



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เกลือโลหะของกรดไขมันจากอนุพันธ์ของน้ำมันพืชสำหรับ
การผสมยาง

โดย รองศาสตราจารย์ อาชีชัน แกสมาน และคณะ

ตุลาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เกลือโลหะของกรดไขมันจากอนุพันธ์ของน้ำมันพืชสำหรับการผสมยาง

คณะผู้วิจัย	สังกัด
รองศาสตราจารย์อาชีวิน แกสมาน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวสินีนภา เพชรศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวชลาลัย เหตุหา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร. โสภา เชี่ยวชาญวุฒิศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	i
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อ / Abstract	5
เนื้อหา	
ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	5
วัตถุประสงค์	6
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	6
วิธีการทดลอง	
- บ้าง สารเคมี และเครื่องมือในการวิจัย	9
- การเตรียม Zinc salts จากกรดไขมันและน้ำมันพืชด้วยวิธีการตกตะกอน	10
- ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารช่วยแปรรูปต่อสมบัติของยางคอมปาวด์	11
- ศึกษาอิทธิพลของชนิดของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยาง	11
ธรรมชาติผสมซิลิกา	
- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s	12
ต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา	
- ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อ	12
สมบัติของยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502	
- ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ	13
(RSS3) ผสมเขม่าดำและซิลิกา	
- การวิเคราะห์ การเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบสมบัติต่างๆ	14
- การเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบสมบัติต่างๆ	14
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	16
- การสังเคราะห์เกลือสังกะสีจากน้ำมันพืชและกรดไขมัน	16
- อิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ	17
- อิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา	24
- อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อสมบัติของยาง	30
ธรรมชาติ ยางเอสบีอาร์ และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 เปรียบเทียบกับการใช้ Ultra flow 700s	
- อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ	35
สรุปผลการวิจัย	41

ข้อเสนอแนะ	43
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	43
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	46

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เกลือโลหะของกรดไขมันจากอนุพันธ์ของน้ำมันพืชสำหรับการผสมยาง
(ภาษาอังกฤษ) Metal Salts of fatty acid based on vegetable oil derivative for rubber mixing

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์อาชีวิน แกสมาน

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

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

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

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย นางสาวสินีนาวุ เพชรศิริ

นางสาวชลาลัย เหตุหาก

อาจารย์ ดร. โสภา เชี่ยวชาญวุฒิมังค์

งบประมาณทั้งโครงการ 135,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2552 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2553

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ประเทศไทยมีพืชที่ให้น้ำมันหลากหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง มะพร้าว ละหุ่ง ปาล์ม และสบู่ดำ เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้งานในการประกอบอาหาร เชื้อเพลิงประเภทไบโอดีเซล และการผลิตเครื่องสำอาง การใช้งานในอุตสาหกรรมยางมีน้อยมาก มีการศึกษาการใช้น้ำมันพืชเพื่อช่วยในการแปรรูปยาง เนื่องจากเหตุผลทางด้านเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Dasgupta, *et al*, 2007 และ Dasgupta, *et al*, 2008) รวมทั้งแหล่งผลิตน้ำมันประเภทนี้สามารถปลูกใหม่ทดแทนได้ ใช้แล้วไม่หมดไปดังเช่นกรณีน้ำมันจากปิโตรเลียมหรือฟอสซิล จากการศึกษาวิจัยข้างต้นยังเป็นการใช้งานโดยตรงไม่มีการปรับปรุงโครงสร้างเคมีทำให้การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนัก ได้มีการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว พบว่า มีไขมันอิ่มตัวประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของกรดไขมันที่อิ่มตัวนั้นจะประกอบด้วย lauric acid 44.6%, myristic acid 16.8%, palmitic acid 8.2% และ caprylic acid 8% ส่วนน้ำมันปาล์มซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบันโดยเฉพาะการทำไบโอดีเซลมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปจากน้ำมันมะพร้าวโดยประกอบด้วยกรดไขมันชนิด Palmitic (C16) 44.3%, Stearic (C18) 4.6%, Myristic (C14) 1.0%, Oleic (C18) 38.7% และ Linoleic (C18) 10.5 % จากองค์ประกอบของน้ำมันทั้งสองชนิด

ที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยกรดไขมันเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะออกไซด์หรือโลหะไฮดรอกไซด์เกิดเป็นเกลือของกรดไขมัน ซึ่งสารเคมีในกลุ่มนี้มีการใช้ในอุตสาหกรรมยางโดยใช้เป็นสารช่วยในการแปรรูป (Processing additives) ใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวของสารตัวเติม (Dispersing agent) สารช่วยหล่อลื่น (Lubrication agent) ในกลุ่มสารช่วยหล่อลื่นนั้น วัตถุดิบที่สำคัญคือ กรดไขมันจากน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น Castor oil, Coconut oil, Palm oil, Cotton oil, Olive oil และ Soybean oil เป็นต้น โดยชนิดของกรดไขมันที่สำคัญคือ palmitic acid, Stearic acid และ Oleic acid หน้าที่ของสารเคมีในกลุ่มสารช่วยหล่อลื่นจะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการผสม การแปรรูป และการอัดเบ้า โดยทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้เร็วและดีขึ้น ลดความหนืด อุณหภูมิการปล่อยยางหลังผสมเสร็จ (Dump temperature) ลดลง การเอ็กซทรูด การรีดแผ่นง่ายขึ้น ลดพลังงานในการแปรรูป การไหลในเบ้าพิมพ์ดีขึ้น การเกาะยางออกจากเบ้าง่ายขึ้น รอบเวลาการอัดเบ้าสั้นลง นอกจากนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติดังกล่าวแล้วสารเคมีในกลุ่มนี้ยังทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความเสถียรต่อความร้อนและการออกซิเดชัน ลดการขาดของโมเลกุลยางหรือพอลิเมอร์ ได้มีการศึกษาการใช้ซิงค์สเตียเรทในพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง mHDPE/mEPDM (Antony and De, 1999) พบว่า ทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์เบลนด์ขณะหลอมลดลง ได้มีการศึกษาโดยนักวิจัยกลุ่มเดียวกันพบว่า การใช้ซิงค์สเตียเรทนอกจากทำให้ความหนืดขณะหลอมของ ionomeric polyblend ลดลงแล้วยังทำให้ tensile strength และ elongation at break เพิ่มขึ้น (Antony, *et al.*, 1999) ได้มีการศึกษาการใช้สบู่ซิงค์ของน้ำมันจากเมล็ดยาง (Rubber seed oil, RSO) ในพีวีซีพลาสติเจล (PVC plastigels) พบว่า การใช้สารเคมีที่เตรียมได้จากเมล็ดยางพาราทำให้พีวีซีมีความเสถียรต่อความร้อนมากขึ้น การดัดแปลงโครงสร้างของกรดไขมันจากน้ำมันพืชสามารถทำได้โดยใช้ปฏิกิริยา Saponification ของน้ำมัน (Barlow, 1988) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดย Wanjun and Donghua, (2008) ในการสังเคราะห์โลหะสเตียเรทโดยใช้กระบวนการที่ง่ายและสะอาด

งานวิจัยนี้มีความสนใจในการเตรียมสารช่วยในการแปรรูป (Processing aids) จากน้ำมันพืชหรืออนุพันธ์ของน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่ง (Additives) ในสูตรยางทำให้ยางผสมสารเคมีสามารถแปรรูปได้ง่ายขึ้น สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้พลังงานในการแปรรูปลดลงและสมบัติของยางวัลคาไนซ์ดีขึ้น โดยในการวิจัยมีเป้าหมายในการดัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันหรืออนุพันธ์ให้เป็นเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดต่างๆ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ (1) การเตรียมเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดต่างๆ โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นกรดไขมัน (Lauric acid, Stearic acid หรือ Palmitic acid) หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันถั่วเหลือง) โดยใช้ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน (Saponification) จากนั้นศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารเคมีในกลุ่มนี้ วิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางฟิสิกส์ และ (2) การศึกษาสมบัติด้านต่างๆของยางคอมปอสต์ผสมเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดที่เลือกจากการสังเคราะห์ในตอนที่ 1 โดยชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์จากกรดไขมัน (Fatty acid) จะใช้ในรูปแบบของเกลือของสบู่ดิบ (Crude soap) ในขณะทำการสังเคราะห์จากน้ำมันพืช ทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอน (Precipitated) ในน้ำเกลือ (Salt water) เพื่อแยกกลีเซอริน (Glycerine) ออกจากเกลือหรือสบู่ของโลหะ (Metal soaps) ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับสารในกลุ่มเดียวกันที่ผลิตในเชิงการค้าคือ ULTRA-FLOW™-700S โดยใช้สูตรยางตามมาตรฐาน ASTM

D3184 (Natural Rubber) และ ASTM D3185 (Styrene-Butadiene Rubber) ในการศึกษาสมบัติด้านการแปรรูป สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกล

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาแนวทางการเตรียมสารช่วยผสมจากน้ำมันพืชหรืออนุพันธ์ของน้ำมันพืช และใช้สารเคมี ชนิดนี้ในการศึกษาอิทธิพลต่อสมบัติของยางผสมสารเคมีเปรียบเทียบกับการใช้สารช่วยผสมทางการค้า

ผลการดำเนินการ

สามารถเตรียมเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม กรดสเตียริก และ Palm fatty acid distillate (PFAD) โดยทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนคือ (1) ทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันหรือน้ำมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) นำเกลือโซเดียมทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตที่อุณหภูมิ 70°C ได้เกลือสังกะสีของกรดไขมันร้อยละ 65-70 จากการวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำมันและกรดไขมันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันและ Ultra flow 700s มีสัญญาณการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เลขคลื่น 1540 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณแสดงว่าเกิดเกลือสังกะสีของกรดไขมัน เมื่อนำมาใช้งานในสูตรยางคอมปาวด์โดยแปรชนิดและปริมาณของสารช่วยแปรรูปเปรียบเทียบกับสารเคมีทางการค้าคือ Ultraflow 700s พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทุกชนิดที่วิจัยทำให้ยางคอมปาวด์มีความหนืดลดลง ทำให้สามารถแปรรูปได้ง่ายขึ้น การวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ พบว่า โมดูลัสมีค่าลดลง ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงไม่แตกต่างกัน โดยการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ จากการศึกษาในยางชนิดต่างๆคือ ยาง RSS-3, RSS-3/SBR-1502 และ SBR-1502 พบว่า การใช้เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวให้สมบัติใกล้เคียงกับ Ultraflow 700s การใช้สารช่วยแปรรูปในยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปร่วมกับสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด ส่วน PFAD และ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการใส่เกลือสังกะสีของกรดไขมันในยางผสมสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า การใช้ Ultra flow 700s มีค่าระยะยืดที่จุดขาดสูงสุด รองลงมาคือเกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารเคมีเหล่านี้ในยางผสมซิลิกามีสมบัติดังกล่าวใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้สารช่วยแปรรูปในยางที่ผสมสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนยางที่ใช้ซิลิกา พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีสมบัติดังกล่าวต่ำที่สุด ในขณะที่การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน

สรุปผลการวิจัย

สามารถเตรียมเกลือสังกะสีจากปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันพืชและกรดไขมันคือ กรดสเตียริก กรดลอริก Palm fatty acid distillate (PFAD) น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนคือ (1) ทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันหรือน้ำมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) นำเกลือโซเดียมที่ได้จากขั้นตอนแรก มาทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตที่อุณหภูมิ 70°C ได้เกลือสังกะสีของกรดไขมันร้อยละ 65-70 ตรวจสอบโครงสร้างของเกลือสังกะสีของกรดไขมันด้วยเทคนิค FT-IR พบสัญญาณการดูดกลืนที่เลขคลื่น 1540 cm^{-1} จากนั้นศึกษาอิทธิพลของการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันเป็นสารช่วยแปรรูปในยางคอมปาวด์ต่อสมบัติของยางคอมปาวด์และยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ ULTRA-FLOW™ -700S โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ชนิดของยาง คือ ยาง RSS3 ยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 และชนิดของสารตัวเติม คือ เขม่าดำ (N330) และซิลิกา (Ultrasil VN3) พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้งชนิดที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการและเกรดทางการค้าในยางธรรมชาติ ทำให้ความหนืดมูนนี้ลดลง ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น ส่วนสมบัติเชิงกล พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวให้สมบัติเชิงกล เช่น โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาดและความแข็งแรงสูงกว่าสารช่วยแปรรูปทางการค้า เมื่อใช้สารช่วยแปรรูปปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่า ความหนืดมูนนี้มีค่าลดลง ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาด ความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การใช้สารช่วยแปรรูปในยาง 3 ชนิด พบว่า ยาง SBR-1502 มีค่าความหนืดมูนนี้สูงสุด และระยะยืดที่จุดขาดมากที่สุด แต่ความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุดในขณะที่ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูงสุด การใช้สารช่วยแปรรูปในยางที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำให้สมบัติด้านการแปรรูป การวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้ในสูตรยางที่ผสมสารตัวเติมซิลิกา

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรรววิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

เตรียมสารช่วยแปรรูปประเภทเกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าว และ PFAD โดยขยายสเกลการเตรียมในระดับต้นแบบเพื่อศึกษาเชิงลึกในการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้งานจริงในสูตรยางโดยศึกษาสมบัติให้ครอบคลุมตั้งแต่การผสม การแปรรูป สมบัติเชิงกลและพลวัตเชิงกล

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- ทราบขั้นตอนการเตรียมเกลือสังกะสีจากกรดไขมันและน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารช่วยแปรรูปในอุตสาหกรรมยาง
- ทราบอิทธิพลของสารช่วยแปรรูปที่สังเคราะห์ขึ้นต่อสมบัติของยางโดยแปรชนิดและปริมาณสารช่วยแปรรูป ชนิดของยางและสารตัวเติม โดยเปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้า
- สามารถเผยแพร่ผลงานในที่ประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

บทคัดย่อ

การใช้น้ำมันพืชและกรดไขมันในการเตรียมเกลือสังกะสีของกรดไขมันโดยปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ได้ผลผลิต 65-70% ตรวจสอบโครงสร้างของเกลือสังกะสีของกรดไขมันด้วยเทคนิค FT-IR จากนั้นศึกษาอิทธิพลของการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันเป็นสารช่วยแปรรูปในยางคอมปาวด์ต่อสมบัติของยางคอมปาวด์และยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ ULTRA-FLOW™ -700S โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ชนิดของยาง คือ ยาง RSS-3 ยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 ชนิดของสารตัวเติม คือ เขม่าดำ (N330) และซิลิกา (Ultrasil VN3) พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้งชนิดที่สังเคราะห์ขึ้นและเกรดทางการค้าในยางธรรมชาติ ทำให้ความหนืดมูนีลดลง ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น ส่วนสมบัติเชิงกล พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวให้สมบัติเชิงกลคือ โมดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาดและความแข็งแรงสูงกว่าสารช่วยแปรรูปทางการค้า เมื่อใช้สารช่วยแปรรูปปริมาณเพิ่มขึ้น พบว่า ความหนืดมูนีมีค่าลดลง ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาด และความต้านทานต่อการฉีกขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การใช้สารช่วยแปรรูปในยาง 3 ชนิด พบว่า ยาง SBR-1502 มีค่าความหนืดมูนีและระยะยืดที่จุดขาดมากที่สุด แต่ความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุด ในขณะที่ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูงสุด การใช้สารช่วยแปรรูปในยางที่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำให้สมบัติด้านการแปรรูป การวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลดีกว่าสูตรยางที่ใช้สารตัวเติมซิลิกา

Abstract

Zinc salts of fatty acid were prepared by saponification reaction of vegetable oil or oil derivatives in high yield (65-70%). Structure of zinc salts were characterized by FT-IR spectroscopy. Effect of zinc salts of fatty acid as processing aid, i.e. amount of zinc salts of fatty acid, various rubbers (RSS-3, SBR-1502 and RSS-3/SBR-1502) and fillers (carbon black and silica) on rubber compound properties were compare with commercial processing aid (ULTRA FLOW™-700s). The results showed that decreased mooney viscosity, faster reaction of vulcanization was obtained with processing aids based on zinc salts of fatty acid and commercial ones. Better mechanical properties were found in case of zinc salts of fatty acid from coconut oil. Vulcanization properties and mechanical properties were found to increase with increasing amounts of processing aids while mooney viscosity was decrease. The different rubber compounds exhibited different behaviours when combined with the processing aids. For instance, the viscosity of SBR1502 were found to be highest, whereas the modulus and hardness of RSS-3/SBR-1502 blend were highest. The tensile strength of SBR1502 were lowest but elongation at break were highest. The carbon black filled rubber compounds added with the processing aids showed better vulcanization and mechanical properties than those of silica filled ones.

เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ประเทศไทยมีพืชที่ให้น้ำมันหลากหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง มะพร้าว ละหุ่ง ปาล์ม และสนุ่นดำ เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้งานในการประกอบอาหาร เชื้อเพลิงประเภทไบโอดีเซล และการผลิตเครื่องสำอาง การใช้งานในอุตสาหกรรมยางมีน้อยมาก มีการศึกษาการใช้ไขมันพืชเพื่อช่วยในการแปรรูปยาง เนื่องจากเหตุผลทางด้านเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Dasgupta, *et al*, 2007 และ Dasgupta, *et al*, 2008) รวมทั้งแหล่งผลิตน้ำมันประเภทนี้สามารถปลูกใหม่ทดแทนได้ ไข่แล้วไม่หมดไปดังเช่นกรณีน้ำมันจากปิโตรเลียมหรือฟอสซิล จากการศึกษาวิจัยข้างต้นยังเป็นการใช้งานโดยตรงไม่มีการปรับปรุงโครงสร้างเคมีทำให้การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนัก ได้มีการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว พบว่า มีไขมันอิ่มตัวประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของกรดไขมันที่อิ่มตัวนั้นจะประกอบด้วย lauric acid 44.6%, myristic acid 16.8%, palmitic acid 8.2% และ caprylic acid 8% ส่วนน้ำมันปาล์มซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะการทำไบโอดีเซลมีส่วนประกอบที่แตกต่างไปจากน้ำมันมะพร้าวโดยประกอบด้วยกรดไขมันชนิด Palmitic (C16) 44.3%, Stearic (C18) 4.6%, Myristic (C14) 1.0%, Oleic (C18) 38.7% และ Linoleic (C18) 10.5 % จากองค์ประกอบของน้ำมันทั้งสองชนิดที่กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยกรดไขมันเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะออกไซด์หรือโลหะไฮดรอกไซด์เกิดเป็นเกลือของกรดไขมัน ซึ่งสารเคมีในกลุ่มนี้มีการใช้ในอุตสาหกรรมยางโดยใช้เป็นสารช่วยในการแปรรูป (Processing additives) ใช้เป็นสารช่วยกระจายตัวของสารตัวเติม (Dispersing agent) สารช่วยหล่อลื่น (Lubrication agent) ในกลุ่มสารช่วยหล่อลื่นนั้นวัตถุดิบที่สำคัญคือ กรดไขมันจากน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น Castor oil, Coconut oil, Palm oil, Cotton oil, Olive oil และ Soybean oil เป็นต้น โดยชนิดของกรดไขมันที่สำคัญคือ palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid หน้าที่ของสารเคมีในกลุ่มสารช่วยหล่อลื่นจะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการผสม การแปรรูป และการอัดเบ้า โดยทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้เร็วและดีขึ้น ลดความหนืด อุณหภูมิการปล่อยยางหลังผสมเสร็จ (Dump temperature) ลดลง การเอกซทูด การรีดแผ่นง่ายขึ้น ลดพลังงานในการแปรรูป การไหลในเบ้าพิมพ์ดีขึ้น การแกะยางออกจากเบ้าง่ายขึ้น รอบเวลาการอัดเบ้าสั้นลง นอกจากจะช่วยปรับปรุงสมบัติดังกล่าวแล้วสารเคมีในกลุ่มนี้ยังทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความเสถียรต่อความร้อนและการออกซิเดชัน ลดการขาดของโมเลกุลยางหรือพอลิเมอร์ ได้มีการศึกษาการใช้ซิงค์สเตียเรทในพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง mHDPE/mEPDM (Antony and De, 1999) พบว่า ทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์เบลนด์ขณะหลอมลดลง ได้มีการศึกษาโดยนักวิจัยกลุ่มเดียวกัน พบว่า การใช้ซิงค์สเตียเรทนอกจากทำให้ความหนืดขณะหลอมของ ionomeric polyblend ลดลงแล้วยังทำให้ tensile strength และ elongation at break เพิ่มขึ้น (Antony, *et al*., 1999) ได้มีการศึกษาการใช้สบู่ซิงค์ของน้ำมันจากเมล็ดยางพาราทำให้พีวีซีมีความเสถียรต่อความร้อนมากขึ้น การดัดแปลงโครงสร้างของกรดไขมันจากน้ำมันพืช

สามารถทำได้โดยใช้ปฏิกิริยา Saponification ของน้ำมัน (Barlow, 1988) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดย Wanjun and Donghua, (2008) ในการสังเคราะห์โลหะสเตียเรทโดยใช้กระบวนการที่ง่ายและสะอาด

งานวิจัยนี้มีความสนใจในการเตรียมสารช่วยในการแปรรูป (Processing aids) จากน้ำมันพืชหรืออนุพันธ์ของน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่ง (Additives) ในสูตรยางทำให้ยางผสมสารเคมีสามารถแปรรูปได้ง่ายขึ้น สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้พลังงานในการแปรรูปลดลงและสมบัติของยางวัลคาไนซ์ดีขึ้น โดยในการวิจัยมีเป้าหมายในการคัดแปลงโมเลกุลของน้ำมันหรืออนุพันธ์ให้เป็นเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดต่างๆ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ (1) การเตรียมเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดต่างๆ โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นกรดไขมัน (Lauric acid, Stearic acid หรือ Palmitic acid) หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันถั่วเหลือง) โดยใช้ปฏิกิริยา Saponification จากนั้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารเคมีในกลุ่มนี้ วิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางฟิสิกส์ และ (2) การศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของยางคอมเพาต์ผสมเกลือโลหะของกรดไขมันชนิดที่เลือกจากการสังเคราะห์ในตอนที่ 1 โดยชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์จากกรดไขมันจะใช้ในรูปของสบู่ดิบของกรดไขมัน ในขณะที่การสังเคราะห์จากน้ำมันพืชทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนในน้ำเกลือเพื่อแยกกลีเซอรินออกจากสบู่ของโลหะ ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับสารในกลุ่มเดียวกันที่ผลิตในเชิงการค้าคือ ULTRA-FLOW™-700S โดยใช้สูตรยางตามมาตรฐาน ASTM D3184 (Natural Rubber) และ ASTM D3185 (Styrene-Butadiene Rubber) ในการศึกษาสมบัติด้านการแปรรูป สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกล

2.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาแนวทางการเตรียมสารช่วยผสมจากน้ำมันพืชหรืออนุพันธ์ของน้ำมันพืช และใช้สารเคมีชนิดนี้ในการศึกษาอิทธิพลต่อสมบัติของยางผสมสารเคมีเปรียบเทียบกับการใช้สารช่วยผสมทางการค้า

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะนำกรดไขมันคือ Lauric acid, Stearic acid หรือ Palmitic acid หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันถั่วเหลือง มาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะออกไซด์เพื่อเตรียมเป็นสารช่วยในการแปรรูปยางในรูปของเกลือโลหะของกรดไขมัน จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี และสมบัติทางฟิสิกส์ นำไปผสมในสูตรยางที่ใช้ยางเดี่ยวๆ คือ NR และ SBR หรือยางเบลนดระหว่าง NR/SBR ทดสอบสมบัติของยางที่ได้คือ ความหนืด (Viscosity) ลักษณะการวัลคาไนซ์ (Cure characteristics) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสมบัติหลังการบ่มเร่ง (Ageing properties) นอกจากนี้ยังศึกษาในสูตรยางผสมสารเคมีที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ คือ เขม่าดำ และซิลิกา รวมทั้งมีการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารช่วยผสมชนิดต่างๆ โดยศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของยางผสมสารเคมีเช่นเดียวกันกับกรณีการศึกษาชนิดของยางที่ใช้ โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบกับสารช่วยผสมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้โดย ปรีวัฒน์ (2548) ศึกษาผลการใช้น้ำมันพืชเป็นพลาสติกไซเซอรันในยางคอมเพาต์ต่อสมบัติของยางคอมเพาต์ น้ำมันที่ใช้มีน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันเมล็ดยางพารา เปรียบเทียบกับน้ำมันสปีนเคิล วินัสทรีนทร์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารช่วยในกระบวนการผลิต คือ น้ำมันอะโรมาติก น้ำมันพาราฟินิก และ Ultra flow 500 ต่อสมบัติของยางเอทิลีนโพรไพลีนไดอิน (EPDM) ที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำ พบว่า การเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้ง 3 ชนิด ในยางคอมเพาต์ส่งผลให้กระบวนการผลิตทำได้ง่ายขึ้น ค่าความหนืดและพลังงานที่ใช้ในการผสมลดลง งานวิจัยด้านนี้ที่มีการศึกษาในต่างประเทศ เช่น Kuriakose and Rajendran (1994) ศึกษาการนำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนผสมในยางคอมเพาต์ในระบบที่ใช้กำมะถันเป็นสารทำให้ยางคงรูป ซึ่งน้ำมันจากรำข้าวนี้มีส่วนผสมของกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก จึงทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นการทำงานของสารตัวเร่งและเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตได้ และในน้ำมันรำข้าวจะมีส่วนผสมฟีนอล ซึ่งมีสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ Nondanan *et al.*, (1999) ได้รายงานว่ น้ำมันเมล็ดยางพาราสามารถใช้ได้หลายจุดประสงค์ในยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์ จากการศึกษาการใช้ น้ำมันเมล็ดยางพาราเป็นพลาสติกไซเซอรันทั่วไปในยาง โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบปกติ (Conventional system) พบว่า ทำให้สมบัติเชิงกลในยางวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์อยู่ในระดับดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังพบว่า ความต้านทานต่อการเสื่อมดีขึ้น ระยะเวลาวัลคาไนซ์และการบดผสม สมบัติด้านความต้านทานต่อการสึกหรอและความต้านทานต่อการหักงอเพิ่มขึ้น Kundu (2000) ได้ศึกษาพบว่า การใช้ น้ำมันพืชปริมาณเล็กน้อยใส่ลงไปยังยางคอมเพาต์ระหว่างการผสม มีผลให้ค่าแรงบิดที่ได้จากกราฟการวัลคาไนซ์มีค่าลดลง ซึ่งมีผลต่อเนื่องไปยังสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึง สมบัติด้านความต้านทานต่อการสึกหรอและความแข็ง โดยทำให้สมบัติดังกล่าวของยางผสมน้ำมันพืชมีค่าลดลง และความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงที่น้อยลง ค่า $\tan \delta$ ณ จุดที่ให้ค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าต่ำลง การใช้ น้ำมันพืชในยางทำให้ค่าโมดูลัสลดลง ยางคอมเพาต์ที่ใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าการผิดรูปจากการกดต่ำ แต่ให้การกระเด็นตัว ความต้านทานต่อการฉีกขาด และการขยายตัวของรอยแตกที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับยางคอมเพาต์สูตรมาตรฐานที่ไม่ใส่น้ำมันพืช Antony *et al.*, (1999) ได้ศึกษาการใช้ซิงค์สเตียเรทในพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง mHDPE/mEPDM พบว่า ทำให้ความหนืดของ Ionomeric polyblend ขณะหลอมลดลง และมีผลทำให้ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาด และความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าโมดูลัสลดลงเล็กน้อย ส่วนความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย Ismail and Anuar, (2000) ศึกษาถึงผลของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มและปริมาณเขม่าดำที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการคืนรูป และการล้าของยางคอมเพาต์ พบว่า ค่า scorch time, cure time, fatigue life และ elastic torque มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม ส่วนค่า viscous torque, loss modulus, reversion และ $\tan \delta$ จะมีค่าลดลง เมื่อใช้ปริมาณการใช้กรดไขมันของน้ำมันปาล์มเท่ากัน ยางคอมเพาต์ที่ผสมเขม่าดำเกรด N330 ปริมาณ 50phr จะให้ค่า elastic torque, viscous torque และ $\tan \delta$ สูงสุด แต่จะให้ค่า reversion และ fatigue life ต่ำสุด Egbuchunam *et al.*, (2007) ศึกษาการใช้สบู่อัดกะสิของน้ำมันจากเมล็ดยาง (Rubber seed oil, RSO) ซึ่งใช้ในพลาสติกพวกพีวีซีพลาสติกเจล (PVC plastigel) พบว่า การใช้สารเคมีที่เตรียมได้จากเมล็ด

ยางพาราส่งผลต่อความเสถียรทางความร้อนทำให้พียูซีมีความเสถียรต่อความร้อนมากขึ้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการใช้ไขมันพืชชนิดต่างๆ โดยที่ Dasgupta *et al.*, (2007) and Dasgupta *et al.*, (2008) ได้ศึกษาการใช้ไขมันจากพืชเพื่อช่วยในการแปรรูปยาง เนื่องจากเหตุผลทางด้านเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งยังสามารถปลูกใหม่ทดแทนได้ ใช้แล้วไม่หมดไป จากการศึกษาพบว่า น้ำมันจากพืชบางชนิดมีสมบัติด้านการแปรรูปของยางคอมปาวด์ที่ดี เกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติม และทำให้สารตัวเติมการกระจายตัวดีกว่าน้ำมันจากปิโตรเลียม

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 ยาง สารเคมี และเครื่องมือในการวิจัย

ในการวิจัยใช้ยางธรรมชาติที่ใช้เป็นยางแผ่นรมควันชั้น 3 (Ribbed smoked sheets 3, RSS-3) ผลิตจากชมรมสหกรณ์ชาวสวนยางอำเภอโคกโพธิ์-แม่ลาน จังหวัดปัตตานี ยางเอสบีอาร์ (Styrene butadiene Rubber, SBR) เกรด SBR 1502 มีค่าความหนืด ML 1+4 (100°C) เท่ากับ 52 ปริมาณสไตรีน 23.5% และบิวทาไดอิน 76.5% (ผลิตโดยบริษัทไบเออร์ ประเทศเยอรมัน) สารกำมะถันที่ใช้คือ กำมะถัน (Sulphur) (ผลิตโดยบริษัท Ciech S.A Co., Ltd. ประเทศโปแลนด์) สารกระตุ้นที่ใช้คือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, เกรด NC 105 (ผลิตโดยบริษัท Global Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย) กรดสเตียริก (stearic acid) (ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย) สารตัวเติมในการวิจัยคือ เหมดำชนิด High Abrasion Furnace Black (HAF) เกรด N330 (ผลิตโดย Thai carbon black Public Co., Ltd. ประเทศไทย) และซิลิกาประเภท Hydrated precipitated silica มีชื่อทางการค้าคือ Ultrasil VN 3 (ผลิตโดย United Silica (Siam) Co., Ltd. Thailand) ใช้สารเชื่อมประสาน (Coupling agent) มีชื่อทางการค้าคือ Couplink 89 เป็นชนิดเมอร์แคปโตไซเลน (ผลิตโดยบริษัท Behn Meyer Chemicals (S.E.Asia) s dn. BLd ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน) สารตัวเร่งที่ใช้คือ TBBS เป็นสารตัวเร่งกลุ่ม ซัลฟีนามิด (ผลิตโดยบริษัท Flexsys Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา) สารช่วยผสมทางการค้าที่ใช้คือ Ultra Flow 700s (ผลิตโดยบริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล(ที) จำกัด ประเทศมาเลเซีย) ใช้สารตั้งต้นในการเตรียมสารช่วยผสมยางคือ น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) (ผลิตจากโรงงานผลิตน้ำมันมะพร้าวอึ้งซุนเฮง จำกัด ปัตตานี ประเทศไทย) น้ำมันปาล์ม (Palm oil) ตราหยก (ผลิตโดยบริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย) กรดไขมัน Palm fatty acid distillate (PFAD) มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองอ่อนที่อุณหภูมิห้อง (ผลิตโดย บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)) และใช้สารเคมีอื่นๆดังนี้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ผลิตโดย Labscan Asia Co., Ltd., ประเทศไทย) ซิงค์ซัลเฟต เกรดทางการค้า (ผลิตโดย UTIDS ENTERPRISE CO., LTD ประเทศไทย) โซเดียมคลอไรด์ (ผลิตจากนาเกลือในพื้นที่จังหวัดปัตตานี ใช้งานในรูปสารละลายเกลืออิ่มตัว)

เครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปคือ เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาวของลูกกลิ้ง 14 นิ้ว (ผลิตโดย หจก.ชัยเจริญการช่าง กรุงเทพมหานคร) เครื่องผสมแบบปิดความจุของห้องผสม 500 cm³ สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วของโรเตอร์ได้ (ผลิตโดยบริษัท เจริญทัศน์ จำกัด สมุทรปราการ) ทดสอบความหนืดมูนนี่เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney

Viscometers รุ่น MV2000) ตามมาตรฐาน ASTM D 1646-99 (ผลิตโดยบริษัท Techpro. Co. Ltd., ประเทศสหรัฐอเมริกา) สมบัติการวัดคาบในซ้ทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Oscillating disk rheometer, ODR2000) (ผลิตโดยบริษัท Monsanto Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมเป็นชั้นทดสอบโดยการอัดเข้าด้วยเครื่องอัดเข้าแบบพิมพ์ (Compression Molding) (ผลิตโดย หจก.ชัยเจริญการช่าง กรุงเทพมหานคร) ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดด้วยเครื่อง Tensile testing machine ยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10KS (ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ) วัดความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Shore Durometer Tester) มีหน่วยวัดเป็น Shore A (ผลิตโดยบริษัท Afri Co., Ltd. ประเทศอิตาลี) ทดสอบการบ่มเร่งด้วยเครื่อง Gear aging oven รุ่น GPHH-20 (ผลิตโดยบริษัท Tabai Espec Corp. ประเทศญี่ปุ่น) วิเคราะห์โครงสร้างสารช่วยผสมยางด้วยเครื่อง FTIR รุ่น MAGNA IR560 spectrometer (ผลิตโดยบริษัท Nicolet ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.4.2 การเตรียมเกลือสังกะสีจากกรดไขมันและน้ำมันพืชด้วยวิธีการตกตะกอน

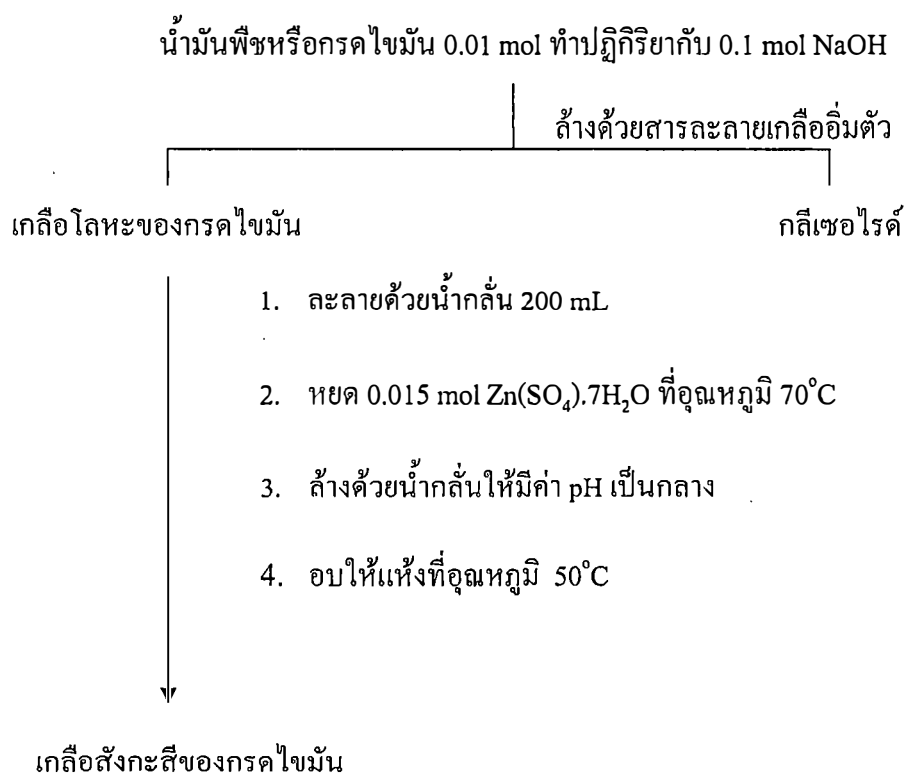
เตรียมเกลือซิงค์ของกรดไขมัน โดยใช้ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 : เตรียมเกลือโซเดียมของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันชนิดต่างๆ โดยนำสารเคมีข้างต้นคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง กรดสเตียริก กรดลอริก และ PFAD ปริมาณเท่ากับ 6.67, 8.67, 9.43, 2.84, 2.04 และ 2.42 กรัม ตามลำดับ มาทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.1 mol หรือปริมาณ 4 กรัม ในขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 70°C พร้อมกวนตลอดเวลาเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจะได้เกลือโซเดียมของกรดไขมัน นำไปล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวเพื่อกำจัดกลีเซอรอล

