



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การลดต้นทุนและการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติยางรัดของ
Cost Reduction and Improving Production Process and Properties of
Rubber Band

โดย

ผศ. ดร. ชอลา เศวติ และคณะ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

หอจ. ไทยชนรับเบอร์

มกราคม 2549



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การลดต้นทุนและการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติยางรัดของ
**Cost Reduction and Improving Production Process and Properties of
Rubber Band**

โดย

ผศ. ดร. ชลดา เถวีศ และคณะ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

หจก. ไทยชวนรับเบอร์

มกราคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การลดต้นทุนและการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติยางรัดของ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ผศ. ดร. ชลดา เลวิส	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ. ดร. วราภรณ์ ตันรัตนกุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายอิสมะแอณ ถั่วดี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวปัญฑารีย์ ไพศาล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวพนิตา หงษ์พฤกษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายจิระราชย์ ทิพย์วารี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นางสาวนวลนภา ประสาททอง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายมานพ ธรรมโรจน์	หอจก. ไทยชวนรับเบอร์
พนักงานวิจัยและพัฒนา	หอจก. ไทยชวนรับเบอร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และ

หอจก. ไทยชวนรับเบอร์

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชนรับเบอร์ เป็นโรงงานผลิตยางรัดของ มีกลุ่มลูกค้า 80 % เป็นลูกค้าต่างประเทศ เช่น อเมริกา เกาหลี ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป และ 20 % เป็นกลุ่มลูกค้าในประเทศ ปีพ.ศ. 2548 ที่ผ่านมานี้ ราคาของยางธรรมชาติสูงขึ้นมาก หจก. จำเป็นต้องลดต้นทุนในการผลิต เพื่อที่จะสามารถครองตลาดอยู่ได้ การลดต้นทุนและการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติยางรัดของห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชนรับเบอร์ ทำโดยการนำยางสกิมซึ่งมีราคาถูกมาผสมกับยาง STR SL ที่มีคุณภาพดี และทดลองออกสูตรยาง ให้ได้ยางรัดของชนิดยางรัดแก้ว และยางรัดแป้ง ที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก. 886-2532 การนำยางสกิมจากสามแหล่งผลิตมาทดสอบสมบัติยางคิพบว่ายางสกิมจากแหล่งผลิตต่างกัน มีความหนืดหนูนีที่ต่างกันมาก และความหนืดหนูนีของยางสกิมหลายตัวอย่างจากแหล่งผลิตเดียวกันมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ปริมาณ Acetone extraction และปริมาณ Volatile Matter ของยางจากสามแหล่งผลิตมีค่าต่างกันไม่มากนัก ปริมาณไนโตรเจนของยางสกิมทั้งสามแหล่งผลิตมีค่าสูงอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 2.2 % ค่าดัชนีความคงตัวความนิ่มของยางสกิมมีค่าต่ำ และมีค่าแตกต่างกันในระหว่างแหล่งผลิต จากการทดลองออกสูตรเบื้องต้น การทดลองใช้หลักสถิติช่วยในการออกสูตรเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของยางผสมระหว่างยาง STR SL กับยางสกิม และการใช้สารเร่งสองชนิดเสริมกัน และการทดลองออกสูตรและผลิตยางรัดแก้วและยางรัดแป้ง พบว่าจากยางสกิมที่มีสมบัติแปรปรวนตามแหล่งผลิตที่ใช้ ส่งผลต่อสมบัติการแปรรูป การวัลคาไนซ์ สมบัติทางฟิสิกส์ของยางรัดหลังวัลคาไนซ์ ดังนั้นในการนำยางสกิมมาใช้ในแต่ละ lot ควรทำการทดสอบสมบัติของยางสกิมคิก่อนการคอมปาวด์ยางกับสารเติมแต่ง ลักษณะการวัลคาไนซ์ และทดสอบสมบัติหลังการวัลคาไนซ์ให้ผ่านมาตรฐาน ก่อนการผลิตจริงเพื่อช่วยในการควบคุมคุณภาพในการผลิต อย่างไรก็ตามจากการวิจัยพบว่าสามารถออกสูตรยางรัดแก้ว และยางรัดแป้ง โดยใช้ยางสกิมจากต่างแหล่งผลิตที่มีสมบัติยางคิที่แตกต่างกัน แต่ให้ยางรัดที่มีสมบัติอยู่ในมาตรฐาน มอก. 886-2532 แต่แนะนำให้ทำการทดสอบสมบัติยางสกิมคิแต่ละ lot ก่อนการผลิตจริง เพื่อการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ควบคุมการผลิต และควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐานยิ่งขึ้น

