านการดัดแปรผิว



ภาพที่ 3.6 สเปกตรัม FTIR ของผงยางครีမ်ที่ดัดแปรผิวด้วยกรด 0%, 5%, 10% และ 15%

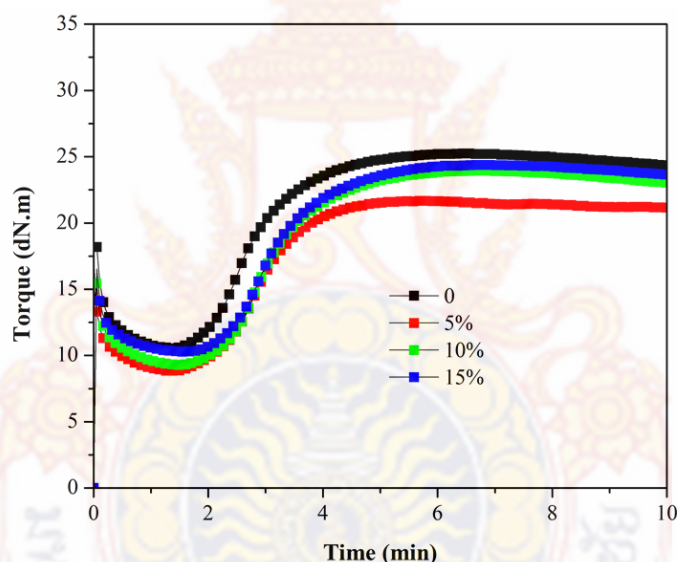
3.2.2 สมบัติการวัลคาไนซ์

ภาพที่ 3.7 แสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของผสมผงยางครีမ်ดัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15% และสมบัติการวัลคาไนซ์สรุปดังตารางที่ 3.2 จากผลการทดสอบพบว่าเวลาการสกอซของยางธรรมชาติที่ผสมผงยางครีမ်ที่ดัดแปรผิวจะมากกว่ากรณีของการใช้ผงยางครีမ်ที่ไม่ดัดแปรผิว ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบด้วย FTIR นั่นคือกระบวนการดัดแปรผิวจะกำจัดสารวัลคาไนซ์ที่อยู่ในผงยางครีမ် ดังนั้นจึงทำให้ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีของยางครีမ်ที่ไม่ดัดแปรผิว และผลต่างค่าทอร์คของยางที่เติมผงยางครีမ်ดัดแปร

ผิวมีค่าต่ำกว่าผยงที่ไม่ตัดแปรผิวเล็กน้อย นั่นคือปริมาณพันธะการเชื่อมโยงที่ได้น้อยกว่าเนื่องจากผลของสารวัลคาไนซ์ที่ถูกกำจัดออกในระหว่างกระบวนการตัดแปรผิว

ตารางที่ 3.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผยงยางครีมน้ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ ปริมาณ 0%, 5%, 10% และ 15%

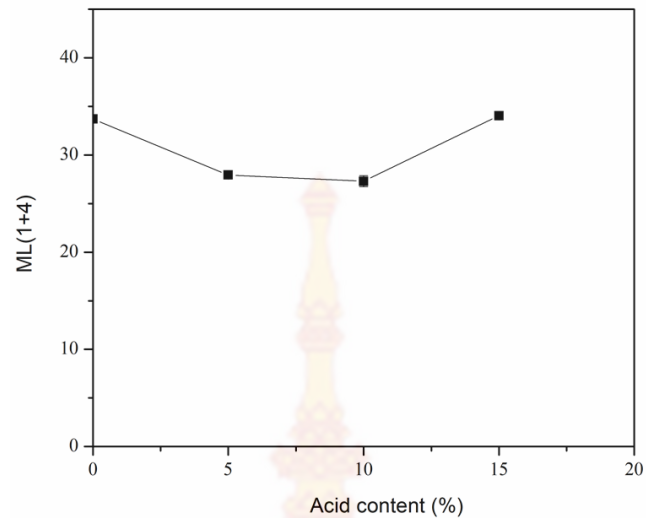
Samples	M _L (dN.m)	M _H (dN.m)	M _H -M _L (dN.m)	Ts1 (min)	Tc90 (min)
0%	10.55	25.24	14.69	1.52	4.07
5%	8.83	21.66	12.83	2.00	4.22
10%	9.28	23.94	14.16	2.07	5.00
15%	10.28	24.40	14.12	2.13	4.33