ขั้นตอนที่ 2 : นำเกลือโซเดียมที่ได้ปริมาณ 5 กรัม ไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตเข้มข้น 0.15 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยจัดอุปกรณ์ในการเตรียมดังรูปที่ 1 ที่อุณหภูมิ 70°C โดยกวนอย่างช้าๆประมาณ 60 รอบต่อนาที โดยหยดสารละลายซิงค์ซัลเฟตอย่างช้าๆใช้เวลาหยดประมาณ 10 นาที ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ล้างและกรองเกลือซิงค์ของกรดไขมันที่เตรียมได้ด้วยน้ำกลั่น จน pH เป็นกลาง นำไปอบด้วยตู้อบลดความดันที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีแผนผังการทำปฏิกิริยาดังรูปที่ 2 จากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง FT-IR ตามหัวข้อที่ 2.4.4



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์ในการเตรียมปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเกลือสังกะสีของกรดไขมัน

2.4.3 ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารช่วยแปรรูปต่อสมบัติของยางคอมเพาวด์

2.4.3.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา

ศึกษาผลของชนิดของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา โดยแปรชนิดของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันคือ Zn-coconut, Zn-plam, Zn-stearic และ

Zn-PFAD ปริมาณ 5 phr โดยใช้สูตรยางดังตารางที่ 1 และทำการผสมตามลำดับดังนี้คือ บดยาง RSS3 เป็นเวลา 3 นาที ใส่ซิงค์ออกไซด์บดผสม 2 นาที ใส่กรดสเตียริกบดผสม 2 นาที สารตัวเติมพร้อมกับสารช่วยแปรรูปใช้เวลาบดผสม 15 นาที ใส่สารตัวเร่ง TBBS บดผสม 2 นาที และใส่กำมะถันบดผสม 2 นาที ริดเป็นแผ่นหลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปเตรียมตัวอย่างและทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 2.4.5

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา (ตามมาตรฐาน ASTM D3184)

Ingredients	Quantities (phr)
RSS-3	100
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
Silica* (Ultrasil VN3)	35
Silane* (TESPT)	2.1
TBBS	0.7
Sulphur	2.25
Zinc salts	5

*หมายเหตุ การเตรียมซิลิกาเคลือบด้วยไซเลน

2.4.3.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s

ต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา

ศึกษาผลของปริมาณเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา โดยศึกษาเปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s แปรรูปปริมาณเกลือสังกะสีดังนี้คือ 0, 1, 3 และ 5 phr ในสูตรยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 1 โดยเลือกเกลือสังกะสีที่เหมาะสมจากผลที่ได้จากข้อ 2.4.3.1 คือ Zn-coconut และ Zn-PFAD ทำการผสมยางคอมปาวด์ตามขั้นตอนเช่นเดียวกัน หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปเตรียมตัวอย่างและทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 2.4.5

2.4.3.3 ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อ

สมบัติของยาง SBR 1502 และยางเบลดด์ RSS3/SBR1502

ศึกษาผลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยาง SBR 1502 และยางเบลดด์ RSS3/SBR1502 เปรียบเทียบกับยาง RSS3 โดยใช้เกลือสังกะสีปริมาณ 5 phr ดังสูตรยางในตารางที่ 2 โดยเลือกเกลือสังกะสีที่เหมาะสมจากผลที่ได้จากหัวข้อที่ 2.4.3.1 ใช้ขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์เช่นเดียวกัน

และเปรียบเทียบสมบัติของยางชนิดต่างๆข้างต้นกับการใช้ Ultra flow 700s หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปเตรียมตัวอย่างและทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 2.4.5

ตารางที่ 2 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยาง SBR 1502 และยางเบลนด์ RSS3/SBR 1502 (ตามมาตรฐาน ASTM D3184 และ ASTM D3185)

Ingredients	Quantities (phr)		
RSS3	100	-	50
SBR 1502	-	100	50
Zinc oxide	5	3	4
Stearic acid	2	1	1.5
Silica* (Ultrasil VN3)	35	35	35
Silane* (TESPT)	2.1	2.1	2.1
TBBS	0.7	1	0.85
Sulphur	2.25	1.75	2.0
Zinc salts	5	5	5

2.4.3.4 ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

เกรด RSS-3 ผสมเขม่าดำและซิลิกา

ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันและกรดไขมันต่อสมบัติของยาง RSS3 ผสมเขม่าดำและซิลิกา โดยใช้เกลือสังกะสีปริมาณ 5 phr และใช้สูตรยางในตารางที่ 3 โดยเลือก Zinc salts ที่เหมาะสมจากผลที่ได้จากหัวข้อที่ 2.4.3.1 คือ Zn-coconut และ Zn-PFAD ใช้ขั้นตอนการผสมยางเช่นเดียวกัน โดยศึกษาเปรียบเทียบกับ Ultra flow700s หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปเตรียมตัวอย่างและทดสอบสมบัติตามหัวข้อ 2.4.5

ตารางที่ 3 สูตรยางที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยาง RSS3 ผสมเขม่าดำและซิลิกา1502 (ตามมาตรฐาน ASTM D3184)

Ingredients	Quantities (phr)	
RSS3	100	100
Zinc oxide	5	5
Stearic acid	2	2
HAF N330	35	-
Silica* (Ultrasil VN3)	-	35
Silane* (TESPT)	-	2.1
TBBS	0.7	0.7
Sulphur	2.25	2.25
Zinc salts	5	5

2.4.4 การวิเคราะห์ การเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบสมบัติต่างๆ

2.4.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารตั้งต้น (น้ำมันพืช กรดไขมันชนิดต่างๆ) เกลือสังกะสีของกรดไขมันและน้ำมัน และสารช่วยผสมทางการค้าคือ Ultra flow700s โดยละลายตัวอย่างในคลอโรฟอร์ม นำไปหยดบนผลึก KBr นำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง FTIR รุ่น MAGNA IR560 spectrometer

2.4.5 การเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบสมบัติต่างๆ

2.4.5.1 การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)

ตัวอย่างยางประกอบด้วยยางสองชั้นที่ไม่มีฟองอากาศ แต่ละชั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.75 นิ้ว ปริมาณของยางทั้งสองชั้นรวมกันประมาณ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการทดสอบใช้งานใหญ่ รายงานผลการทดสอบเป็น xML (1+4) 100 °C

2.4.5.2 การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR2000

ยางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบปริมาตรโดยประมาณ 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 มม.และมีความหนา 12.5 มม. อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2084 รายงานผลเป็น Scorch time, Cure time, ML, MH และ Cure rate index (CRI)

2.4.5.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

นำยางคอมเพาต์ที่เตรียมได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากนั้นนำยางคอมเพาต์ไปอัดเข้าด้วยเครื่อง Compression molding ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ด้วยความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เวลาที่คำนวณได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง ODR2000

2.4.5.4 การทดสอบความต้านทานต่อการยืด (Tensile properties)

นำแผ่นยางที่ผ่านการอัดเข้ามามีเป็นชิ้นทดสอบรูปคัมเบลล์เพื่อทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการยืดตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยนำชิ้นทดสอบที่ได้มาวัดความหนาและความกว้างก่อนทดสอบการดึงยืดด้วยเครื่องเทนโซมิเตอร์ (Tensometer) โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วคำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break)

2.4.5.5 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

นำแผ่นยางอัดเข้าที่เตรียมได้มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปมุมตามมาตรฐาน ASTM D624 โดยนำชิ้นทดสอบที่ได้มาวัดความหนา นำชิ้นทดสอบไปดึงด้วยเครื่องเทนโซมิเตอร์ (Tensometer) โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดแรงดึงที่ชิ้นทดสอบขาดคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด

2.4.5.6 การทดสอบความแข็งของยางวัลคาไนซ์

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 นำชิ้นทดสอบที่ได้จากการอัดเข้าและมีความหนา 8-10 มิลลิเมตร ซึ่งได้เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทดสอบความแข็งด้วยระบบ Shore Durometer ค่าที่วัดได้จะอ่านค่าเป็น Shore A

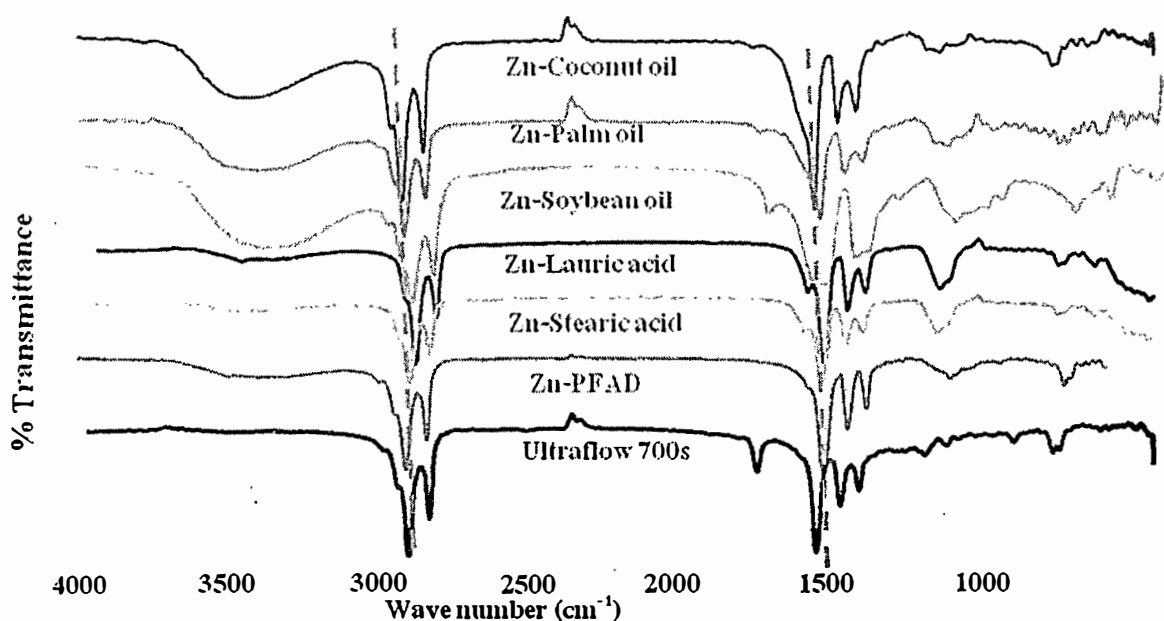
2.4.5.5 การทดสอบสมบัติด้านการบ่มเร่ง (Aging properties)

ทดสอบการบ่มเร่งของยาง นำยางทดสอบไปบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ในตู้บ่มเร่งแบบ Gear Oven จากนั้นนำตัวอย่างยางออกจากตู้บ่มเร่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนการทดสอบอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง โดยรายงานผลในรูปของร้อยละสมบัติที่คงอยู่ (% Retention of rubber property)

2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

2.5.1 การสังเคราะห์เกลือสังกะสีจากน้ำมันพืชและกรดไขมัน

จากการสังเคราะห์เกลือโซเดียมโดยใช้ไขมันและกรดไขมันชนิดต่างๆ ปริมาณ 0.01 mol ทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.1 mol นำเกลือโซเดียมมาละลายด้วยน้ำกลั่นจากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับซิงค์ ซัลเฟตที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 15 นาที โดยค่อยๆ หยดสารละลาย 0.015 mol $\text{Zn}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ได้ตะกอน เกลือสังกะสีนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C ลักษณะผลิตภัณฑ์ เป็นของแข็งสีขาว ร้อยละผลผลิตที่ได้คือ 65-70 จากการวิเคราะห์โครงสร้างของเกลือสังกะสีชนิดต่างๆ ด้วย เครื่อง FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรดดังรูปที่ 3 พบว่า เกิดพีกที่มีลักษณะกว้างที่ตำแหน่ง $3000\text{--}3440\text{ cm}^{-1}$ จากการสังเคราะห์เกลือสังกะสีของน้ำมันพืชและกรดไขมัน แต่สารทางการค้า Ultraflow 700s ไม่มีพีกการ ดูดกลืนดังกล่าว พีกดังกล่าวเป็นเลขคลื่นของ OH stretching ซึ่งอาจจะเกิดจากหมู่ $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ส่วนพีกเลขคลื่น 1736 cm^{-1} ใน Ultra flow 700s เป็นเลขคลื่นของ $\text{C}=\text{O}$ แสดงถึงหมู่เอสเทอร์ ซึ่งจะไม่พบในเกลือสังกะสีของ กรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD นอกจากนี้ยังพบว่า พันธ์ $\text{C}=\text{O}$ ของน้ำมันที่ตำแหน่ง 1700 cm^{-1} ยัง มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น $\text{C}=\text{O}$ ของเกลือที่ตำแหน่ง 1500 cm^{-1}



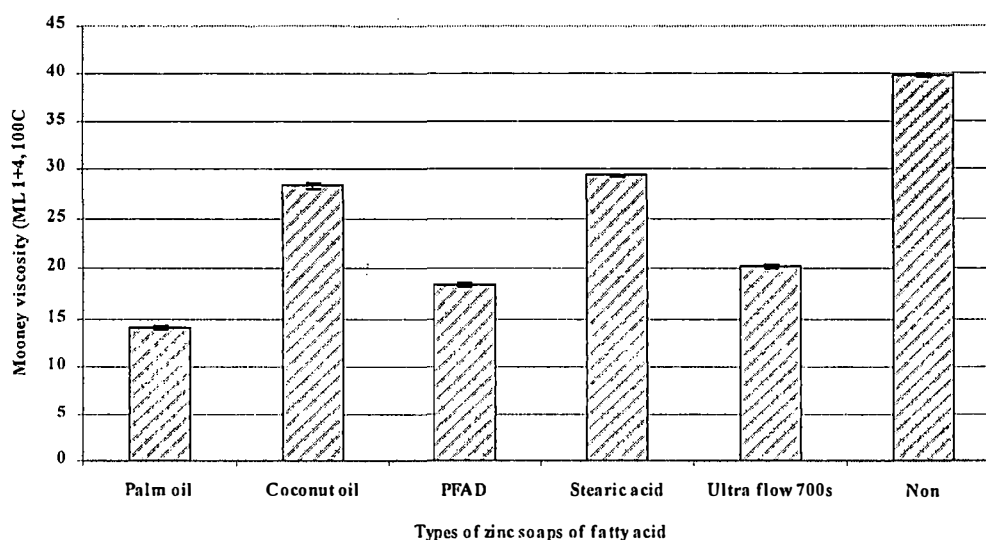
รูปที่ 3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเกลือสังกะสีที่เตรียมได้จากกรดไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับสารช่วยผสมทางการค้า Ultraflow 700s

2.5.2 อิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม กรดสเตียริก และ PFAD ต่อสมบัติของยางธรรมชาติ โดยใช้ปริมาณ 5 phr เปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ Ultra flow 700s และไม่ใช่สารช่วยแปรรูปได้ผลการทดลองดังนี้

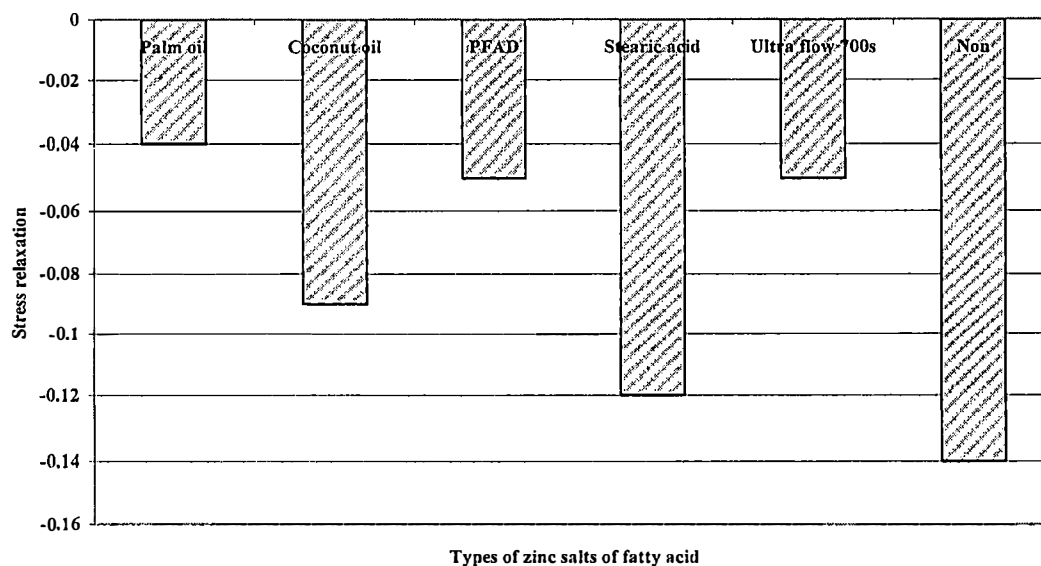
2.5.2.1 ค่าความหนืดของยางคอมเพาต์จากธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ

จากการทดสอบความหนืดของยางคอมเพาต์โดยแปรชนิดของสารช่วยแปรรูป ด้วยเครื่อง MV2000 ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4-5



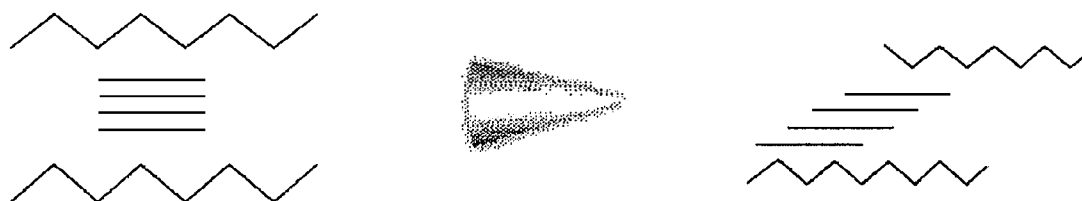
รูปที่ 4 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อค่า Mooney Viscosity (ML 1+4, 100°C) ของยางคอมเพาต์