บทคัดย่อ

การลดต้นทุนและการปรับปรุงกระบวนการผลิตและสมบัติยางรัดของห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชนวนรับเบอร์ ทำโดยการนำยางสกินซึ่งมีราคาถูกมาผสมกับยาง STR 5L ที่มีคุณภาพดี และทดลองออกสูตรยาง ให้ได้ยางรัดของชนิดยางรัดแก้ว และยางรัดแป้ง ที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก. 886-2532 การนำยางสกินจากสามแหล่งผลิตมาทดสอบสมบัติยางดิบ พบว่ายางสกินจากแหล่งผลิตต่างกัน มีความหนืดมนที่แตกต่างกันมาก และความหนืดมนนี้ของยางสกินหลายตัวอย่างจากแหล่งผลิตเดียวกันมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะยางสกินจากแหล่งผลิตที่มีค่าความหนืดสูง ปริมาณ Acetone extraction และ ปริมาณ Volatile Matter ของยางจากสามแหล่งผลิตมีค่าต่างกันไม่มากนัก ปริมาณไนโตรเจนของยางสกินจากทั้งสามแหล่งผลิตมีค่าสูงอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 2.2 % ค่าครรชนีความคงตัว ความนิ่มของยางสกินมีค่าต่ำ และมีค่าแตกต่างกันในระหว่างแหล่งผลิต เช่นเดียวกับปริมาณโลหะหนักที่พบในยางสกินทั้งสามแหล่ง ยางสกินจากแหล่งผลิตที่มีปริมาณโลหะสูงจะมีค่าครรชนีความคงตัว ความนิ่มของยางสกินต่ำ การทดลองออกสูตรเบื้องต้น ศึกษาผลของอัตราส่วนของยางสกินต่อยาง STR 5L ปริมาณสารตัวเร่ง พบว่าอัตราส่วนของยางสกินที่มากขึ้น ทำให้เวลาวัลคาไนซ์ลดลง การใช้สารตัวเร่งสองชนิดเสริมกันระหว่างสารตัวเร่งกลุ่มไทอาโซลกับกลุ่มไทบูแรม จะทำให้เวลาในการวัลคาไนซ์ลดลง สมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของยางที่ผสมยางสกินในอัตราส่วนสูงมีสมบัติด้านการทนต่อแรงดึงสูงขึ้น การใช้หลักสถิติในการออกสูตรยาง ทำให้ได้สมการเอมไพริคัลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนยางสกินต่อยาง STR5L ปริมาณสารตัวเร่ง MBTS และปริมาณสารตัวเร่ง TMTD จากความสัมพันธ์ที่ได้นำไปช่วยออกสูตรยางรัดแก้ว และศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเติมแต่งต่อสมบัติของยางรัดแก้ว พบว่า การใช้สารหน่วงสามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการเอ็กทруд ทำให้ยางไม่สุกก่อนกำหนดที่หัวคาน์ การใช้หรือไม่ใช้สารกันเสื่อมให้ยางรัดแก้วที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน ชนิดและปริมาณน้ำมันมีผลอย่างชัดเจนต่อสมบัติของยางรัดแก้ว ในการทดลองนี้เลือกใช้ spindle oil ที่ให้สมบัติที่ดีและสีใส สูตรยางที่ได้เมื่อนำไปทดลองผลิตจริงในโรงงานสามารถแปรรูปได้ดี ไม่พบปัญหาการสุกก่อนกำหนด วัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำได้ตามปกติ และได้ยางรัดแก้วที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน

การผลิตยางรัดแป้ง โดยใช้สูตรที่มีอัตราส่วนยางสกินผสมยางSTR5L มากกว่าสูตรยางรัดแก้ว และใช้สารตัวเติมได้มากกว่า สามารถทำได้ โดยที่ความแปรปรวนของยางสกินจากต่างแหล่งผลิตมีผลต่อสมบัติการแปรรูปและสมบัติหลังการวัลคาไนซ์ของยางรัด แต่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การแปรรูปจริงที่โรงงานสามารถทำได้ง่ายกว่ายางรัดแก้ว เนื่องจากการใช้สารตัวเติมที่มากกว่า การวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำได้ยางรัดแป้งที่มีสมบัติผ่านมาตรฐานที่ต้องการ

Abstract

Cost Reduction and improving production process and properties of rubber band at Thai Choan Rubber was carried out by using a low cost rubber grade namely skim rubber mixed with STR5L high quality grade natural rubber. Compound formulations were studied to obtain crepe band and compound band with properties followed the SMA 886-2532. Skim rubber from three producers were used to study the variation of their properties. It was found that different sources gave significant Mooney viscosity values and that various samples from the same source with high Mooney viscosity gave high deviation. Not much difference was found for percentage of acetone extraction and volatile matter among the skim rubbers from the three sources. Nitrogen content of the three source skim rubbers was high in the range of 1.-2.2%. PRI of the skim rubber was low and significant different in value were found among the skim rubber from the three producers. Copper, manganese and ferrous contents were found high in skim rubber from two producers while the low metal content was found in the rubber from producer that obtained high PRI. Primarily rubber compounding study showed that an increase in ratio of skim rubber over STR5L decreased the scorch time and cure time of rubber compound. Using two types of accelerator, Thiazole and Thiuram, reduced the vulcanizing time effectively. After vulcanizing, the vulcanizate properties were improved with an increase in amount of skim rubber. Statistical experimental design namely, response surface methodology, was also used to study the effect of skim rubber:STR5L ratio, amount of MBTS and amount of TMTD on compound vulcanizing behavior. The obtained empirical formulas showing the relationship between the three variable factors enable formulate rubber formula for the crepe rubber band and compound rubber band. The effect of type and amount of additives on crepe band properties was also studied. It was found that using low amount of PVI as a retarder can prevent premature compound with little effect on physical properties of the vulcanizate. With or without using an antioxidant, the crepe band produced aging properties pass the SMA. Type and amount of plasticizer used significantly affected the properties of the crepe band and spindle oil at amount of 5 phr was selected for the crepe band formula as it gave required properties and colour. Manufacturing the resultant laboratory formula at Thai Choan Rubber factory was carried out which resulted in good processing, physical and mechanical properties as standard required. Compound band experimental was also carried out. With a higher amount of skim rubber and filler than crepe band compound, the compound band compound was easier process and variation within producers of raw skim rubber had