ภาพที่ 3.7 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผยงยางครีมน้ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%

3.2.3 ค่าความหนืดมูนนี่

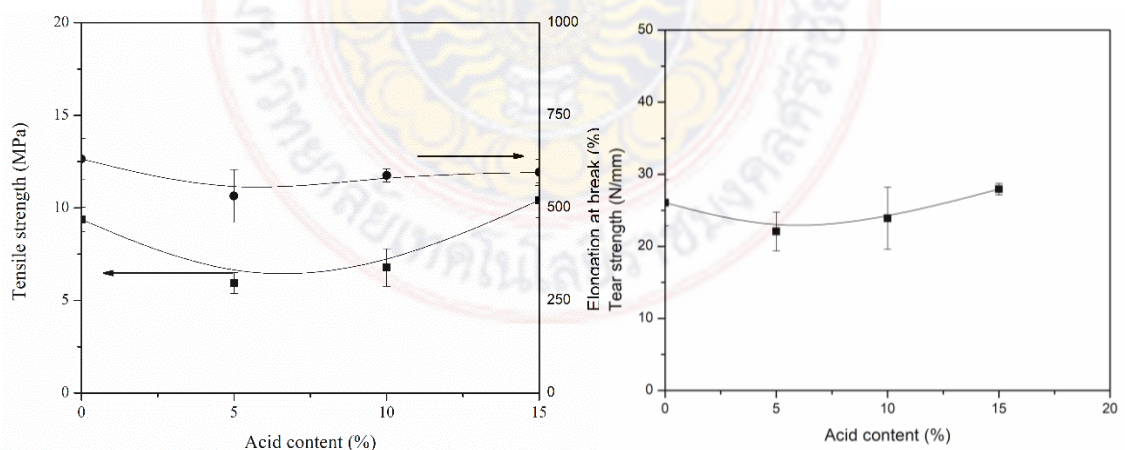
ความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติผสมผยงยางครีมน้ตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15% แสดงดังภาพที่ 3.8 จากผลการตัดแปรผิวพบยงการเติมผยงยางครีมน้ที่ตัดแปรผิวที่ 5%, 10% ส่งผลให้ค่าความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติลดลง ในขณะที่การใส่ผยงยางครีมน้ที่ตัดแปรผิวที่ 15% ค่าจะไม่เปลี่ยนแปลง การลดลงของค่ามูนนี่อาจอธิบายได้จากการไม่มีสารวัลคาไนซ์ในยงผยงที่เป็นพวกโลหะซิงค์ออกไซด์ที่เป็นสารอนินทรีย์ของแข็งเลยทำให้ค่าความหนืดลดลง แต่ขณะที่การตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 15% ค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากที่การตัดแปรผิวด้วยกรดที่เปอร์เซ็นต์สูงทำให้พื้นผิวยงผยงมีความเป็นรูพรุน ทำให้โมเลกุลยงและผยงยางครีมน้เกิดอันตรกิริยาได้ดีทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยงผยงตัดแปรผิวที่เปอร์เซ็นต์กรดต่ำๆ (5-10%)