จากรูปที่ 4-5 เป็นอิทธิพลของชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ Ultra flow 700s พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้งชนิดสังเคราะห์และทางการค้า ปริมาณ 5 phr ทำให้ความหนืดของยางคอมเพาต์ลดลง เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช่สารช่วยแปรรูป และเมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่ใช้สารช่วยแปรรูปพบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก stearic acid มีค่าสูงสุด รองมาคือ Coconut oil, Ultra flow 700s, PFAD และ Palm oil ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่า Stress relaxation rate แสดงให้เห็นว่าการใช้สารช่วยแปรรูปทำให้ยางคอมเพาต์สามารถแปรรูปได้ง่ายขึ้น โดยสารเคมีเหล่านี้จะไปหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น โดยทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (lubricant) ดังรูปที่ 6 ซึ่งค่า Stress relaxation rate เป็นค่าที่แสดงถึงการคืนตัวหรือความยืดหยุ่นของโมเลกุลยาง โดยเป็นค่าความชันจากการ plot ระหว่าง $\log M$ กับ $\log t$ ค่าความชันจะมีค่าเป็นลบ ถ้ามีค่าเป็นลบสูง แสดงว่ายางมีความยืดหยุ่นต่ำ กล่าวคือ การใช้สารช่วยแปรรูป ทำให้ยางคอมเพาต์มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น โดยที่การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมัน PFAD และน้ำมันปาล์มทำให้ยางคอมเพาต์มีความยืดหยุ่นมากที่สุด



รูปที่ 5 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อค่า

Stress relaxation rate



รูปที่ 6 ลักษณะการทำหน้าที่ของสารหล่อลื่นในโมเลกุลของยาง (Moneypenny *et al.*, 2004)

2.5.2.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูป

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันเปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s และกรณีไม่ใช้สารช่วยแปรรูป โดยทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160°C ได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 4

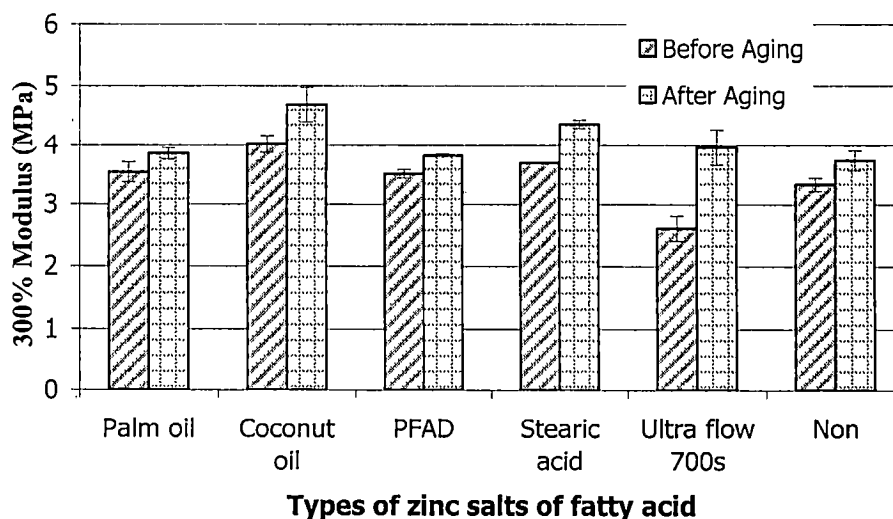
ตารางที่ 4 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพาวด์

Zinc salts fatty acid	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	t_{s1} (min)	t_{c90} (min)	$M_H - M_L$ (dN.m)	CRI
Zn-palm	2.92	22.0	4.71	9.65	19.08	20.36
Zn-coconut	3.80	28.23	3.86	9.03	24.43	19.34
Zn-PFAD	1.92	23.81	4.42	10.29	21.89	17.03
Zn-stearate	4.03	21.27	5.36	11.28	17.24	16.89
Ultra flow 700s	2.64	23.79	3.40	8.62	21.15	19.15
Non-processing aid	5.75	22.85	4.96	14.83	17.10	10.13

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารช่วยแปรรูปกลุ่มเกลือสังกะสีของกรดไขมัน สารช่วยแปรรูปทางการค้าและกรณีไม่ใช้ พบว่า การใช้สารเคมีในกลุ่มเกลือสังกะสีของกรดไขมันและสารช่วยแปรรูปทางการค้า ทำให้เวลาสก๊อช เวลาวัลคาไนซ์ลดลง กล่าวคือ เกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็วทำให้อัตราการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากเกลือสังกะสีของกรดไขมันทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี (Zinc sulfurating Complex) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากกรดไขมันกับน้ำมันพืช พบว่า เกลือสังกะสีจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่าเกลือสังกะสีจากกรดสเตียริก และ PFAD เนื่องจากในน้ำมันมะพร้าวมีส่วนประกอบของกรดลอริกเป็นส่วนใหญ่ มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ที่สั้นกว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันชนิดอื่น กล่าวคือ มีความยาวของโซ่ไฮโดรคาร์บอน 11 อะตอม ($C_{11}H_{23}COOH$) ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีได้ง่ายกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดอื่นๆ ส่งผลให้ยังเกิดการเชื่อมโยงโดยกัมมะถันได้เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s พบว่า การใช้ Ultra flow 700s ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็วกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากกรดไขมัน PFAD และ Stearic acid แต่เกิดการวัลคาไนซ์ช้ากว่ากรณีใช้เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม โดยที่การใช้เกลือสังกะสีจากน้ำมันปาล์มทำให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด เมื่อพิจารณาค่า $M_H - M_L$ พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมัน PFAD กับน้ำมันพืชและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่การใช้เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงสูงสุด แต่ในกรณีที่ไม่มีสารช่วยแปรรูป พบว่า มีสมบัติดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าดังกล่าวจะชี้ให้เห็นถึงความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในโมเลกุลยาง

2.5.2.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูป

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆ ต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์ โดยทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ คือ 300% Modulus, Tensile strength, Elongation at break, Tear resistance และ Hardness ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

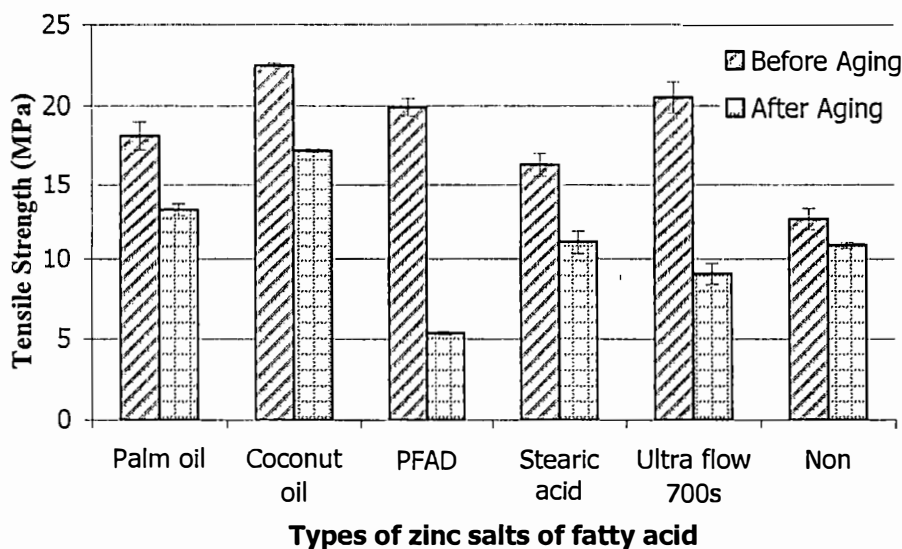


รูปที่ 7 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

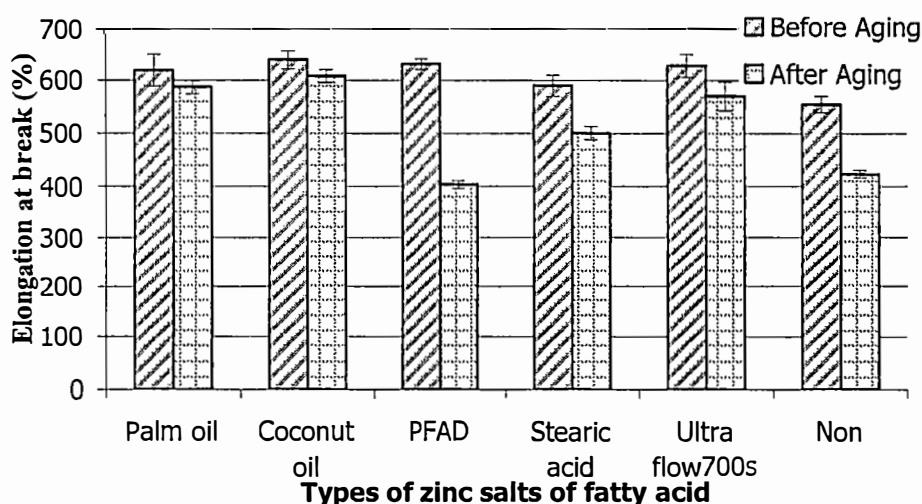
จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนบ่มแรงพบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว มีค่า 300% Modulus สูงที่สุด รองลงมาคือ กรดสเตียริก น้ำมันปาล์มและ PFAD ตามลำดับ ซึ่งเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวจะให้ค่า modulus สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูป และสารทางการค้าพบว่า การใช้ Ultra flow 700s มีค่าโมดูลัสต่ำสุด และเมื่อทดสอบสมบัติด้านการบ่มแรงพบว่า ค่าโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อนำยางไปอบในอากาศร้อน ทำให้โมเลกุลยางธรรมชาติสามารถเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์หรือปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆต่อไปได้อีก เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติหลังการบ่มแรงพบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว มีค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในกลุ่มที่ได้สังเคราะห์ขึ้น แต่ยังมีค่าต่ำกว่าสารช่วยแปรรูปทางการค้า Ultra flow 700s ค่อนข้างมาก

จากรูปที่ 8 เป็นความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของสารช่วยแปรรูปกลุ่มเกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ ทั้งนี้เนื่องจากเกลือสังกะสีของกรดไขมัน นอกจากทำหน้าที่เป็นสารช่วยแปรรูปแล้วยังทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ให้เกิดได้เร็วขึ้น เกิดปริมาณพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น จากอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยแปรรูป ทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้น ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาชนิดของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด รองลงมาคือ Ultra flow 700s, PFAD, Palm oil และ Stearic acid โดยที่ใช้ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียง

กับ PFAD ส่วนเมื่อพิจารณาสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงหลังจากบ่มแรงพบว่า การไม่ใช้สารช่วยแปรรูปมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้อยที่สุด ส่วนการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากกรดสเตียริก น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD กับ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติหลังการบ่มแรงมากที่สุด



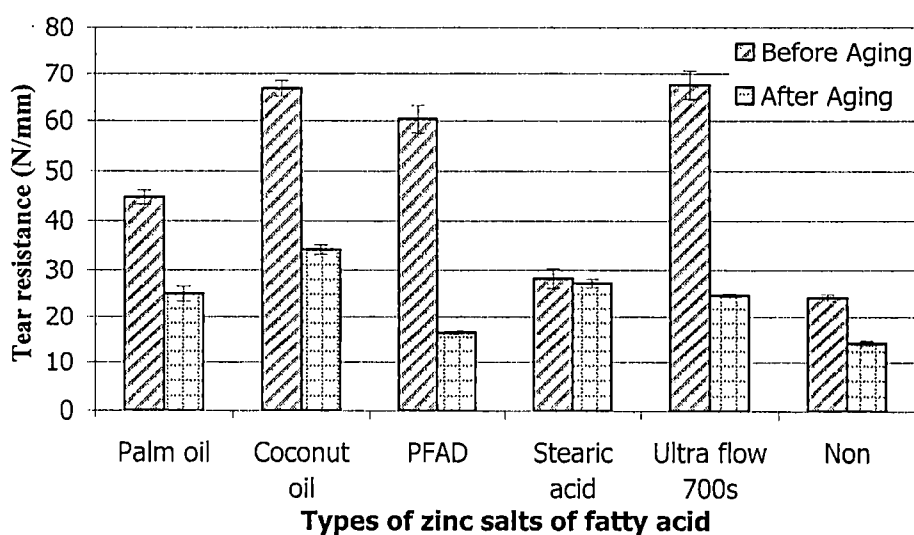
รูปที่ 8 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง



รูปที่ 9 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

จากรูปที่ 9 เป็นระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆ กับกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูป เมื่อพิจารณาสมบัติดังกล่าวก่อนบ่มแรง พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของ

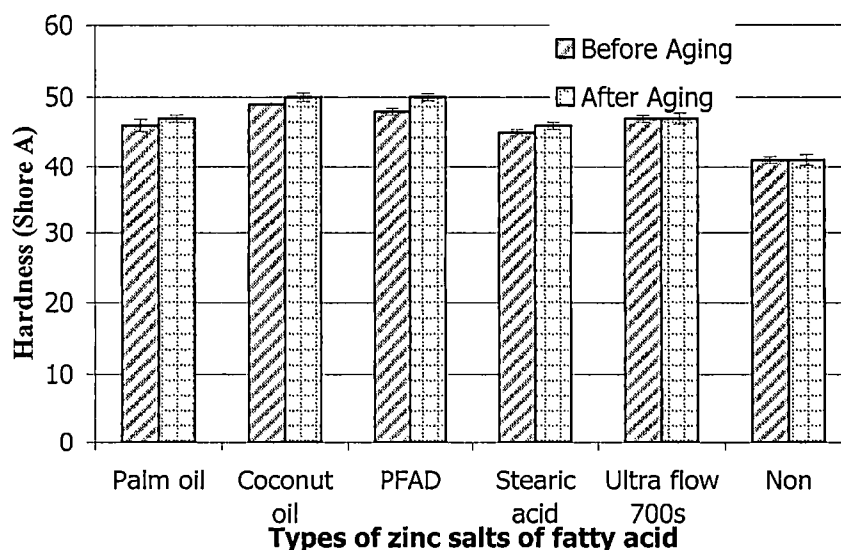
กรดไขมันจะไปกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากขึ้น ทำให้โครงสร้างยางวัลคาไนซ์มีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างจึงสามารถยึดได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดของสารช่วยแปรรูป พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ Ultra flow 700s, PFAD, Palm oil และ Stearic acid ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูปมีค่าต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาสมบัติหลังการบ่มแรงของค่าการเปลี่ยนแปลงของระยะยืดขาด พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว มีค่าการเปลี่ยนแปลงของระยะยืดที่จุดขาดน้อยที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์ม กรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูปและกรดสเตียริก ส่วนการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD และ Stearic acid กับ Ultra flow 700s มีการเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มแรงมากที่สุด



รูปที่ 10 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

จากรูปที่ 10 เป็นความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ โดยแปรชนิดของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆกับกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูป เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนการบ่มแรง พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทุกชนิดมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้ เนื่องจากเกลือสังกะสีของกรดไขมันจะไปกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงได้มาก มีผลทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดจากอิทธิพลของสารช่วยแปรรูปต่อการกระจายตัวของสารตัวเติม เมื่อพิจารณาชนิดของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ พบว่า ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ใช้ Ultra flow 700s มีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว รองลงมาคือ PFAD, Palm oil และ Stearic acid ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมบัติหลังการบ่มแรง พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ ทำให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง เนื่องจากยางเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางลดลงและพบว่า เกลือสังกะสีจากกรดสเตียริกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ส่วนกรณีที่ไม่ใช้

ไม่ใช้สารช่วยแปรรูป น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าวมีค่ามากขึ้นตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้ Ultraflow 700s กับ PFAD มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 ผลของชนิดเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

จากรูปที่ 11 เป็นสมบัติด้านความแข็งของยางวัลคาไนซ์ โดยแปรชนิดของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ กับกรณีที่ไม่ใช้ เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความแข็งก่อนการบ่มแรง พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทุกชนิด ทำให้ความแข็งของยางวัลคาไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้สารเคมีในกลุ่มนี้ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพและปริมาณมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแข็งก่อนการบ่มแรง พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวให้ค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ PFAD, Ultra flow 700s, Palm oil และ Stearic acid ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีส่วนประกอบเป็นกรดลอริกเป็นส่วนใหญ่และมีสายโซ่โมเลกุลที่สั้นที่สุด ทำให้เกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงเกิดได้ง่ายเป็นผลให้มีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงมาก ทำให้ยางมีความแข็งสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับค่า M_H-M_L เมื่อผ่านการบ่มแรง พบว่า ความแข็งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะในขณะการบ่มแรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลยาง ทำให้ความแข็งของยางวัลคาไนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การใช้เกลือสังกะสีจาก PFAD ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลมากที่สุด เนื่องจากในส่วนประกอบของ PFAD มีกรดไขมันที่หลากหลายและมีส่วนโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว

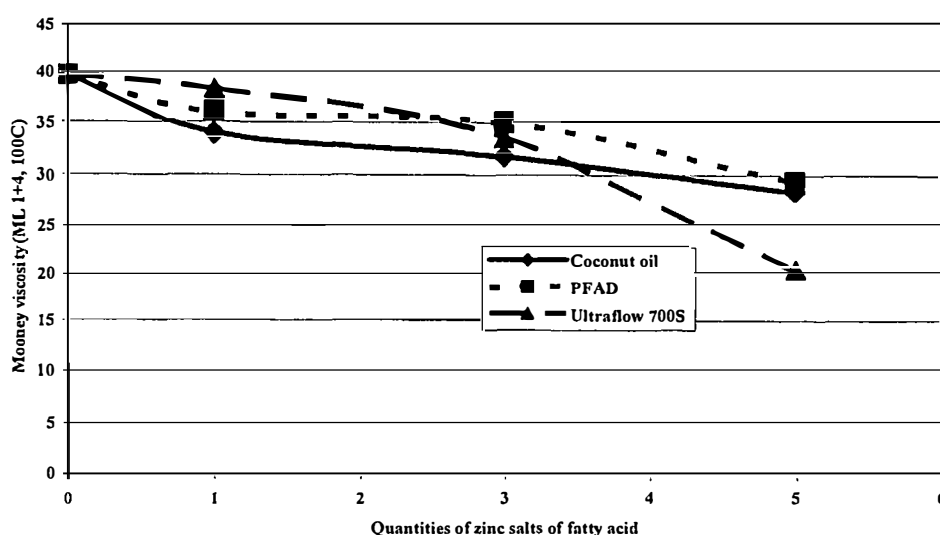
จากการทดลองน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ซึ่งมีสมบัติเชิงกลดีกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันชนิดอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ในการศึกษากรณีอื่นๆต่อไป