little effect on the vulcanizate properties. After manufacturing in the factory, the resultant compound band gave all the properties that pass the desired SMA standard.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชวนรับเบอร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย และขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชวนรับเบอร์ ทุกคนที่มีส่วนร่วมในการพัฒนางานวิจัยนี้ ขอขอบคุณช่างเทคนิค เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่าน ที่ได้กรุณาช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ.....	VI
รายการตาราง	IX
รายการรูป.....	XII
บทที่	
1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย	2
1.3 รายงานผลงานที่มีผู้ทำมาแล้ว	2
1.4 แนวคิดของงานวิจัย	3
2 หลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ขงรัดของ	5
2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขงรัดของ มอก.886-2532.....	6
2.2.1 ขอบข่าย	6
2.2.2 บทนิยาม	6
2.2.3 ประเภท.....	6
2.2.4 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	6
2.2.5 คุณลักษณะที่ต้องการ.....	7
2.2.6 การบรรจุ.....	8
2.2.7 เครื่องหมายและฉลาก	8
2.2.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสินใจ	9
2.2.9 การทดสอบ	10
2.3 ขงธรรมชาติ.....	12
2.3.1 ขงแท่ง STR 5L.....	12
2.3.2 ขงสกิม.....	12
2.3.3 การแปรรูปขงธรรมชาติ.....	13
2.3.4 สมบัติของขงวัลคาไนซ์.....	16

2.3.5 ระบบการวัดค่าไนซ์ของยางธรรมชาติ.....	17
2.3.6 สารวัดค่าไนซ์	20
2.3.7 สารตัวเร่ง.....	23
2.4 การใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง.....	25
3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	32
3.1 วัสดุ.....	32
3.2 อุปกรณ์	32
3.3 วิธีการทดลองและทดสอบ.....	33
3.3.1. วิธีการทดลองและทดสอบ.....	33
3.3.3.1 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน	34
3.3.1.2 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย.....	34
3.3.1.3 การทดสอบดัชนีความอ่อนตัว.....	35
3.3.2 การออกสูตรยางรัคของเบื่องตัน	39
3.3.3 การผลิตยางรัคของประเภทที่ 1 หรือชนิดยางแก้ว	46
3.3.4 การผลิตยางรัคของประเภทที่ 3 หรือชนิดยางแข็ง	52
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	55
4.1 ความแปรปรวนของสมบัติยางสกิมคิบ.....	55
4.2 การออกสูตรยางรัคของเบื่องตัน	62
4.2.1 ผลของอัตราส่วนยาง STR5L:ยางสกิม และสูตรยางต่อสมบัติของยาง	62
4.2.2 ผลของอัตราส่วนยาง STR5L:ยางสกิม ปริมาณสารตัวเร่ง MBTS และสารตัวเร่ง TMTD ต่อสมบัติการวัดค่าไนซ์ของยางโดยใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง	70
4.3 การผลิตยางรัคของประเภทที่ 2 หรือชนิดยางแก้ว	78
4.3.1 ความแปรปรวนของสมบัติของยางรัคแก้วที่ใช้ชนิดของยางสกิมที่ต่างกัน.....	78
4.3.2 ผลของปริมาณสารหน่วง PVI ต่อสมบัติของยาง.....	87
4.3.3 ผลของชนิดและปริมาณของสารกันเสื่อมต่อสมบัติของยาง	92
4.3.4 ผลของชนิดและปริมาณของน้ำมันต่อสมบัติของยาง.....	97
4.3.5 การเอ็กซ์ทรูดยางคอมปาวด์สูตรยางแก้วและวัดค่าไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำ.....	107
4.3.6 การทดลองผลิตยางรัคของชนิดยางแก้วที่โรงงาน	109
4.4 การผลิตยางรัคของประเภทที่ 3 หรือชนิดยางแข็ง	111
4.4.1 ผลของความแปรปรวนของยางสกิมต่อสมบัติการวัดค่าไนซ์และสมบัติของยางรัคแข็ง.	111
4.4.2 ผลของความแปรปรวนของยางสกิมต่อการเอ็กซ์ทรูดยางสูตรยางรัคแข็ง	118
4.4.3 สมบัติของยางคอมปาวด์ยางรัคแข็งใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่างหลังการวัดค่าไนซ์ด้วยไอน้ำ.	127