ภาพที่ 3.8 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%

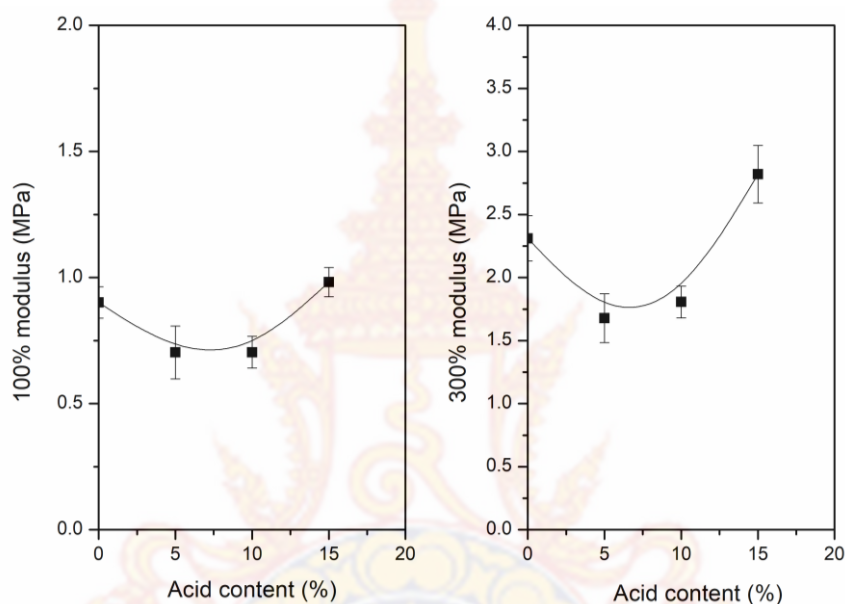
3.2.4 สมบัติเชิงกล

ภาพที่ 3.9 แสดงความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาด ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15% จากผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดจะให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือยางผงที่ตัดแปรด้วยกรดที่ 5%, 10% จะให้สมบัติที่ลดลงเนื่องจากการตัดแปรผิวที่กำจัดเอาสารวัลคาไนซ์ ออกส่งผลให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงลดลง จึงส่งผลต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและแรงฉีกขาดลดลง แต่กรณีของการตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 15% จะให้สมบัติที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลที่แตกต่างจากการตัดแปรด้วยกรดที่ 5% และ 10% ซึ่งการปรับปรุงสมบัตินี้ อาจเกิดจากการที่พื้นผิวที่มากขึ้นเกิดอันตรกิริยาได้เพิ่มขึ้นกับยาง



ภาพที่ 3.9 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%

ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15% แสดงดังภาพที่ 3.10 ผลการทดสอบให้แนวโน้มเช่นเดียวกับผลของค่าความต้านทานแรงดึงและแรงฉีกขาด คือยางผงที่ตัดแปรด้วยกรดที่ 5%, 10% จะให้สมบัติที่ลดลงแต่กรณีของการตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 15% จะให้สมบัติที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้เช่นเดียวกันจากอิทธิพลของปริมาณพันธะการเชื่อมโยงกรณีของยางผงตัดแปรผิวที่ 5 และ 10% แต่กรณีของการตัดแปรที่ 15% พบว่าผลของพื้นผิวที่มากขึ้นเป็นผลที่ทำให้ค่าสมบัติมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3.10 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรผิวด้วยกรดที่ 0%, 5%, 10% และ 15%

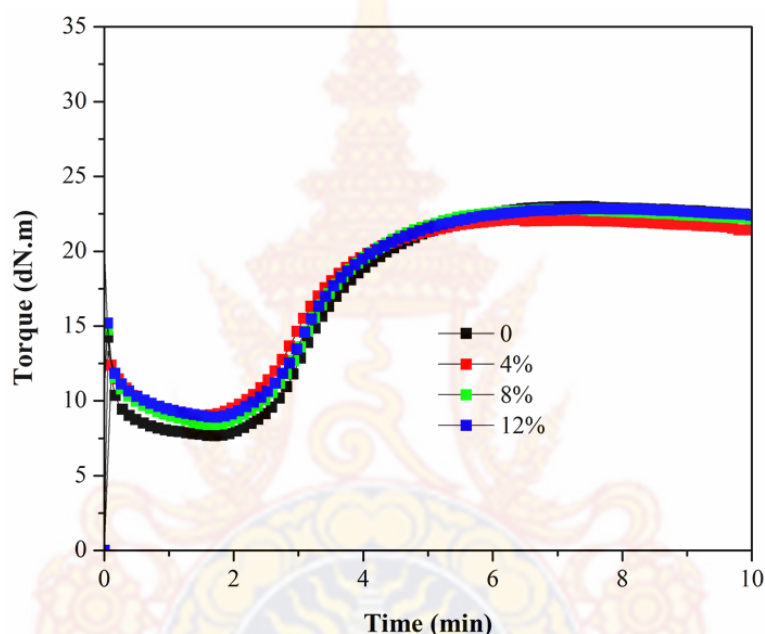
จากผลการศึกษาอิทธิพลของการตัดแปรผิว พบว่าการตัดแปรผิวที่ความเข้มข้นของกรด 5 และ 10% จะไม่ทำให้สมบัติของยางดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ยางผงที่ไม่ตัดแปรผิว แต่อย่างไรก็ตามการใช้ยางผงที่ตัดแปรผิวที่ความเข้มข้นกรด 15% จะช่วยปรับปรุงสมบัติยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นในการศึกษาหัวข้อต่อไปจึงเลือกยางผงที่ตัดแปรผิวที่ 15% มาศึกษา