2.5.3 อิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซีลีกา

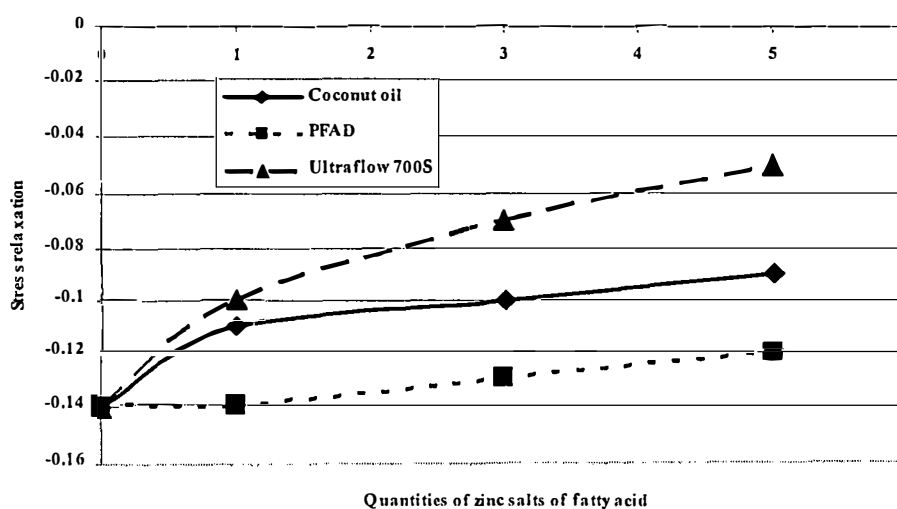
จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD เปรียบเทียบกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ Ultra flow 700s โดยใช้ปริมาณดังนี้คือ 0, 1, 3 และ 5 phr ได้ผลการวิจัยดังนี้

2.5.3.1 ค่าความหนืดของยางคอมเพาต์จากธรรมชาติผสมซีลีกาโดยแปรปริมาณสารช่วยแปรรูป

จากการทดสอบความหนืดของยางคอมเพาต์ที่แปรปริมาณของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง MV 2000 ได้ผลการวิจัยดังรูปที่ 12-13



รูปที่ 12 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s ต่อค่า Mooney Viscosity (ML 1+4, 100°C) ของยางคอมเพาต์



รูปที่ 13 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อค่า Stress Relaxation

จากรูปที่ 12-13 เมื่อแปรปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s ในยางธรรมชาติที่มีซิลิกาเป็นสารตัวเติม พบว่า ค่าความหนืดของยางคอมปาวด์ที่ใส่ เกลือสังกะสีชนิดต่างๆมีค่าลดลงตามปริมาณของเกลือสังกะสี ซึ่งการใช้เกลือสังกะสีชนิดต่างๆทั้งจาก Coconut oil, PFAD และ Ultra flow 700s จัดเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของสารช่วยในการผสมและแปรรูป ทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้น ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น จะไปเป็นตัวช่วยลดความหนืดของยางทำให้นิ่มลง เพราะโมเลกุลของเกลือสังกะสีจะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเกิดการเคลื่อนที่หรือเกิดการเลื่อนไถลได้ง่ายขึ้น ค่าความหนืดของยางจึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ที่ระดับการใช้ปริมาณ 1 phr พบว่า Ultra flow 700s จะมีความหนืดของยางสูงกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD แต่เมื่อใช้ปริมาณ 3 และ 5 phr พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีค่าความหนืดของยางสูงกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า Stress relaxation rate พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการใช้ Ultra flow 700s ทำให้มีค่า Stress relaxation rate ลดลงน้อยกว่าหรือมีค่าความชัน (เมื่อพล็อตกราฟ $\log M$ กับ $\log t$) ต่ำกว่า แสดงว่า มีความยืดหยุ่นมากกว่าแสดงให้เห็นว่า การใช้ Ultra flow 700s ให้ยางคอมปาวด์มีความยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ coconut oil และ PFAD ตามลำดับ

2.5.3.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมซิลิกาโดยแปรปริมาณสารช่วยแปรรูป

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s โดยทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160°C ได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาเวลาสกอซ พบว่า ในกรณีการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นทำให้เวลาสกอซมีค่าลดลง กล่าวคือ เกิดการเริ่มต้นการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น ในขณะที่การใช้เกลือสังกะสีจากกรดไขมันจาก PFAD และ Ultra flow 700s มีพฤติกรรมที่เหมือนกัน กล่าวคือ การใช้ปริมาณ 0-3 phr ทำให้เวลาสกอซเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อใช้ปริมาณ 5 phr ทำให้เวลาสกอซลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาเวลาการวัลคาไนซ์และอัตราการวัลคาไนซ์ พบว่า การเพิ่มปริมาณสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิดทำให้เกิดโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีได้มากขึ้นส่งผลให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลกำมะถันได้ง่ายขึ้น เกิดพันธะเชื่อมโยงได้ปริมาณมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่า M_H-M_L พบว่า เมื่อปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น แสดงว่าเกิดพันธะเชื่อมโยงปริมาณสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆ ทั้ง 3 ชนิด ปริมาณ 5 phr พบว่าการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว มีค่า M_H-M_L สูงที่สุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ

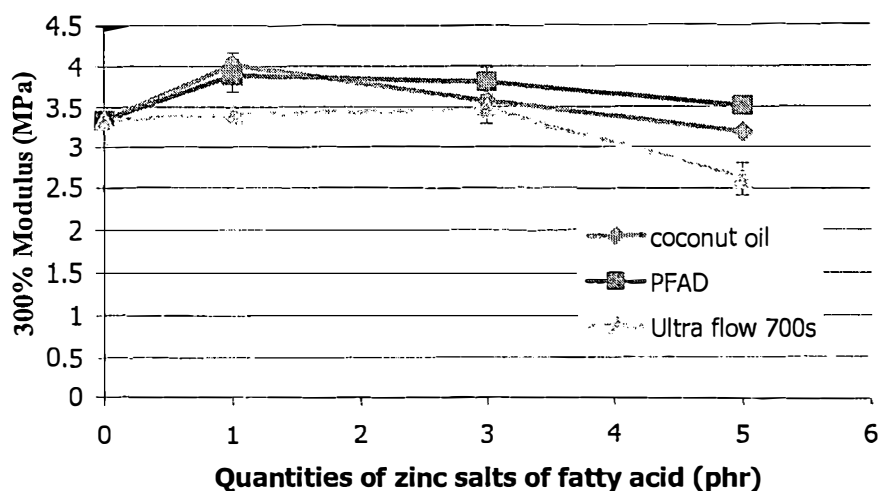
ตารางที่ 5 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันมะพร้าวและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์

Processing aid types	Zinc salts of fatty acid (phr)	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	t_{g1} (min)	t_{c90} (min)	M_H-M_L (dN.m)	CRI
Zn-coconut	0	5.75	22.85	4.96	14.83	17.10	10.13
	1	3.99	22.30	4.36	14.20	18.31	10.16
	3	3.29	29.62	4.31	9.64	26.33	18.76
	5	3.31	28.23	3.86	9.03	24.92	19.34
Zn-PFAD	0	5.75	22.85	4.96	14.83	17.10	10.13
	1	4.81	27.47	5.19	14.70	22.66	10.52
	3	4.29	21.01	5.90	13.16	16.72	13.77
	5	1.92	23.81	4.42	10.29	21.89	17.04
Ultra flow 700s	0	5.75	22.85	4.96	14.83	17.10	10.13
	1	4.57	23.01	5.55	12.53	18.44	14.33
	3	4.00	23.09	5.81	11.68	19.09	17.04
	5	2.64	23.79	3.40	8.62	21.15	19.16

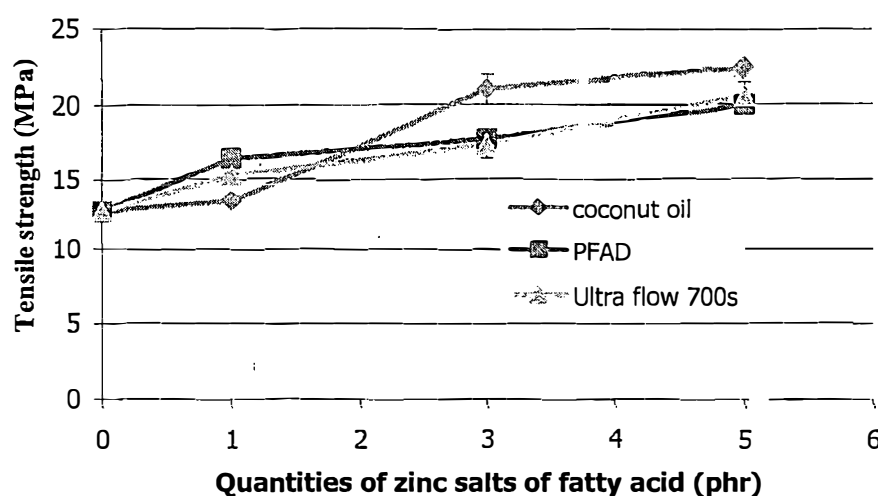
2.5.3.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติผสมซิลิกาโดยแปรปริมาณสารช่วยแปรรูป

จากการนำยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณของเกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s ทดสอบสมบัติต่างๆ คือ 300% Modulus, Tensile strength, Elongation at break, Tear strength และ Hardness ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 14 เป็นค่า 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณสารช่วยแปรรูป 3 ชนิด เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนบ่มแรง พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเกลือสังกะสีที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว PFAD และ Ultra flow 700s เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า 300% Modulus ของยางจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้นการใช้ปริมาณสูงถึง 5 phr โดยที่การใช้ปริมาณมากเกินไปทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหวได้มากขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสลดลง และ การใช้ Ultraflow 700s มีค่าโมดูลัสต่ำกว่าสารช่วยแปรรูปอีก 2 ชนิด เมื่อนำไปบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบ พบว่า ค่า 300% Modulus ของยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลยางธรรมชาติสามารถเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์และปฏิกิริยาข้างเคียงต่างๆต่อไปได้อีก เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสมบัติข้างต้นจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อใส่ปริมาณเกลือสังกะสีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีมีอิทธิพลทำให้โครงสร้างพันธะเชื่อมโยงเกิดการเปลี่ยนแปลง



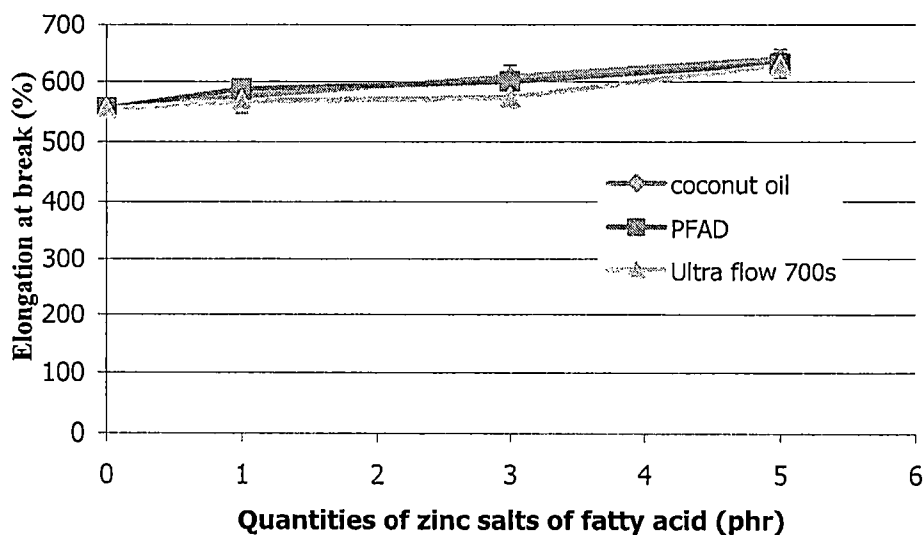
รูปที่ 14 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s



รูปที่ 15 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

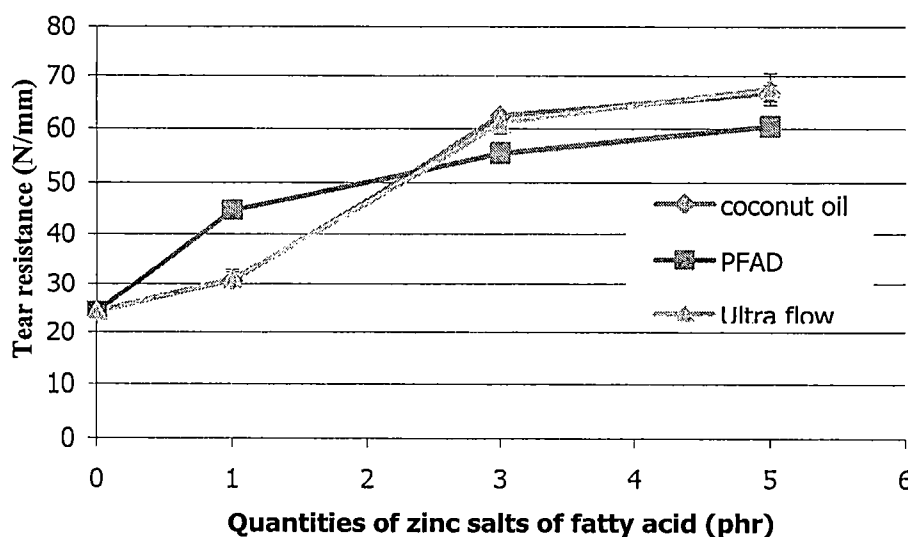
จากรูปที่ 15 เป็นความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณสารช่วยแปรรูป 3 ชนิด เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนบ่มแรง พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่ใช้ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เกิดพันธะเชื่อมโยงปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สารเคมีโดยเฉพาะสารตัวเติมเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ซึ่งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติหลังบ่มแรง พบว่า สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงหลังบ่มแรงของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Ultra flow 700s มีการ

เปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับ PFAD ส่วนการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด



รูปที่ 16 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความสามารถในการยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

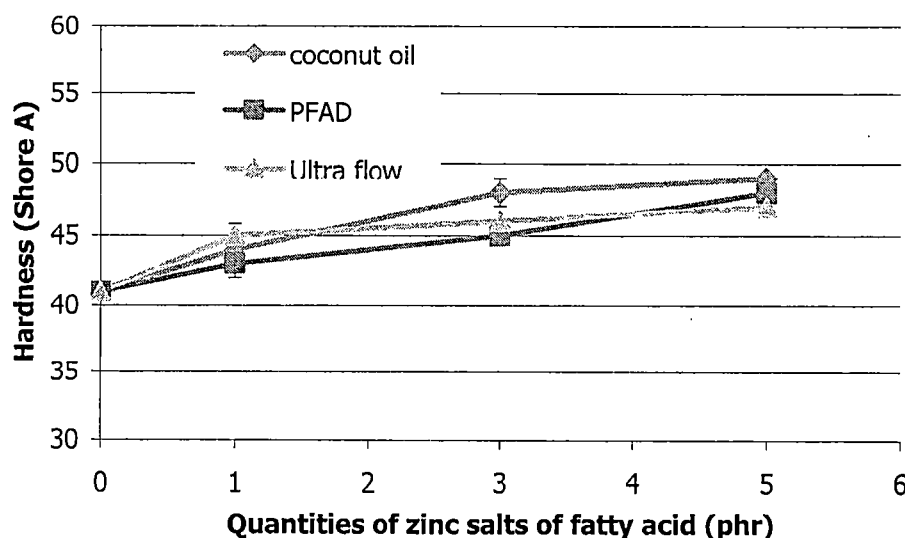
จากรูปที่ 16 เป็นสมบัติระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณสารช่วยแปรรูป 3 ชนิด เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนบ่มแรง พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ทำให้ระยะยืดที่จุดขาดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่ใช้ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เกิดพันธะเชื่อมโยงมากขึ้นและทำให้สารเคมีเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และขณะเดียวกันโมเลกุลสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว PFAD และ Ultra flow 700s มีค่าไม่ต่างกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติหลังบ่มแรง พบว่า สมบัติหลังบ่มแรงของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เกลือซิงค์ของกรดไขมันจาก PFAD มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วน Ultra flow 700s มีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว



รูปที่ 17 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 17 เป็นความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณของสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด เมื่อพิจารณาสมบัติก่อนบ่มแรง พบว่า การเพิ่มปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันและ Ultra flow 700s ทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่แข็งแรง รวมทั้งทำให้สารตัวเติมเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดหลังบ่มแรง พบว่า สมบัติหลังบ่มแรงของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ Ultra flow 700s มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว และ PFAD ตามลำดับ

จากรูปที่ 18 เป็นค่าความแข็งของยางวัลคาไนซ์ที่แปรปริมาณสารช่วยแปรรูป 3 ชนิด เมื่อพิจารณา ก่อนการบ่มแรง พบว่า การเพิ่มปริมาณสารเคมีดังกล่าว ทำให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากทำให้เกิดการเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพ และมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้น ทำให้ความแข็งเพิ่มสูงขึ้น โดยที่การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติหลังบ่มแรงจะเห็นว่า ความแข็งมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าว ส่วนการใช้ Ultra flow 700s ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดังกล่าว



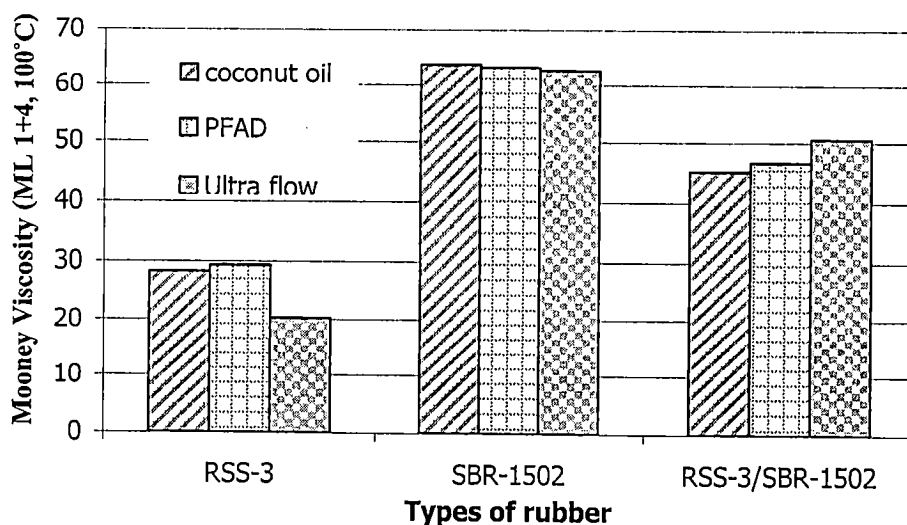
รูปที่ 18 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความแข็งของยางวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับ Ultraflow 700s

2.5.4 อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ยางเอสปรีอาร์ และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 เปรียบเทียบกับการใช้ Ultra flow 700s

จากการศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว PFAD ปริมาณ 5 phr ต่อสมบัติของยางคอมปาวด์จากยางชนิดต่างๆคือ ยาง RSS-3, ยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 ที่อัตราส่วน 50/50 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับการใช้ Ultraflow 700s ได้ผลการวิจัยดังนี้

2.5.4.1 ค่าความหนืดของยางชนิดต่างๆผสมซิลิกาโดยแปรชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน

จากการทดสอบความหนืดของยางคอมปาวด์ชนิดต่างๆที่ใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว และ PFAD เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s ได้ผลการวิจัยดังรูปที่ 19 พบว่า การใช้สารเคมีดังกล่าวทำให้สารตัวเติมกระจายตัวได้ดีขึ้นและทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยางทำให้เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน พบว่า ในยาง SBR1502 จะให้ค่าความหนืดไม่แตกต่างกัน โดยที่ใช้ Ultra flow 700s ในยางทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าความหนืดต่ำที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของยางคอมปาวด์ระหว่างยาง RSS3, ยาง SBR1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 พบว่า ยาง SBR-1502 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 และยาง RSS3 ตามลำดับ การที่ยาง SBR-1502 มีค่าความหนืดสูงกว่าชนิดอื่นๆ เนื่องจาก ยาง SBR1502 มีการควบคุมความหนืดในขั้นตอนการผลิต ทำให้เมื่อทำการผสมยางชนิดนี้ความหนืดของยางจะไม่ลดลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับยาง RSS-3 ซึ่งยางธรรมชาติเมื่อผ่านการผสมยาง ทำให้สายโซ่โมเลกุลถูกตัดขาดในขั้นตอนการผสม ทำให้ยาง RSS-3 มีค่าความหนืดต่ำกว่ายาง SBR-1502



รูปที่ 19 ผลของเกลือสังกะสีกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อค่า Mooney Viscosity ของยางคอมปาวด์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ultra flow700s

2.5.4.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางชนิดต่างๆผสมซิลิกาโดยแปรชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน

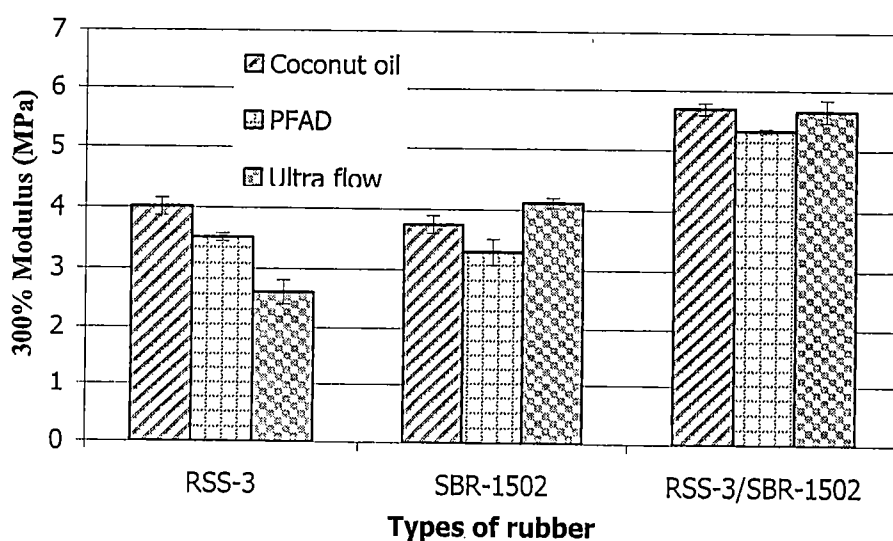
จากการศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ultraflow 700s โดยทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วย ODR 2000 ที่อุณหภูมิ 160°C ได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 6 พบว่า เวลาสกอชและเวลาวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติมีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วที่สุด เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ที่ว่องไวสูง โดยที่ $-CH_3$ group เป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนแก่พันธะคู่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ส่วนยาง SBR-1502 มีความว่องไวของพันธะคู่ต่ำกว่าทำให้ใช้เวลาวัลคาไนซ์ยาวกว่า ส่วนยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีเวลาสกอชและเวลาวัลคาไนซ์อยู่ระหว่างยางทั้งสองชนิด เมื่อพิจารณาอัตราการวัลคาไนซ์พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ RSS-3/SBR-1502 และ SBR-1502 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นว่า การใช้เกลือสังกะสีของ PFAD มีอัตราการวัลคาไนซ์ต่ำกว่าเกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s จะเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีที่ใช้ในยางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่า ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่า M_H-M_L สูงที่สุด รองลงมาคือ RSS-3 และ SBR-1502 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในยางเบลนด์ RSS-3/SBR- มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงสูงที่สุด

ตารางที่ 6 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อสมบัติวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ที่แปรชนิดของยางต่างๆ คือ RSS3 ยาง SBR 1502 และยางเบลดนด์ NR/SBR เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

Zinc salts of fatty acid		M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	t_{s1} (min)	t_{c90} (min)	M_H-M_L (dN.m)	CRI
RSS-3	Zn-coconut	3.80	28.23	3.86	9.03	24.43	19.34
	Zn-PFAD	1.92	23.81	4.42	10.29	21.89	17.03
	Ultra flow 700s	2.64	23.79	3.40	8.62	21.15	19.15
SBR-1502	Zn-coconut	5.45	23.68	12.36	31.90	18.23	5.12
	Zn-PFAD	5.96	23.98	11.33	30.92	18.02	5.10
	Ultra flow 700s	7.17	30.24	9.80	23.56	23.07	7.27
RSS-3/ SBR-1502	Zn-coconut	5.70	31.82	7.21	18.09	26.12	9.19
	Zn-PFAD	5.62	32.82	6.62	17.88	27.2	8.88
	Ultra flow 700s	5.60	32.11	6.98	16.94	26.51	10.04

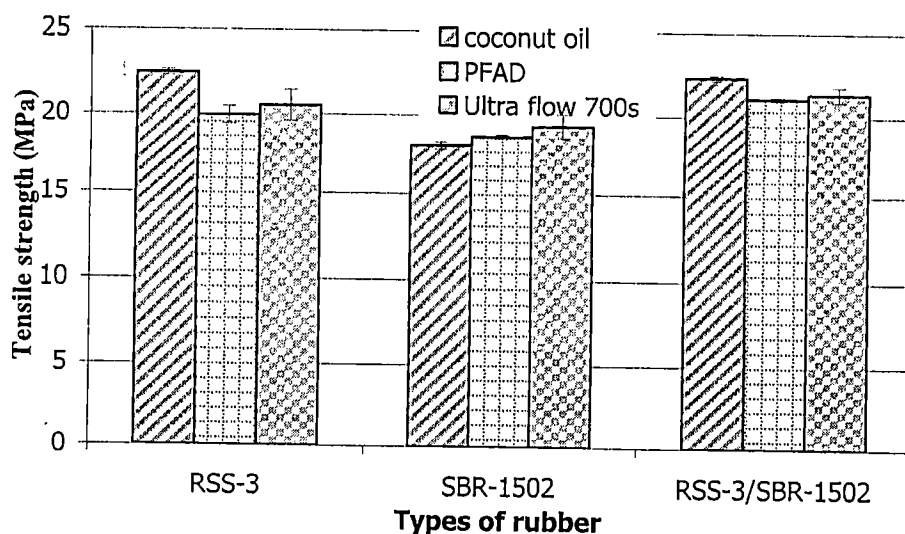
2.5.4.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆผสมซิลิกาโดยแปรชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางชนิดต่างๆที่แปรชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมัน โดยทดสอบสมบัติต่างๆ คือ 300% Modulus, Tensile strength, Elongation at break, Tear strength และ Hardness ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้



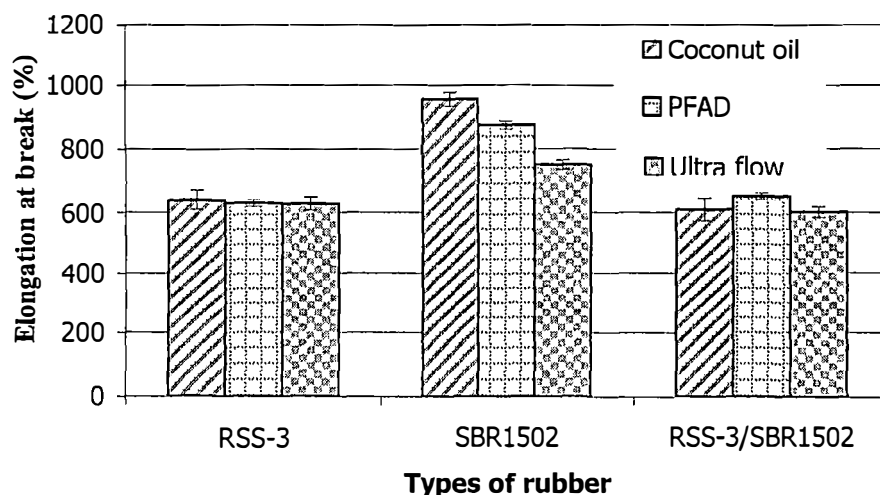
รูปที่ 20 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อ 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ultraflow 700s

จากรูปที่ 20 เป็นค่า 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด โดยแปรชนิดของยาง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทั้ง 3 ชนิด พบว่า ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่า 300% Modulus สูงที่สุด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า M_H-M_L ดังตารางที่ 6 รองลงมาคือ ยาง SBR-1502 และยาง RSS3 ตามลำดับ เนื่องจากยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มาก และมีโครงสร้างสไตรีนในส่วนของยาง SBR-1502 ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่วนในยาง SBR-1502 จะเกิดพันธะเชื่อมโยงในปริมาณต่ำ ทำให้ยางวัลคาไนซ์มีค่าโมดูลัสต่ำกว่ายาง RSS-3 ยกเว้นในกรณีที่ใช้ Ultraflow 700s เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดสารช่วยแปรรูป พบว่า ในกรณียางธรรมชาติ การใช้เกลือสังกะสีของน้ำมันมะพร้าวมีค่า 300 % Modulus สูงที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีของ PFAD และ Ultraflow 700s ตามลำดับ ส่วนยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 พบว่า การใช้ Ultraflow 700s มีค่า 300 % Modulus สูงที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีของน้ำมันมะพร้าว และเกลือสังกะสีของ PFAD ตามลำดับ



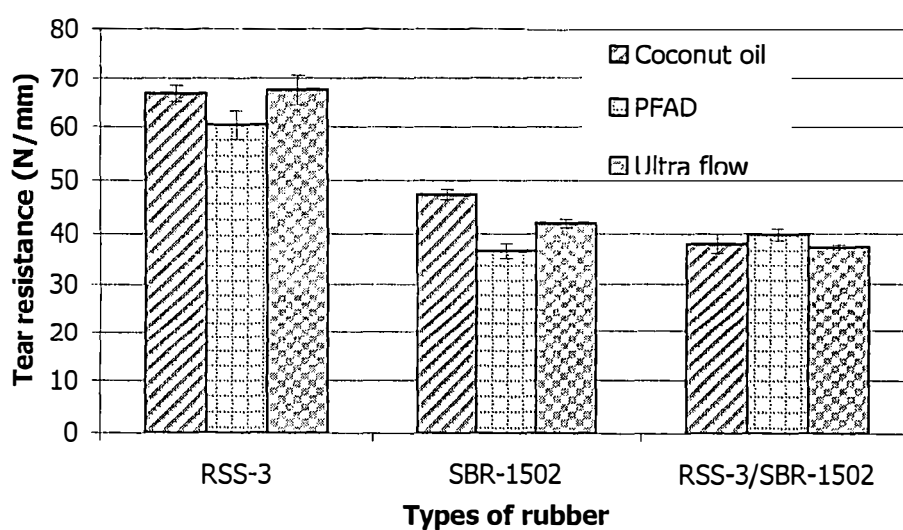
รูปที่ 21 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับการใช้ Ultraflow 700s

จากรูปที่ 21 เป็นความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของยางโดยใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ในยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 ทำให้สมบัติของความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด รองลงมาคือ RSS-3 และ SBR-1502 เนื่องจากยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงสูงที่สุด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า M_H-M_L และค่าโมดูลัส อีกทั้งยางธรรมชาติทั้งในส่วนที่ใช้เดี่ยวๆหรือยางเบลนด์สามารถเกิดผลึกในขณะที่ยืดได้ด้วย ทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น ในกรณีที่ใช้สารช่วยแปรรูปในยาง RSS-3 และ RSS-3/SBR-1502 พบว่า การใช้ การใช้เกลือสังกะสีของน้ำมันมะพร้าวมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด รองลงมาคือ Ultraflow 700s และเกลือสังกะสีของ PFAD ตามลำดับ ส่วนกรณียาง SBR-1502 พบว่า การใช้ Ultraflow 700s ให้สมบัติดังกล่าวสูงกว่าสารช่วยแปรรูปอีก 2 ชนิด



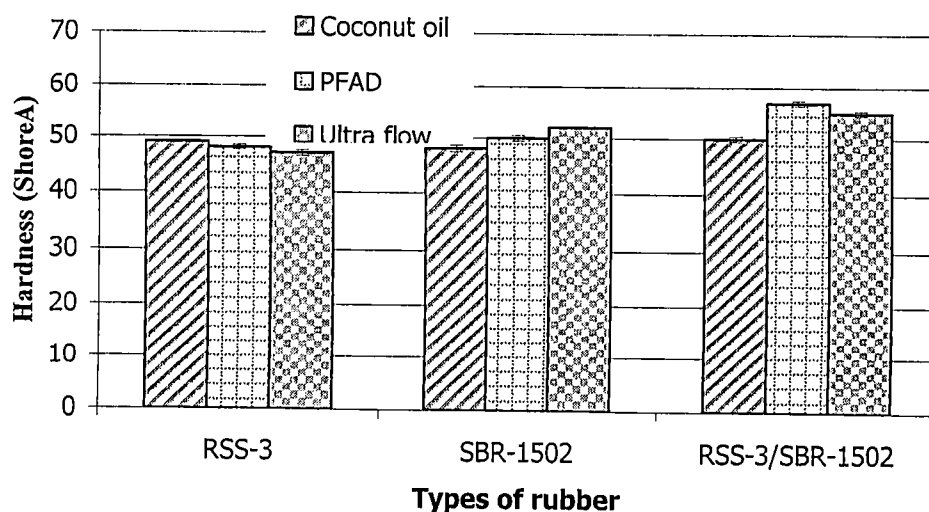
รูปที่ 22 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ Ultraflow 700s

จากรูปที่ 22 เป็นระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของยางที่ใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด ในยาง SBR-1502 มีระยะยืดที่จุดขาดสูงที่สุด รองลงมาคือ RSS-3 และ RSS-3/SBR-1502 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าในยาง SBR-1502 การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีสมบัติดังกล่าวสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ในขณะที่ยาง RSS-3 และ NR/SBR-1502 นั้น พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ให้สมบัติด้านระยะยืดที่จุดขาดใกล้เคียงกัน



รูปที่ 23 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับการใช้ Ultraflow 700s

จากรูปที่ 23 เป็นความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของยางโดยใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า ในยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงที่สุด รองลงมาคือ SBR-1502 และ RSS-3/SBR-1502 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเกิดการตกผลึกเมื่อเกิดการยืด



รูปที่ 24 ผลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ชนิดต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

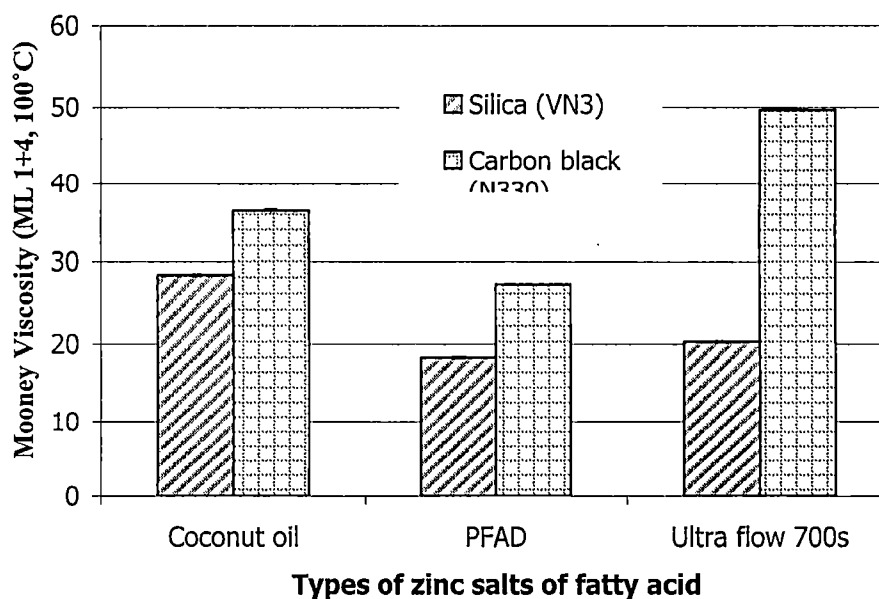
จากรูปที่ 24 เป็นค่าความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์โดยแปรชนิดของยางชนิดต่างๆที่ใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมาคือยาง SBR-1502 และยาง RSS-3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้มากและยังมีโครงสร้างสไตรีนในส่วนของยาง SBR-1502 ทำให้มีความแข็งแรงมาก ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับ M_H - M_L , 300% Modulus, Tensile strength และ Tear resistance

2.5.5 อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากการศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD โดยใช้ปริมาณ 5 phr ในยางธรรมชาติที่ผสมเขม่าดำและซิลิกาเป็นสารตัวเติม โดยเปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s ได้ผลการวิจัยดังนี้

2.5.5.1 ค่าความหนืดของยางคอมปาวด์จากธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูปโดยแปรชนิดของสารตัวเติม

จากการทดสอบความหนืดของยางคอมปาวด์ที่แปรชนิดของสารช่วยแปรรูปในยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติม 2 ชนิดคือ เขม่าดำและซิลิกา ด้วยเครื่อง MV2000 ได้ผลการวิจัยดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อค่า Mooney Viscosity ของคอมเปาต์ที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 25 เป็นค่าความหนืดของยางคอมเปาต์ที่แปรชนิดของสารตัวเติม พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ในยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมซิลิกา มีผลให้ความหนืดต่ำกว่าเขม่าดำ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ทำให้สารตัวเติมซิลิกากระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีขึ้น และเกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD ให้คอมเปาต์ที่ผสมซิลิกามีค่าความหนืดต่ำที่สุด รองลงมาคือ Ultra flow 700s และเกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าว