4.4.4 การทดลองผลิตยางรัดของชนิดยางแข็งที่โรงงาน	128
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	130
5.1 สรุป.....	130
5.1.1 ความแปรปรวนของยางสกิม	130
5.1.2 ผลของอัตราส่วนยาง SKIM/STR5L ปริมาณสารตัวเร่ง MBTS และ TMTD ต่อสมบัติ การวัลคาไนซ์โดยใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง.....	130
5.1.3 การผลิตยางรัดของประเภทที่ 2 หรือชนิดยางแก้ว	130
5.1.4 การผลิตยางรัดของประเภทที่ 3 หรือชนิดยางแข็ง	131
5.2 ข้อเสนอแนะ	132
เอกสารอ้างอิง	133
ภาคผนวก.....	135

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความยาวทบและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	7
2.2 ความกว้างและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	7
2.3 สมบัติทางฟิสิกส์	9
2.4 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด ลักษณะทั่วไปการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก	10
2.5 ความยืดหดสอย	11
2.6 ค่า a ของจำนวนตัวแปรอิสระต่างๆ	28
2.7 จำนวนระดับการแปรปรวนของตัวแปรอิสระ	28
2.8 จำนวนการทดลองของจำนวนตัวแปรต่างๆ	29
2.9 แบบการทดลอง 2 ตัวแปร แปรค่า 5 ระดับ	29
2.10 แบบการทดลอง 3 ตัวแปร แปรค่า 5 ระดับ	30
3.1 สูตรขงคอมปาวด์	39
3.2 สูตรที่ใช้ในการทดลอง	43
3.3 ปริมาณจริงของตัวแปรตามรหัส	44
3.4 จำนวนการทดลองและปริมาณจริงในแต่ละการทดลองของแต่ละตัวแปร	45
3.5 สูตรขงที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาความแปรปรวนของยางสกิน lot ต่างๆ	46
3.6 สูตรขงที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของปริมาณสารหน่วง PVI ต่อสมบัติของยาง	47
3.7 สูตรขงที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่อสมบัติของยาง	48
3.8 สูตรขงที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของชนิดของน้ำมันต่อสมบัติของยาง	49
3.9 สูตรขงที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของยาง	50
3.10 สูตรขงแบ่ง	52
4.1 สมบัติของยางสกินดิบจากแหล่งผลิตต่างๆ	55
4.2 ปริมาณโลหะหนักในยางสกินจากแหล่งผลิตต่างๆ	56
4.3 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 1.1 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	64
4.4 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 1.2 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	64
4.5 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 2 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	65

4.6 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 3 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	66
4.7 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 4 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	66
4.8 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 5 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	67
4.9 ผลของอัตราส่วนของยาง STR 5L: SKIM ในสูตร 6 ต่อสมบัติการทนแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ ก่อนและหลังบ่มเร่ง	68
4.10 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางทั้ง 20 สูตร	71
4.11 แสดงตัวอย่างการคำนวณสมการตามตัวแปร	72
4.12 แสดงผลรวมกับค่าจริงที่ใช้ในสมการ	73
4.13 สัมประสิทธิ์ของตัวแปรของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการวัลคาไนซ์กับ อัตราส่วนของ SKIM/STR5L, ปริมาณสารตัวเร่ง MBTS, TMTD	75
4.14 สูตรยางแก้ว	79
4.15 สมบัติต่างๆของสูตรยางแก้วที่ใช้ยางสกิมต่างกัน	80
4.16 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงฟิสิกส์ของสูตรยางแก้วที่ใช้ยางสกิมต่างกันหลังการบ่มเร่งที่ อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน (168 ชั่วโมง)	85
4.17 สมบัติยางเมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	87
4.18 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติการดึงหลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 168 ชั่วโมง ของ ยางยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	91
4.19 สมบัติยางคอมปาวด์เมื่อทำการแปรปริมาณสารกันเสื่อม	92
4.20 ผลของชนิดของน้ำมันเมื่อใช้ปริมาณ 5 phr ต่อ สมบัติของยาง	97
4.21 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงสมบัติหลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 168 ชั่วโมง ของยางวัลคา ไนซ์เมื่อใช้น้ำมันต่างชนิดกัน	101
4.22 สมบัติของยางเมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	102
4.23 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงสมบัติหลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 168 ชั่วโมง ของยางวัลคา ไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	106
4.24 ลักษณะของยางคอมปาวด์ที่ได้จากการเอกซ์ทรูดที่สภาวะต่างๆ	107
4.25 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางรัดแก้ว ที่วัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำ	109
4.26 สมบัติการวัลคาไนซ์และความหนืดของยางคอมปาวด์ผสมที่โรงงาน	110
4.27 สมบัติยางหลังวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำที่โรงงาน	110
4.28 สมบัติการวัลคาไนซ์ ของยางคอมปาวด์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	111