3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและยางครีမ်บดตัดแปรผิว

เพื่อศึกษาการแปรปริมาณของยางอีพอกไซด์ที่ 0, 4, 8 และ 12% เพื่อปรับปรุงสมบัติและเพิ่มความเข้ากันได้ของยางและสารตัวเติมผงยางครีမ်บ โดยนำความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2 มาใช้ในการทดลอง

3.3.1 สมบัติการวัลคาไนซ์

ภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครัมป์ดัดแปรผิวและใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12% และสมบัติการวัลคาไนซ์สรุปดังตารางที่ 3.3 จากผลการทดสอบพบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ไม่ส่งผลต่อเวลาการสกอซ เวลาการวัลคาไนซ์ แต่ส่งผลต่อค่าทอร์คต่ำสุด โดยค่าทอร์คต่ำสุดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ อาจเนื่องจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีโครงสร้างวงแหวนอีพอกไซด์ที่มีความแข็ง จึงทำให้ความหนืดของยางคอมปาวด์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์



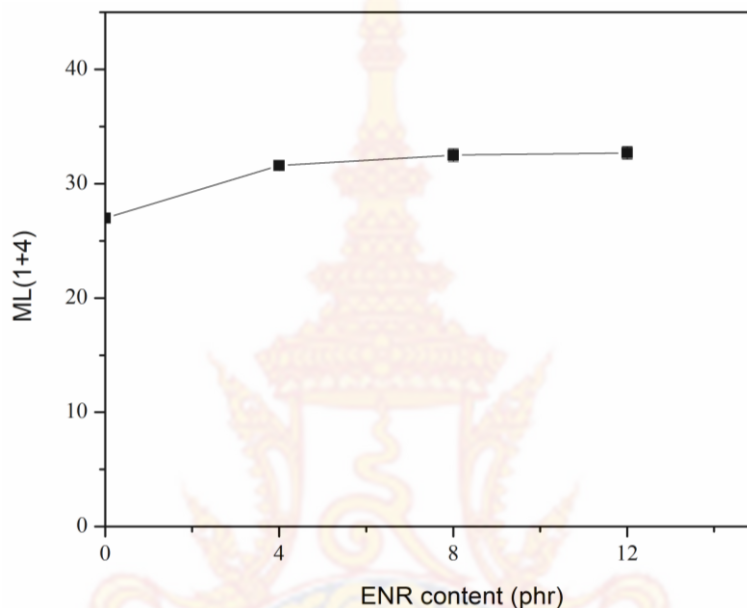
ภาพที่ 3.11 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครัมป์ดัดแปรผิวและใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%

ตารางที่ 3.3 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมผงยางครัมป์ดัดแปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%

Samples	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	$M_H - M_L$ (dN.m)	T_{s1} (min)	T_{c90} (min)
0%	7.68	22.99	15.31	2.19	5.05
4%	9.02	22.12	13.10	2.10	5.08
8%	8.41	22.81	14.40	2.16	4.46
12%	8.91	22.84	13.93	2.18	4.56