2.5.5.2 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูปโดยแปรชนิดของสารตัวเติม

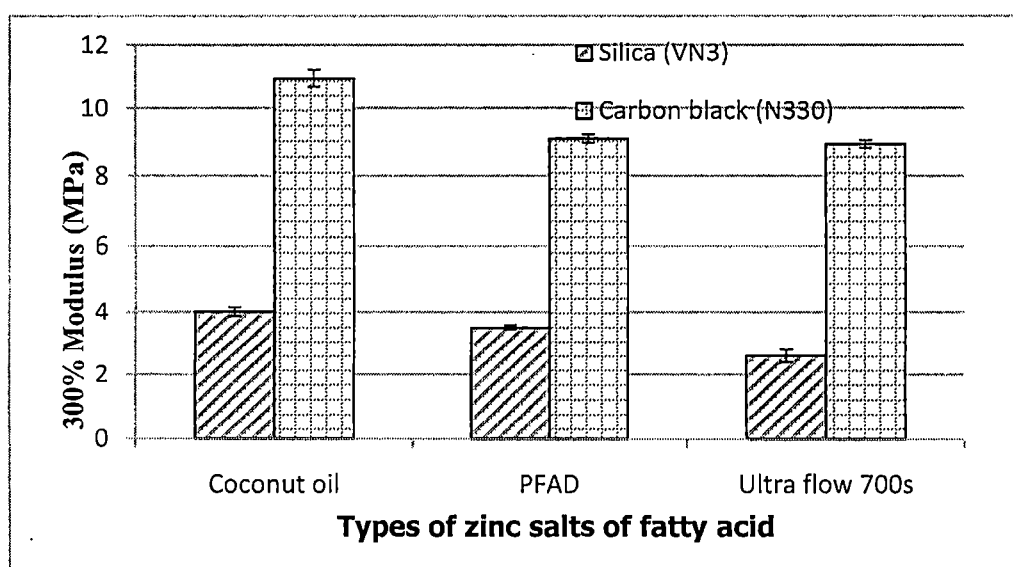
จากการศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s โดยทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วย ODR2000 ที่อุณหภูมิ 160°C ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 เป็นสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่แปรชนิดของสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า การใช้สารตัวเติมซิลิกา ทำให้เวลาสกอชและเวลาวัลคาไนซ์ช้ากว่าเขม่าดำ ทำให้มีอัตราการวัลคาไนซ์ช้ากว่า โดยการใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน ยกเว้นกรณีที่ใช้เกลือสังกะสีจากกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวที่ให้อัตราการวัลคาไนซ์ที่ไม่แตกต่างกัน จากผลต่างของค่าทอร์ก พบว่า การใช้เขม่าดำมีค่า $M_H - M_L$ สูงกว่าสารตัวเติมซิลิกา ทั้งนี้เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารอินทรีย์มีความเข้ากันได้หรือกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีกว่า ในกรณีสารตัวเติมเขม่าดำการใช้ Ultra flow 700s จะให้ค่า $M_H - M_L$ สูงที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีจาก PFAD และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ซิลิกาจะเห็นว่า การใช้เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงสุด

ตารางที่ 7 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อลักษณะการวัดคา-
โนซ์ในยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultraflow 700s

ชนิดสาร ตัวเติม	Zinc salts of fatty acid	M_L (dN.m)	M_H (dN.m)	t_{s1} (min)	t_{c90} (min)	M_H-M_L (dN.m)	CRI
Silica (VN3)	Zn-coconut	3.80	28.23	3.86	9.03	24.43	19.34
	Zn-PFAD	1.92	23.81	4.42	10.29	21.89	17.03
	Ultra flow 700s	2.64	23.79	3.40	8.62	21.15	19.15
Carbon black (N330)	Zn-coconut	3.41	34.10	2.59	7.60	30.69	19.96
	Zn-PFAD	2.99	34.36	2.66	6.68	31.37	24.87
	Ultra flow 700s	5.01	37.03	2.82	6.40	32.02	27.93

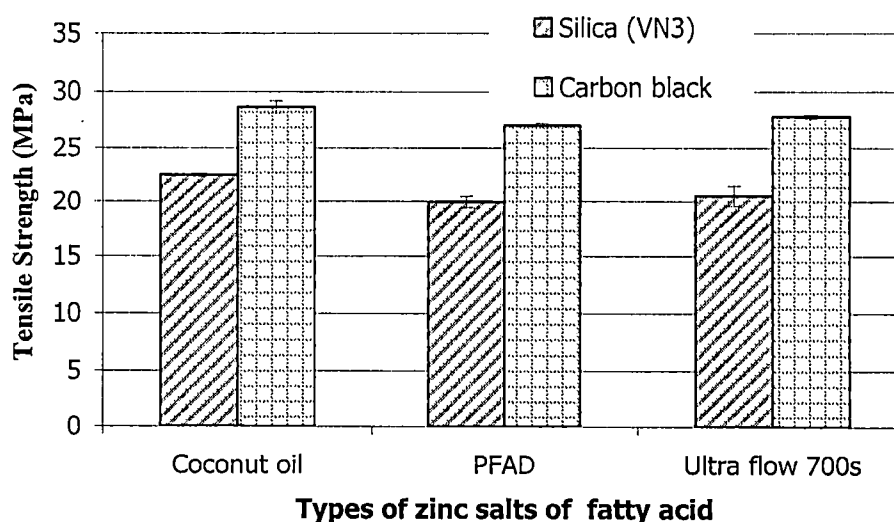
2.5.5.3 สมบัติของยางวัดคาโนซ์จากยางธรรมชาติผสมสารช่วยแปรรูปโดยแปรชนิดของสารตัวเติม
จากการทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม 2 ชนิดคือ เขม่าดำและซิลิกา โดยแปรสาร
ช่วยแปรรูป 3 ชนิด จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ผลการวิจัยดังนี้



รูปที่ 26 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อค่า 300% Modulus
ของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

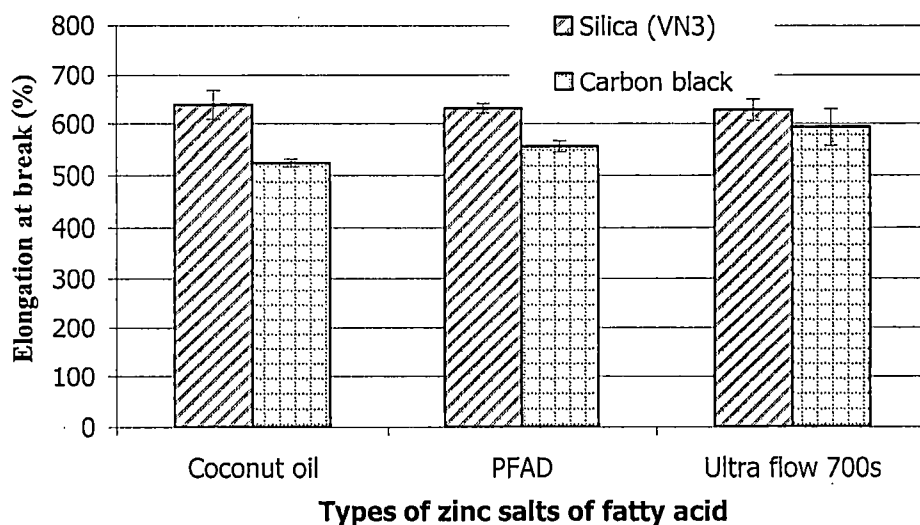
จากรูปที่ 26 เป็นค่า 300% Modulus ของยางวัดคาโนซ์โดยแปรชนิดของสารตัวเติมซิลิกาและเขม่า
ดำ โดยใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD และสารทางการค้าคือ Ultra flow700s

ซึ่งค่าโมดูลัสจะแสดงถึงความแข็งแรงของยาง และการเกิดพันธะเชื่อมโยง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า ยางผสมด้วยเขม่าดำมีค่าโมดูลัสสูงกว่ายางผสมซิลิกา เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารอินทรีย์สามารถเข้ากับยางได้ดีกว่าซิลิกาซึ่งเป็นสารอนินทรีย์จึงมีผลทำให้ค่าโมดูลัสของยางที่ใช้เขม่าดำสูงกว่า รวมทั้งอาจเกิดจากการกระจายตัวในยางได้ดีกว่า เมื่อพิจารณาเกล็ดสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆที่ใช้ในยางที่ผสมซิลิกา พบว่า เกล็ดสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ซึ่งยางที่ผสมเขม่าดำให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเดียวกัน



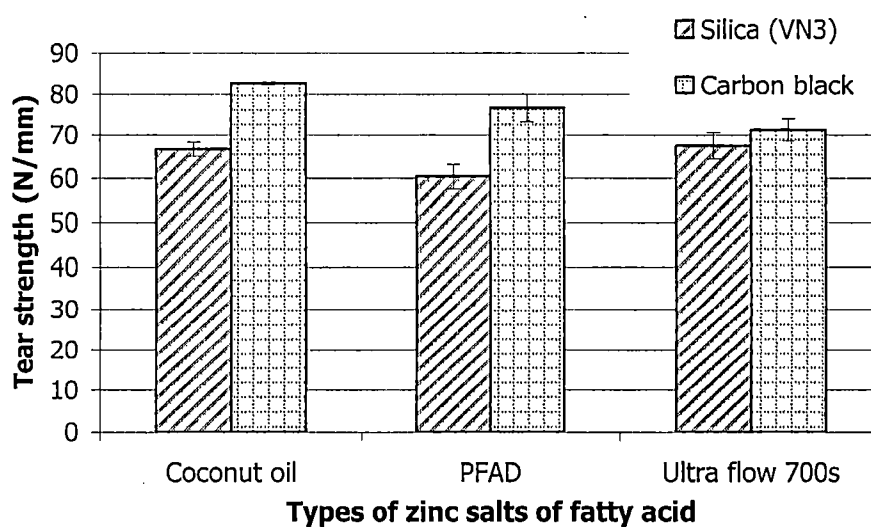
รูปที่ 27 ผลของเกล็ดสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 27 เป็นความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ ที่ใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกา เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารอินทรีย์สามารถเข้ากับยางและกระจายตัวได้ง่ายกว่าซิลิกาซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ เมื่อพิจารณาสารช่วยแปรรูปที่ใช้ร่วมกับสารตัวเติมซิลิกา พบว่า เกล็ดสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด ส่วน PFAD และ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน และยางที่ผสมเขม่าดำให้ผลการทดลองไปในทำนองเดียวกัน



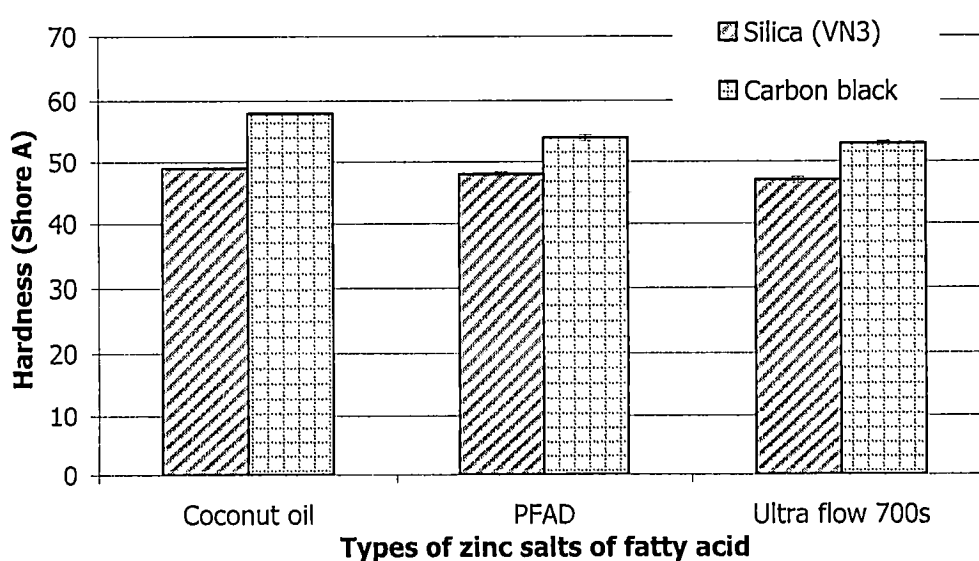
รูปที่ 28 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อระยะยืดที่จุดขาดของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 28 เป็นสมบัตินด้านระยะยืดที่จุดขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำที่ใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด พบว่า ยางที่ใช้ซิลิกามีค่าระยะยืดที่จุดขาดสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ เนื่องจากมีความแข็งแรงต่ำกว่า เกิดพันธะเชื่อมโยงได้น้อยกว่าจึงทำให้มีการยืดออกได้มาก เมื่อพิจารณาชนิดของเกลือสังกะสีของกรดไขมันที่มีผลต่อยางผสมสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า การใช้ Ultra flow 700s ให้สมบัติดังกล่าวสูงที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ส่วนยางที่ผสมซิลิกามีค่าระยะยืดที่จุดขาดที่ใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 29 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 29 เป็นสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดของสารตัวเติม และใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆเป็นสารช่วยแปรรูป เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกา เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารอินทรีย์สามารถเข้ากับยางและกระจายตัวได้ง่ายกว่าซิลิกาซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ เมื่อพิจารณาสารช่วยแปรรูปที่ใช้ร่วมกับสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนในกรณียางผสมซิลิกา พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีสมบัติดังกล่าวน้อยที่สุด ในขณะที่เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 30 ผลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD ต่อความแข็งแรงของยางธรรมชาติผสมเขม่าดำและซิลิกา เปรียบเทียบกับ Ultra flow 700s

จากรูปที่ 30 เป็นสมบัติด้านความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ โดยแปรชนิดของสารตัวเติมและใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันชนิดต่างๆเป็นสารช่วยแปรรูป พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทำให้ความแข็งแรงของยางที่ผสมเขม่าดำมีค่าสูงกว่ายางผสมซิลิกา เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารอินทรีย์สามารถเข้ากับยางและกระจายตัวได้ง่ายกว่าซิลิกาซึ่งเป็นสารอนินทรีย์จึงทำให้ยางที่ผสมเขม่าดำมีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดของสารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆในยางที่ผสมทั้งเขม่าดำและซิลิกา พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีจาก PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ

2.6 สรุปผลการวิจัย

2.6.1 การสังเคราะห์เกลือสังกะสีของกรดไขมัน

สามารถเตรียมเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม กรดสเตียริก และ PFAD โดยทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน 2 ขั้นตอนคือ (1) ทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันหรือน้ำมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) นำเกลือโซเดียมทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตที่อุณหภูมิ 70°C ได้เกลือสังกะสีของกรดไขมันร้อยละ 65-70 จากการวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำมันและกรดไขมันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันและ Ultra flow 700s พบ สัญญาณการดูดกลืนที่เลขคลื่น 1540 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณแสดงว่าเกิดเกลือสังกะสีของกรดไขมัน

2.6.2 อิทธิพลชนิดเกลือซิงค์ของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

การใช้สารช่วยแปรรูปเกลือสังกะสีของกรดไขมันหรือน้ำมันที่สังเคราะห์และทางการค้า ปริมาณ 5 phr ทำให้ความหนืดมูนนี้ลดลง เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้ การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก stearic acid มีค่า Mooney Viscosity สูงสุด รองมาคือ Coconut oil, Ultra flow 700s, PFAD และ Palm oil ตามลำดับ การใช้สารเคมีในกลุ่มเกลือสังกะสีของกรดไขมันทำให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดได้เร็วขึ้น การใช้ Ultra flow 700s เกิดการวัลคาไนซ์เร็วกว่าเกลือสังกะสีของกรดไขมัน เมื่อทดสอบสมบัติของยางวัลคาไนซ์ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าโมดูลัสสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารช่วยแปรรูปและสารทางการค้า พบว่า การใช้ Ultra flow 700s มีค่าโมดูลัสต่ำสุด ส่วนสมบัติด้านการดึง พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดที่จุดขาดและความแข็งแรงสูงสุด โดยที่ใช้ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกับ PFAD สำหรับความต้านทานต่อการฉีกขาด พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทุกชนิดมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้ โดยที่ใช้ Ultra flow 700s มีค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้เกลือซิงค์ของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว

2.6.3 อิทธิพลของปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันพืชและกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมซิลิกา

การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันและกรดไขมันและ Ultra flow 700s ปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดมูนนี้ของยางคอมเพาต์ลดลง ทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมเพาต์ พบว่า เมื่อปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันและ Ultra flow 700s เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า M_H-M_L เพิ่มขึ้น โดยการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว มีค่า M_H-M_L สูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนอัตราการวัลคาไนซ์มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ พบว่า การใช้ปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว PFAD และ Ultra flow 700s เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าโมดูลัสของยางมีค่าลดลง ส่วนสมบัติด้านการดึง พบว่า การเพิ่มปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมัน ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด พบว่า การเพิ่มปริมาณเกลือซิงค์ของกรดไขมันทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางเพิ่มขึ้น โดย

การใช้เกลือซิงค์ของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีค่าน้อยที่สุด สำหรับสมบัติด้านความแข็ง พบว่า การเพิ่มปริมาณเกลือสังกะสีของกรดไขมันและ Ultra flow 700s ทำให้ความแข็งเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

2.6.4 อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ยางเอสปีอาร์ และยางเบลนด์ NR/SBR

การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD มีค่าความหนืดมูนนี้ใกล้เคียงกัน โดยที่ Ultraflow 700s มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี้ของยางคอมปาวด์ชนิดต่างๆ พบว่า การใช้ยาง SBR-1502 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 ยาง RSS-3 ตามลำดับ ทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันทำให้เวลาสกอซ เวลาวัลคาไนซ์ และอัตราการวัลคาไนซ์มีค่าต่างกัน โดยที่การใช้ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่า M_H-M_L มากที่สุดในขณะที่การใช้ยาง SBR-1502 จะให้เวลาสกอซและเวลาวัลคาไนซ์สูงกว่ายางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 และยาง RSS-3 ตามลำดับ ส่วนสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ พบว่า ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่าโมดูลัสสูงสุด รองลงมาคือ ยาง SBR-1502 และยาง RSS-3 ตามลำดับ ส่วนสมบัติด้านการดึง พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด คือ เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว PFAD และ Ultra flow 700s ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงของยาง RSS-3 และ ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนยาง SBR-1502 จะมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ระยะยืดที่จุดขาด พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว, PFAD และ Ultra flow 700s ในยาง SBR-1502 มีค่ามากที่สุด ส่วนยาง RSS3 และ ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 จะมีค่าใกล้เคียงกัน การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ RSS3 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ยาง SBR-1502 และยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 ตามลำดับ สมบัติด้านความแข็งแรงของยางเมื่อใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด พบว่า ยางเบลนด์ RSS-3/SBR-1502 มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมาคือยาง SBR-1502 และยาง RSS-3 ตามลำดับ