4.29 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง.....	113
4.30 เปรียบเทียบสมบัติด้านการคึงก่อนการบ่มเร่งและหลังการบ่มเร่ง (Aging) ของยาง วัลคาไนซ์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	116
4.31 ผลของการเอ็กซ์ทรูดของคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม Excell lot 06/48	118
4.32 ผลของการเอ็กซ์ทรูดของคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม Excell lot 21/04/48	119
4.33 ผลของการเอ็กซ์ทรูดของคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม Excell lot 19/04/48	119
4.34 ผลของการเอ็กซ์ทรูดของคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม Hadsin lot 8/03/48	120
4.35 ผลของการเอ็กซ์ทรูดของคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม Hadsin lot 30/03/48	121
4.36 สมบัติการทนต่อการคึงของยางคอมปาวด์ยางรัดแป่งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง หลังการวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำ.....	128
4.37 สมบัติการวัลคาไนซ์และความหนืดของยางคอมปาวด์ยางรัดแป่งผสมที่โรงงาน	129
4.38 สมบัติยางรัดแป่งหลังวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำที่โรงงาน	129

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อุณหภูมิกับประสิทธิภาพในการบดยางธรรมชาติ	14
2.2 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติเนื่องจากการบด (1= ไม่บด ; 2 = บด 2 นาที ; 3 = บด 5 นาที; และ 4 = บด 15 นาที).....	14
4.1 Acetone extraction ของยางสกิมดิบใน lot ต่างๆ	57
4.2 ปริมาณสารระเหยได้ของยางสกิมดิบใน lot ต่างๆ	57
4.3 ML1+4(100 °C) (Mooney viscosity) ของยางดิบใน lot ต่างๆ.....	58
4.4 ค่า torque ของยางสกิม lot ต่างๆ เมื่อบดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60° C ความเร็ว Rotor 30 rpm บดเป็นเวลา 10 นาที	59
4.5 ค่า torque เฉลี่ยของยางสกิม เมื่อบดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60 ° C ความเร็ว Rotor 30 rpm บดเป็นเวลา 10 นาที	59
4.6 ปริมาณไนโตรเจนในยางดิบ lot ต่างๆ	60
4.7 ค่า Po, P30 และ PRI ของยางสกิมดิบใน lot ต่าง	60
4.8 ปริมาณ Cu ในยางสกิม lot ต่างๆ	61
4.9 ปริมาณ Mn ในยางสกิม lot ต่างๆ	61
4.10 ปริมาณ Fe ในยางสกิม lot ต่างๆ	62
4.11 Cure time (TC90) ของการแปรรูปส่วนยาง STR5L:ยางสกิมของสูตรต่างๆ	63
4.12 กราฟเปรียบเทียบค่า Tensile strength ของการแปรปริมาณยางสกิมของสูตรต่างๆ	68
4.13 เปรียบเทียบค่า % Elongation at break ของการแปรปริมาณยางสกิมของสูตรต่างๆ	69
4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า 300% modulus ของการแปรปริมาณยางสกิมของสูตรต่างๆ	70
4.15 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง SKIM/STR5L และปริมาณสารตัวเร่ง MBTS เมื่อสารตัวเร่ง TMTD เท่ากับ 0.25 (รหัส0)	75
4.16 อิทธิพลของอัตราส่วนยาง SKIM/STR5L และปริมาณสารตัวเร่ง TMTD เมื่อสารตัวเร่ง MBTS เท่ากับ 0.40 (รหัส0)	76
4.17 อิทธิพลของปริมาณสารตัวเร่ง MBTS และสารตัวเร่ง TMTD เมื่ออัตราส่วนยาง SKIM/STR5L เท่ากับ 1.00 (รหัส0)	76
4.18 อิทธิพลของปริมาณสารตัวเร่ง MBTS และสารตัวเร่ง TMTD ต่อค่า scorch time, cure time และ ML1+4 เมื่อมีอัตราส่วนยาง SKIM/STR5L 1(สัดส่วน 50/50).....	78
4.19 Mooney viscosity ของยางคอมปาวด์สูตรยางแก้ว โดยแปรชนิดยางสกิม	81
4.20 Scorch time และ Cure time ของยางคอมปาวด์สูตรยางแก้ว โดยแปรชนิดยางสกิม	82