3.3.2 ค่าความหนืดมูนี

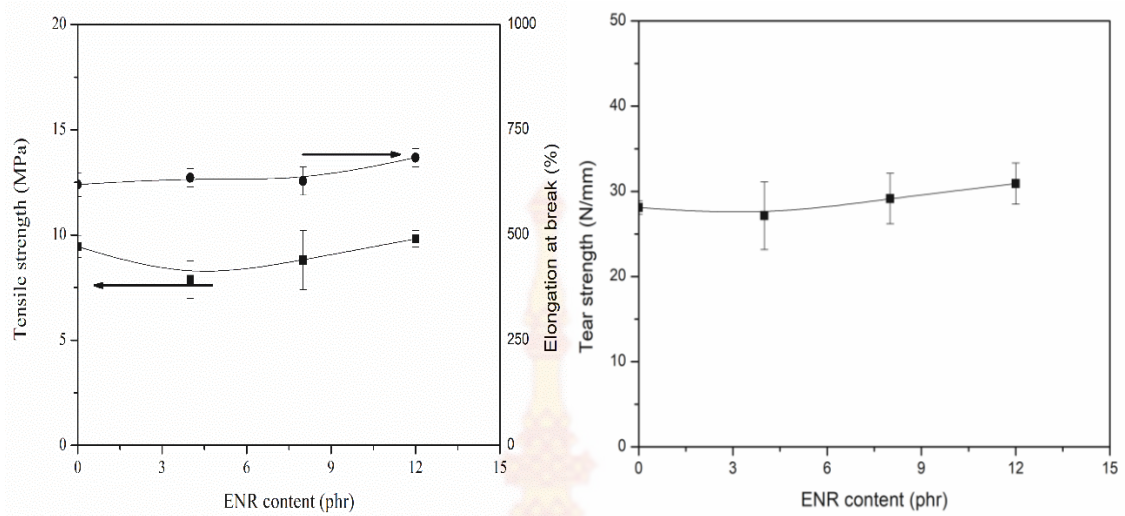
ความหนืดมูนีของของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บัตต์แปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12% แสดงดังภาพที่ 3.12 พบว่าการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ส่งผลให้ค่าความหนืดมูนีเพิ่มขึ้น อธิบายได้เช่นเดียวกันกับกรณีของการเพิ่มขึ้นของค่าทอร์คต่ำสุดดังในหัวข้อ 3.3.1



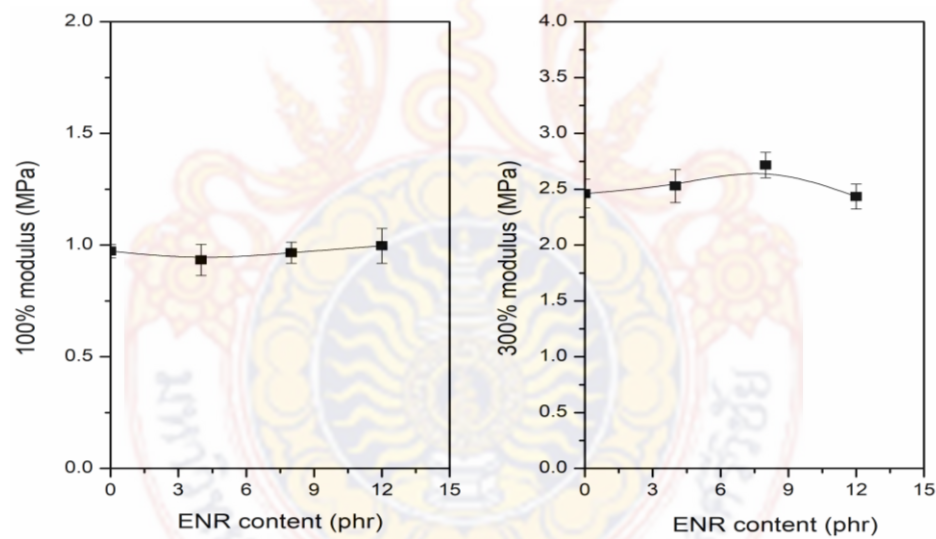
ภาพที่ 3.12 ความหนืดของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บัตต์แปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%

3.3.3 สมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมยางครีမ်บัตต์แปรผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12% สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดดังภาพที่ 3.13 และสมบัติมอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% แสดงดังภาพที่ 3.14 จากผลการทดสอบพบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบที่พบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ปริมาณ 0%, 4%, 8% และ 12% จะให้ผลที่เทียบเท่ากับกรณีของการไม่เติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ อาจอธิบายได้จากการทดลองนี้ในกระบวนการตัดแปรผิว ไม่ได้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีซ้ำตามที่คาดหวัง ดังนั้นการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้จึงไม่ได้ส่งผลในการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติที่เติมยางครีမ်บัตต์แปรผิว



ภาพที่ 3.13 ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรมีผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%



ภาพที่ 3.14 โมดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 300% ของยางธรรมชาติผสมผงยางครีမ်บดตัดแปรมีผิวที่ใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ 0%, 4%, 8% และ 12%