2.6.5 อิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อสมบัติยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ

การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิดคือ เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว, PFAD และ Ultra flow 700s ในยางธรรมชาติ พบว่า การใช้สารตัวเติมซิลิกา (Ultrasil VN3) มีค่าความหนืดมูนนี้ต่ำกว่าเขม่าดำ (N330) โดยที่เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีค่าความหนืดต่ำที่สุด รองลงมาคือ Ultra flow 700s และน้ำมันมะพร้าว เมื่อทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันที่สังเคราะห์และ Ultra flow 700s ในยางธรรมชาติผสมซิลิกา ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ช้ากว่ายางผสมเขม่าดำและยางที่ผสมซิลิกามีค่า M_H-M_L ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าว มีค่า M_H-M_L สูงที่สุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนยางที่ใช้เขม่าดำมีค่า M_H-M_L มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ พบว่า ยางผสมเขม่าดำมีค่าโมดูลัสสูงกว่ายางผสมซิลิกา กรณีที่ใช้เกลือซิงค์ของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในยางผสมซิลิกา พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าโมดูลัสสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ การ

ใช้สารช่วยแปรรูปร่วมกับสารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พบว่า การใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด ส่วน PFAD และ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีการใช้เกลือสังกะสีของกรดไขมันของผลสมสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า การใช้ Ultra flow 700s มีค่าระยะยืดที่จุดขาดสูงสุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD และน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ส่วนการใช้สารช่วยแปรรูป 3 ชนิด ในทางผลสมซิลิกามีค่าระยะยืดที่จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกา ในกรณีการใช้สารช่วยแปรรูปร่วมกับสารตัวเติมเขม่าดำ พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงสุด รองลงมาคือ PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ ส่วนยางที่ใช้ซิลิกา พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจาก PFAD มีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวและ Ultra flow 700s มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับสมบัติด้านความแข็ง พบว่า การใช้สารช่วยแปรรูปทั้ง 3 ชนิด ทำให้ความแข็งของยางผลสมเขม่าดำมีค่าสูงกว่ายางผลสมซิลิกา การใช้สารช่วยแปรรูปชนิดต่างๆในทางผลสมทั้งเขม่าดำและซิลิกา พบว่า เกลือสังกะสีของกรดไขมันจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ เกลือสังกะสีจาก PFAD และ Ultra flow 700s ตามลำดับ

2.6.6 สรุปโดยภาพรวม

เกลือหรือสบู่อสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมจากปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 50°C ให้สมบัติการใช้งานที่ใกล้เคียงกับสารช่วยแปรรูปทางการค้า Ultraflow 700S โดยทำให้ยางผลสมสารตัวเติมแปรรูปได้ง่าย ความหนืดลดลง สารตัวเติมกระจายตัวดีขึ้น ทำให้การวัลคาไนซ์เกิดได้อย่างรวดเร็ว ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีความแข็งแรงสูง เกิดปริมาณพันธะเชื่อมโยงได้มาก

สำหรับการใช้งานของสารช่วยแปรรูปที่สังเคราะห์ขึ้น โดยเฉพาะในขั้นตอนการผสมไม่มีความแตกต่างจากสารเคมีทางการค้า ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ เพราะผ่านขั้นตอนการล้างจนมีความเป็นกลาง เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมอินฟราเรดจะเห็นว่าโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกับสารเคมีทางการค้า

2.7 ข้อเสนอแนะ

เตรียมเกลือสังกะสีของกรดไขมัน โดยเน้นจากน้ำมันมะพร้าว และ PFAD โดยขยายสเกลการสังเคราะห์ รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของเกลือสังกะสีของกรดไขมันต่อการกระจายตัวของสารตัวเติมชนิดต่างๆและพฤติกรรมในการผสมให้ครอบคลุมการใช้งานในอุตสาหกรรมยาง

2.8 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลงานวิจัยพบว่า สามารถนำน้ำมันพืชและกรดไขมันที่ได้จากพืชชนิดต่างๆมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์เป็นสารช่วยแปรรูปในอุตสาหกรรมยาง จากการทดสอบให้ผลใกล้เคียงกับสารช่วยแปรรูปทางการค้าคือ Ultraflow 700s การนำน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และ PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) มาใช้ผลิตเป็นสารเคมีดังกล่าวจะเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศและช่วยลดการนำเข้าสารเคมี

ช่วยแปรรูปในอุตสาหกรรมยาง โดยการสังเคราะห์สารช่วยแปรรูปจากวัตถุดิบจากธรรมชาติคือ น้ำมันพืช หรือกรดไขมัน ซึ่งปัจจุบันน้ำมันพืชมีราคาประมาณ 40-50 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนกรดไขมัน PFAD เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม มีราคาประมาณ 20 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนสารตั้งต้นอื่นๆคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์ซัลเฟตเป็นสารเคมีเกรดทางการค้าราคาประมาณ 30 บาทต่อกิโลกรัม โดยสารช่วยแปรรูปทางการค้ามีราคาอยู่ในช่วง 100-200 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนแล้ว พบว่า มีราคาที่ถูกลงกว่าประมาณ 2-3 เท่า ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการนำผลผลิตจากธรรมชาติมาใช้ในอุตสาหกรรม

2.9 เอกสารอ้างอิง

ปรีวัฒน์ พัดยา. 2548. ผลการใช้น้ำมันพืชเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติยางคอมปาวด์. รายงานการวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วินัสรินทร์ อินทร์ติยะ, อุทัย เทพสุวรรณ, ชาคกริต ศิริสิงห์ และพงษ์ธร แซ่ฮุย. 2551. อิทธิพลของสารช่วยในกระบวนการผสมต่อสมบัติของยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอิน. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, ปีที่ 24 ฉบับที่ 1:111-124.

Antony, P. Bhattacharya, A. K. and De S. K., 1999. Ionomeric polyblends of zinc salts of maleated EPDM rubber and poly(ethylene-co-acrylic acid). II. Effect of zinc stearate on processability, J. Appl. Polym. Sci., 71 (8) p. 1257-1265.

Barlow, F.W., 1988. Rubber Compounding: principles, materials and techniques, Marcel Dekker Inc., New York. p. 193.

Dasgupta, S., Agrawala, S.L., Bandyopadhyaya, S., Chakrabortya, S., Mukhopadhyaya, R., Malkanib, R.K. and Ametab, S.C., 2007 Characterization of eco-friendly processing aids for rubber compound, Polymer Testing, 26(4), p. 489-500.

Dasgupta, S., Agrawala, S.L., Bandyopadhyaya, S., Chakrabortya, S., Mukhopadhyaya, R., Malkanib, R.K. and Ametab, S.C., 2008 Characterization of eco-friendly processing aids for rubber compound: Part II, Polymer Testing, 27, p. 277-283

Egbuchunam, T.O., Balkose, D. and Okieimen, F.E., 2007. Effect of zinc soaps of rubber seed oil (RSO) and/or epoxidised rubber seed oil (ERSO) on the thermal stability of PVC plastigel, Polymer degradation and stability, 92(8), p. 1572-1582.

Ismail, H. and Anuar H., 2000. Palm Oil Fatty Acid as an Activator in Carbon Black Filled Natural Rubber Compounds: Dynamic Properties, Curing Characteristics, Reversion and Fatigue Studies, Polym. Test. 19, p. 349-359.

Kundu, P.P., 2000. Improvement of filler-rubber interaction by the coupling action of vegetable oil in carbon black reinforced rubber . J.Appl.Polym.sci., 75, p. 735-739.

Kuriakose, A.P. and Varghese Mohan., 2003. Use of rice bran oil and epoxidized rice bran oil in carbon black-filler natural rubber-polychloroprene blend .J.Appl.Polym.sci., 90, p. 4084-4092.

Moneyppenny, H., Menting, K.H. and Gragg, F.M., 2004. General compounding Handbook, Taylor & Francis, p.12.

Nandanan, V., Joseph, Rani. And George, K.E., 1999. Rubber seed oil : amultipurpose additive in NR and SBR compounds. J. Appl. Polym.sci., 72, p. 487-492.

Wan jun, T. and Donghua, C., 2008. A simple and clean process for the synthesis of $M(C_{17}H_{35}COO)_2$ (M=Zn, Pb), Powder Technology, 181(3), p. 343-346.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 : ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษาหาแนวทางการเตรียมสารช่วยผสมจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชของน้ำมันพืช	1.1 เตรียมสารช่วยผสมชนิดเกล็ดสังกะสีจากน้ำมันพืชและกรดไขมัน	1.1 เตรียมสารเคมี และสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา คือ กรดสเตียริก กรดลอริก Palm fatty acid distillate (PFAD) น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว	1.1 ได้สภาวะและขั้นตอนการทำปฏิกิริยาประกอบด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนคือ (1) ทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันหรือน้ำมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ (2) นำเกล็ดโซเดียมทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตที่อุณหภูมิ 70°C ได้เกล็ดสังกะสีของกรดไขมันร้อยละ 65-70
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมที่เตรียมได้ต่อสมบัติของยางผสมสารเคมี	2.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารช่วยผสมต่อสมบัติของยาง	2.1.1 ศึกษาอิทธิพลชนิดและปริมาณสารช่วยผสมต่อสมบัติของยาง โดยศึกษาสารช่วยผสม 3 ชนิดคือ เกล็ดสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวและ PFAD เปรียบเทียบกับ Ultraflow 700s 2.2.2 แปรปริมาณสารช่วยผสม 3 ชนิด คือ 0, 1, 3 และ 5 phr	2.1.1 การใช้สารช่วยผสมทำให้ความหนืดมูนีลดลง เมื่อใช้ปริมาณมากขึ้น ทำให้ความหนืดลดลงมากขึ้น 2.1.2 การใช้เกล็ดสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวให้สมบัติเชิงกลสูงกว่า Ultraflow 700s
	2.2 ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมในยางชนิดต่างๆ	2.2.1 ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมในยางชนิดต่างๆคือ ยาง RSS-3,	2.2.1 การใช้เกล็ดสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวให้ผลใกล้เคียงกับ Ultraflow

	2.3 ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมในยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมชนิดต่างๆ	NR/SBR1502 (50/50 wt%) และ SBR1502 2.3.1 ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยผสมในยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมชนิดต่างๆ คือ ซิลิกา (VN3) และเขม่าดำ (N-330) โดยใช้ปริมาณ 35 phr	700s ในยางทั้ง 3 ชนิด 2.3.1 การใช้สารช่วยผสมทำให้สารตัวเติมทั้งสองชนิดในยางธรรมชาติเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยที่เกลือสังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวให้ผลใกล้เคียงกับ Ultraflow 700s
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของสารช่วยผสมที่เตรียมได้กับสารเคมีทางการค้า	3.1 เปรียบกับสารช่วยผสมทางการค้า คือ Ultraflow 700s	3.1 ทดสอบสมบัติด้านต่างๆคือ ความหนืดมูนี้ สมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล	3.1 ทราบสมบัติต่างๆเชิงเปรียบเทียบ กับสารช่วยผสมทางการค้า

รายละเอียดการปรับปรุง / แก้ไขรายงานวิจัย

เรื่อง กลีโกลิโกลิของกรดไขมันจากอนุพันธ์ของน้ำมันพืชสำหรับการผสมยาง
 หัวหน้าโครงการวิจัย รองศาสตราจารย์อาชีวิน แกสมาน

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial) - พิมพ์ผิดหลายแห่ง ขอให้ตรวจสอบ เช่น หน้า 7-9, หน้า 30, หน้า 35 และหน้า 43 - หน้า 2 หัวข้อผลการดำเนินงาน บรรทัดที่ 13-14 ประโยคเดียวกันมีคำว่า “พบว่า” 2 คำ ขอให้เรียบเรียงประโยคใหม่ให้ได้ใจความที่ถูกต้อง - หน้า 10 ขั้นตอนที่ 2 นักวิจัยเขียนว่า นำกลีโกลิของกรดไขมันที่เตรียมได้ไปอบที่ 50°C แต่หน้าที่ 11 ในรูปที่ 2 แผนผังการเตรียมกลับระบุว่า อบที่ อุณหภูมิ 60°C และหน้า 16 ก็เช่นกัน - ตารางที่ 1 ตรวจสอบข้อสาร ZnO เขียนไม่ถูกต้อง และในหมายเหตุด้านล่างตารางตรวจสอบด้วยว่า ถูกต้องหรือไม่ - ข้อ 2.4.3.2 และ 2.4.3.5 มี topic เหมือนกัน ข้อ 2.4.3.5 น่าจะเป็นหัวข้อ “อิทธิพลต่อลักษณะการผสม” - รูปที่ 7-11 ชื่อแกน x พิมพ์ผิด - ข้อ 2.5.4.1-2.5.4.3 ชื่อหัวข้อผิด ต้องไม่มีคำว่า “ยางธรรมชาติ” - หน้า 33 บรรทัดที่ 7 พิมพ์ผิด - รูปที่ 21-24 คำอธิบายกราฟแท่งที่อยู่มุมขวาของกราฟถูกกราฟบัง และขอให้ใช้รูปสี่เหลี่ยมเพื่อแสดงความแตกต่างได้ชัดเจน	ตรวจสอบคำผิดทั้งเอกสาร และแก้ไขตามข้อเสนอแนะ แก้ไขตามข้อเสนอแนะ แก้ไขให้ถูกต้องคือ อบที่ 50°C 4.1 แก้ไขข้อสารเคมีในตารางเป็น Zinc oxide 4.2 หมายเหตุใต้ตารางที่ 1 ข้อความถูกต้องแล้ว ตัดหัวข้อ 2.4.3.5 ออก เนื่องจากไม่มีการนำเสนอในผลการวิจัย แก้ไขคำพิมพ์ทุกรูป แก้ไขตามข้อเสนอแนะ แก้ไข เป็น “ยางเบลนด์” แก้ไขรูปทั้งหมดให้ถูกต้อง
ความเห็นด้านวิชาการ ควรเพิ่มเติมรายละเอียดการเตรียมกลีโกลิสังกะสีจากกรดไขมันและน้ำมันพืช (โดยเฉพาะขั้นตอนที่ 1	เพิ่มเติมรายละเอียดในขั้นตอนที่ 1 คือ “โดยนำสารเคมีข้างต้นคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม

มีรายละเอียดน้อยมาก) หากมี reference ควรอ้างถึง reference เพราะไม่มีการระบุ condition ในการเตรียม ส่วนขั้นตอนที่ 2 ยังคลุมเครือไม่ชัดเจน และข้อมูลไม่ตรงกันในหน้า 10-11

2. บทสรุปผลการวิจัยข้อ 2.6 เมื่อสรุปเป็นข้อแบ่งตามปัจจัยที่ศึกษา (2.6.1-2.6.5) แล้ว ควรจะสรุปรวมอีกครั้งว่า เกลือของไขมันชนิดใดที่ดีที่สุด ภายใต้สภาวะใดบ้าง

3. เพิ่มเดิมการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เรื่อง ราคาต้นทุนการผลิต (ระดับ lab scale) ของเกลือโลหะของกรดไขมันที่ศึกษา และราคาที่แตกต่างกันของยางคอมปาวด์ต่อกิโลกรัมที่ใช้ ultraflow 700s และเกลือสังกะสีของน้ำมันปาล์ม, น้ำมันมะพร้าว ฯลฯ

น้ำมันถั่วเหลือง กรดสเตียริก กรดลอริก และ PFAD ปริมาณเท่ากับ 6.67, 8.67, 9.43, 2.84, 2.04 และ 2.42 กรัม ตามลำดับ มาทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.1 mol หรือปริมาณ 4 กรัม ในขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 70°C พร้อมกวนตลอดเวลา เป็นเวลา 15 นาที” และขั้นตอนที่ 2 เพิ่มข้อความ “นำเกลือโซเดียมที่ได้ปริมาณ 5 กรัม ไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลเฟตเข้มข้น 0.15 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร”

เพิ่มหัวข้อ 2.6.6 การสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม และเพิ่มข้อความ “เกลือหรือสบู่สังกะสีจากน้ำมันมะพร้าวที่เตรียมจากปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 50°C ให้สมบัติการใช้งานที่ใกล้เคียงกับสารช่วยแปรรูปทางการค้า Ultraflow 700S โดยทำให้ยางผสมสารตัวเดิมแปรรูปได้ง่าย ความหนืดลดลง สารตัวเดิมกระจายตัวดีขึ้น ทำให้การวัลคาไนซ์เกิดได้อย่างรวดเร็ว ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีความแข็งแรงสูง เกิดปริมาณพันธะเชื่อมโยงได้มาก”

เพิ่มเติมรายละเอียดในหัวข้อการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ข้อความ “โดยการสังเคราะห์สารช่วยแปรรูปจากวัตถุดิบจากธรรมชาติคือ น้ำมันพืชหรือกรดไขมัน ซึ่งปัจจุบันน้ำมันพืชมีราคาประมาณ 40-50 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนกรดไขมัน PFAD เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม มีราคาประมาณ 20 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนสารตั้งต้นอื่นๆคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์ซัลเฟตเป็นสารเคมีเกรดทางการค้าราคาประมาณ 30 บาทต่อกิโลกรัม โดยสารช่วยแปรรูปทางการค้ามีราคาอยู่ในช่วง 100-200 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนแล้วพบว่า มีราคาที่ถูกลงกว่าประมาณ 2-3 เท่า ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการนำผลผลิตจากธรรมชาติมาใช้ใน

4. ควรเปรียบเทียบเชิงความปลอดภัยในการใช้งานระหว่างสารที่สังเคราะห์นี้กับสารที่เป็น commercial 5. การใช้น้ำมัน/processing aid น่าจะศึกษาเรื่องของ dynamic properties ด้วย	อุตสาหกรรม” เพิ่มเนื้อหาในหัวข้อ 2.6.6 การสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม ข้อความ “สำหรับการใช้งานของสารช่วยแปรรูปที่สังเคราะห์ขึ้น โดยเฉพาะในขั้นตอนการผลิตไม่มีความแตกต่างจากสารเคมีทางการค้า ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ เพราะผ่านขั้นตอนการล้างจนมีความเป็นกลาง เมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมอินฟราเรดจะเห็นว่าโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกับสารเคมีทางการค้า” จะดำเนินการวิจัยต่อในกรณีที่ได้รับทุนวิจัยในลักษณะนี้ในอนาคต
--	---