4.21 300%modulus ของยางวัลคาไนซ์สูตรยางแก้วโดยแปรชนิดยางสกิม	82
4.22 Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์สูตรยางแก้วโดยแปรชนิดยางสกิม	83
4.23 %Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์สูตรยางแก้วโดยแปรชนิดยางสกิม	83
4.24 Tension set ของยางวัลคาไนซ์สูตรยางแก้วโดยแปรชนิดยางสกิม.....	84
4.25 ความถ่วงจำเพาะ ของยางวัลคาไนซ์สูตรยางแก้วโดยแปรชนิดยางสกิม	84
4.26 % การเปลี่ยนแปลง 300%modulus หลังการบ่มแรงที่ อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน.....	86
4.27 %การเปลี่ยนแปลง Tensile strength และ %Elongation at break หลังการบ่มแรงที่ อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน	86
4.28 ค่า Mooney viscosity ของยางคอมปาวด์เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	87
4.29 ค่า Scorch time , Cure time ของยางคอมปาวด์ เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	88
4.30 ค่า 300% modulus ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	88
4.31 ค่า Tensile strength ของยางคอมปาวด์ เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI.....	89
4.32 ค่า %Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	89
4.33 ค่า Tension set ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI	90
4.34 ค่าความถ่วงจำเพาะ ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณPVI.....	90
4.35 %การเปลี่ยนแปลง ค่า Tensile strength , %E.B , และ 300% modulus เมื่อทำการแปรปริมาณ PVI และหลังการบ่มแรง	91
4.36 ค่า Mooney viscosity ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ.....	92
4.37 ค่า Scorch time, Cure time ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ	93
4.38 ค่า 300%modulus ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ	93
4.39 ค่า Tensile strength ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ.....	94
4.40 ค่า %Elongation at break ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ.....	94
4.41 ค่า % Tension set ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ.....	95
4.42 ค่าความถ่วงจำเพาะ ของยางคอมปาวด์ที่ใช้ชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่างๆ	95
4.43 %การเปลี่ยนแปลง ค่า Tensile strength , %E.B , และ 300% modulus ที่ใช้ชนิดและปริมาณสาร กันเสื่อมต่างๆหลังการบ่มแรง	96
4.44 ค่า ML1+4 (100°C) Mooney viscosity ของยางคอมปาวด์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ	97
4.45 ค่า Scorch time , Cure time ของยางคอมปาวด์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ.....	98
4.46 ค่า 300%modulus ของยางวัลคาไนซ์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ.....	98
4.47 ค่า Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ	99
4.48 ค่า %Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่าง.....	99
4.49 ค่า %Tension set ของยางวัลคาไนซ์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ	100

4.50 ค่าความถ่วงจำเพาะ ของยางวัลคาไนซ์เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ	100
4.51 %การเปลี่ยนแปลง ค่า Tensile strength , %E.B , และ 300% modulus หลังการบ่มเร่ง เมื่อนำน้ำมันชนิดต่างๆ	101
4.52 ค่า Mooney viscosity ของยางคอมปาวด์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	102
4.53 ค่า Scorch time , Cure time ของยางคอมปาวด์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	103
4.54 ค่า 300% modulus ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	103
4.55 ค่า Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	104
4.56 ค่า %Elongation ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	104
4.57 ค่า %Tension set ของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	105
4.58 ค่า ความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์เมื่อทำการแปรปริมาณ Spindle oil	105
4.59 %การเปลี่ยนแปลง ค่า Tensile strength , %E.B และ 300% modulus เมื่อแปรปริมาณ Spindle oil และหลังการบ่มเร่ง	106
4.60 ปริมาณ Die swell ของท่อยางที่อุณหภูมิการเอ็กซ์ทรูดต่างๆ	108
4.61 ปริมาณ Die swell ที่ความเร็วรอบของสกรูการเอ็กซ์ทรูดต่างกัน	108
4.62 กราฟเปรียบเทียบค่า scorch time (TS1) และค่า cure time (TC90) ของยางคอมปาวด์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	112
4.63 กราฟเปรียบเทียบค่า ML 1+4 (1000 C) ของยางคอมปาวด์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	112
4.64 ค่า 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	114
4.65 ค่า Tensile strength ของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	114
4.66 ค่า %Elongation at break ของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	115
4.67 ค่า % Tension set ของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	115
4.68 ค่าความถ่วงจำเพาะของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	116
4.69 เปรียบเทียบค่า% การเปลี่ยนแปลง Tensile strength และ Elongation at break หลังการบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่าง	117
4.70 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิม Excell lot 06/48 หลังการเอ็กซ์ทรูด ที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็ว 10 rpm	122
4.71 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิม Excell lot 06/48 หลังการเอ็กซ์ทรูด ที่อุณหภูมิ 75 °C ความเร็ว 10 rpm	122
4.72 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิม Excell lot 06/48 หลังการเอ็กซ์ทรูด ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 10 rpm	123
4.73 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิม Excell lot 06/48 หลังการเอ็กซ์ทรูด ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 30 rpm	123

4.74 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกินExcell lot 06/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 50 rpm	124
4.75 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกินExcell lot 21/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 30 rpm	124
4.76 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกินExcell lot 19/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 30 rpm	125
4.77 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิน Hadsin lot 08/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 60 °C ความเร็ว 30 rpm	125
4.78 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิน Hadsin lot 08/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 75 °C ความเร็ว 30 rpm	126
4.79 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิน Hadsin lot 08/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็ว 30 rpm	126
4.80 ลักษณะของยางที่ใช้ยางสกิน Hadsin lot 30/04/48 หลังการเอกซเรย์ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็ว 30 rpm	127

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ยางรัดของเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางพาราเป็นปริมาณมากถึง 25,942 ตัน ในปี พ.ศ. 2544 คิดเป็นร้อยละ 10.25 ของการใช้ยางทั้งหมดภายในประเทศ คิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางพารามากเป็นลำดับที่ 4 รองจากผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับยางล้อ อู่มือยาง และยางยืด ตามลำดับ มูลค่าการส่งออกคิดเป็นร้อยละ 4 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางไทย และจากการสำรวจของสถาบันวิจัยยางในปี พ.ศ. 2545 พบว่ามีโรงงานผลิตยางรัดในประเทศไทยจำนวน 27 โรงงาน [1]