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

ปริมาณและขนาดอนุภาคของผงยางครีမ်บ์ส่งผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาแปรปริมาณและขนาดของผงยางครีမ်บ์ขนาดอนุภาคที่ใช้ 20 และ 40 เมช ที่ปริมาณ 0, 20, 40, 60 และ 80 phr พบว่าผงยางครีမ်บ์ที่ 40 เมช จะให้สมบัติที่ดีกว่าเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจะให้การกระจายตัวที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผงยางครีမ်บ์และยางที่มากกว่าจึงส่งผลให้สมบัติที่ดีกว่า และพบว่าปริมาณที่ให้สมบัติที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 40 phr การใช้ผงยางครีမ်บ์ที่ปริมาณไม่เกิน 40 phr ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล เนื่องจากผงยางครีမ်บ์มีสารวัลคาไนซ์หลงเหลือ ทำให้การเติมผงยางครีမ်บ์ส่งผลให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จึงส่งผลปรับปรุงสมบัติเชิงกล แต่หากการใส่ที่ปริมาณเกินกว่า 40 phr พบว่าสมบัติเชิงกลจะด้อยลง และเมื่อทำการตัดแปรรูปร่างยางครีမ်บ์ด้วยกรดที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 15% พบว่าภายหลังจากการตัดแปรรูปร่าง ส่งผลให้สารวัลคาไนซ์ที่หลงเหลือ ถูกกำจัดออกระหว่างกระบวนการตัดแปรรูปร่าง พบว่าสมบัติของการใส่ยางผงตัดแปรรูปร่างด้วยความเข้มข้น 5 และ 10% จะทำให้สมบัติของยางด้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีของการใส่ยางผงไม่ตัดแปรรูปร่าง เนื่องจากการกำจัดออกของสารวัลคาไนซ์ที่หลงเหลือในยางครีမ်บ์ ทำให้ยางที่เติมผงยางตัดแปรรูปร่าง ปริมาณพันธะการเชื่อมโยงลดลง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากรดตัดแปรรูปร่างด้วยความเข้มข้น 15% จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลเล็กน้อยทั้งนี้อาจเกิดจากอิทธิพลหลักจากพื้นที่ผิวที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการเกิดอันตรกิริยาที่ติดกับยางทำให้ปรับปรุงสมบัติเชิงกล และจากการศึกษาผลของการใส่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ปริมาณ 4, 8 และ 12% เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผงยางครีမ်บ์ตัดแปรรูปร่างและยางธรรมชาติ พบว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ไม่ได้ส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติ เพราะภายหลังจากการตัดแปรรูปร่างไม่พบการเพิ่มขึ้นของหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว จึงทำให้การใส่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ไม่ได้ส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติในยางธรรมชาติที่ผสมด้วยผงยางครีမ်บ์ตัดแปรรูปร่าง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตัดแปรรูปร่างผงยางครีမ်บ์ ควรเพิ่มชนิดของสารที่นำมาใช้ในการตัดแปรรูปร่าง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงไปของหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

- Ismail, H., Nordin, R., and Noor, A. M. 2002. Cure characteristics, tensile properties and swelling behaviour of recycled rubber powder-filled natural rubber compounds. *Polymer Testing*, 21(5), 565-569.
- Yehia, A. A., Mull, M. A., Ismail, M. N., Hefny, Y. A., and Abdel., Bary, E. M. 2004. Effect of chemically modified waste rubber powder as a filler in natural rubber vulcanizates. *Journal of applied polymer science*, 93(1), 30-36.
- Saiwari, S., Lohyi, E., and Nakason, C. (2014). Application of NR gloves reclaim: Cure and mechanical properties of NR/reclaim rubber blends. In *Advanced Materials Research* (Vol. 844, pp. 437-440). Trans Tech Publications.
- สรารุช ประเสริฐศรี กนกวรรณ กระกนก นัฐพล สุขพันธ์ และปราณี น้อยหนู 2559. “ผลของอัตราส่วนยางครัมป์และแคลเซียมคาร์บอเนตต่อสมบัติเชิงกลและ ทางความร้อนของยางผสมระหว่างยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนและยางธรรมชาติอีพอกไซด์”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม หน้า 50-59.
- Teh, P. L., Ishak, Z. M., Hashim, A. S., Karger-Kocsis, J., and Ishiaku, U. S. 2004. Effects of epoxidized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber–organoclay nanocomposites. *European Polymer Journal*, 40(11), 2513-2521.