เทคโนโลยีการผลิตยางรัดของ เป็นเทคโนโลยีที่ไม่สูงนัก กระบวนการผลิตใช้การเอ็กทрудยาง ท่อด้วยเครื่องเอ็กทрудแบบป้อนร้อน พ่นแข็งกันติดและสอดท่อเป็นแกนใน ก่อนที่จะนำไปวัลคาไนซ์ ด้วยหม้ออบไอน้ำ หลังจากการวัลคาไนซ์ ถอดเอาท่อออก แล้วจึงนำท่อยางที่ได้ตัดให้เป็นวงยางรัดของ ล้างทำความสะอาดแล้วทำให้แห้ง อย่างไรก็ตามในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ความเชี่ยวชาญในการควบคุมคุณภาพ และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และเกิดของเสียให้น้อยที่สุด

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยชนรับเบอร์ เป็นโรงงานผลิตยางรัดของ (ยางเส้น) ตลอดระยะเวลา 3-4 ปี ที่ผ่านมา ถึงการดำเนินไปด้วยดี ยอดขายต่อปี ประมาณ 30 ล้านบาท อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2547 ที่ผ่านมา ราคาของยางธรรมชาติสูงขึ้นมาก หก. จำเป็นต้องลดต้นทุนในการผลิต เพื่อที่จะสามารถครองตลาดอยู่ได้ การลดต้นทุนในเบื้องต้นที่เห็นชัดคือการใช้ยางพาราเกรดที่มีราคาถูก โดยที่สมบัติของยางรัดของยังเป็นที่ยอมรับได้ ยางเกรดที่มีราคาถูกและน่าจะนำมาใช้ได้คือยางสกิม ซึ่งเป็นวัตถุดิบผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น อย่างไรก็ตามยางสกิมเป็นยางที่มีสมบัติการวัลคาไนซ์ที่ต่างจากยางที่ใช้อยู่ปกติคือยางแท่ง STRSL นั่นคือยางสกิมเป็นยางที่มีช่วงเวลาการแปรรูปที่ปลอดภัยสั้น แต่เวลาในการวัลคาไนซ์ช้า เมื่อนำมาใช้ผลิตยางรัด จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาสูตรยางและกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถนำมาแปรรูปได้ โดยเฉพาะในขั้นตอนของการเอ็กทрудที่ต้องการความปลอดภัยในการแปรรูปสูง นั่นคือยางคอมปาวด์จะต้องไม่เริ่มวัลคาไนซ์ในเครื่องเอ็กทруд นอกจากนี้สมบัติทางฟิสิกส์ของยางรัดของเมื่อใช้ยาง สกิมต้องมีสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ต้องการด้วย ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงสูตรยาง กระบวนการผลิต และการวัลคาไนซ์ยางรัดของ จึงเป็นการพัฒนาและวิจัยที่จะนำมาซึ่งความรู้ความเข้าใจ และความก้าวหน้าในกระบวนการผลิตยางทั่วไปและโดยเฉพาะยางรัดของ ตั้งแต่สมบัติของวัสดุเริ่มต้น การเลือกชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมกับระบบการแปรรูปให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ และได้เทคนิคการเอ็กทруд การวัลคาไนซ์ที่ดี เพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการผลิตให้ดียิ่งขึ้น การพัฒนานี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับบริษัทผู้ผลิตรายอื่นได้ และขยายผลไปถึงการเพิ่มตลาดรองรับภายในและนอกประเทศ นอกจากนี้การใช้ยางพาราในการผลิตยางรัดของ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

2.1 เพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยการปรับสูตรยางใช้ยางธรรมชาติสกินที่มีราคาถูกผสมกับยางแท่ง STR5L

2.2 เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับสูตรยางที่พัฒนาขึ้นมาใหม่และปรับปรุงสมบัติของยางรัดให้ได้สมบัติตามมาตรฐาน มอก.886-2532

1.3 รายงานผลงานที่มีผู้ทำมาแล้ว (Literature Review)

Bristow [2] ศึกษาถึงองค์ประกอบ ลักษณะการวัลคาไนซ์ และสมบัติฟิสิกส์ก่อนและหลังการบ่มเร่ง ของยางแท่งสกิน จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่ายางสกินมีปริมาณทองแดงสูงกว่ายางแผ่นรมควันและยางแท่ง ประมาณ 20 เท่า แต่ปริมาณทองแดงไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า PRI ของยางดิบ ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางสกินมีเวลาสก๊อชสั้นแต่เวลาวัลคาไนซ์ช้ากว่ายางแผ่นและยางแท่ง มีค่าแรงบิดสูงกว่า ได้ยางที่มีมอดูลัส ความแข็ง และความต้านทานต่อแรงดึง สูงกว่ายางแผ่นและยางแท่งปกติ และยังมีสมบัติทนต่อการบ่มเร่งที่ดีกว่า เมื่อผสมยางสกิน 20 ส่วนกับยางแท่งปกติ 100 ส่วน พบว่ามีผลกระทบต่อการวัลคาไนซ์น้อย ความแปรปรวนของสมบัติลดลงเมื่อเทียบกับยางสกินเดี่ยวๆ แต่ไม่มีรายงานของการผสมยางสกินในอัตราส่วนมากกว่านี้ การออกสูตรยางคอมปาวด์ให้มีเวลาสก๊อชที่ยาวเป็นสิ่งที่ต้องการในการแปรรูป โดยปกติอาจใช้สารตัวเร่งชนิดซัลฟิनाไมด์ซึ่งแสดงสมบัติการหน่วงปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ในช่วงเริ่มต้นได้ โดยสามารถนำมาใช้แทนตัวเร่งกลุ่มไฮโอโซล [3-6] เช่นใช้สารตัวเร่งกลุ่ม N-substituted 2-benzothiazole sulfenamide แทนสารตัวเร่ง 2- mercaptobenzothiazole (MBT)

สำหรับยางที่ต้องการวัลคาไนซ์เร็ว โดยเฉพาะต้องการวัลคาไนซ์ยางด้วยหม้ออบไอน้ำ ปกติสูตรยางจะไม่ใช้ตัวเร่งเพียงตัวเดียวแต่จะใช้ตัวเร่งเสริม [7-16] หากใช้ตัวเร่งหลักเป็นกลุ่มไฮโอโซล มักจะใช้ตัวเร่งเสริมกลุ่มไฮยูเรม [17] แต่จะทำให้ความปลอดภัยในการแปรรูปลดลง อย่างไรก็ตาม หากใช้ตัวเร่งหลักเป็นกลุ่มซัลฟิनाไมด์และใช้ตัวเร่งเสริมกลุ่มไฮยูเรม จะทำให้การเริ่มต้นวัลคาไนซ์ช้าลง โดยที่เวลาในการวัลคาไนซ์สมบูรณ์สั้นลง [7] ตัวเร่งกลุ่มไฮยูเรมที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างกว้างขวางคือ tetramethylthiuram disulfide (TMTD) อย่างไรก็ตาม TMTD จะเป็นสารที่สลายตัวให้สารไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง [17-18] จึงมีความพยายามที่จะใช้ตัวเร่งอื่นที่ปลอดภัยในกลุ่มไฮยูเรมมาทดแทน TMTD เช่นการใช้ bis(N-methylpiperazino)thiuram disulfide (MPTD) และ tetrabenzylthiuram disulfide (TBzTD) [17]

ในปีค.ศ. 1968 เริ่มมีการนำ N-cyclohexyl thiophthalimide (CTP) มาใช้เป็นสารหน่วงที่มีประสิทธิภาพในสูตรยางวัลคาไนซ์เร็ว ซึ่งจะช่วยให้ระยะเวลาก่อนการเริ่มวัลคาไนซ์ของยางยาวขึ้น [19] และยังมีรายงานว่าสารประกอบที่มีส่วนประกอบของ bivalent sulfur เชื่อมกับไนโตรเจน สามารถนำมาเป็นสารหน่วงที่มีประสิทธิภาพได้ [20-24] นอกจากนี้ยังมีการพบว่าการดัดแปรตัวเร่งชนิด thiocarbamyl sulfenamides จะได้สารที่แสดงสมบัติของการเป็นตัวเร่งที่เร็วและสารหน่วงที่ดีในขณะเดียวกัน สารดังกล่าวคือ N-cyclopentamethylene thiocarbamyl-N'-(cyclohexyl,thiocyclohexyl) sulfonamide (CPCTS) และ N-oxydiethylene thiocarbamyl-N'-(thiocarbamyl,thiocyclohexyl) sulfonamide (ODCTS) [25]

การออกสูตรยางรัดของขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการ เช่น ออกสูตรให้ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรัดของ มอก. 886-2532 ของกระทรวงอุตสาหกรรม หรือมาตรฐานยางรัดของของประเทศมาเลเซีย MS973:1985 ซึ่งทั้งสองมาตรฐานกำหนดชนิดของยางรัดของออกเป็นสามชนิดคือยางแก้วโมดูลัสต่ำ ยางแก้วโมดูลัสสูง และยางคอมปาวด์สีขุ่น โดยกำหนดสมบัติเชิงกลที่สำคัญคือความทนทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด โมดูลัสที่ระยะยืดกำหนด ความคงรูปหลังดึงการบ่มเร่ง และความหนาแน่น รายงานตัวอย่างการออกสูตรยางรัด [26-27] เช่นการออกสูตรยางแก้วต้องเลือกสารเคมีให้อยู่ในสภาพที่มีดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับยาง หรือใช้ในปริมาณที่สามารถละลายในยางได้ ในกรณีการใช้ซิงค์ออกไซด์ จะต้องใช้ชนิด “active” หรือ “transparent” ในปริมาณที่ไม่มากนัก และมากพอที่จะให้ได้สมบัติความทนต่อแรงดึงที่ต้องการ สารตัวเร่งที่ใช้ต้องไม่ทำให้ยางสกปรกง่าย และควรใช้สารตัวเร่งเสริมตัวเร่งหลักให้วัลคาไนซ์เร็วขึ้น แอนติออกซิแดนท์ควรใช้แบบ non-staining phenolic antioxidants และให้เลือกชนิดที่ป้องกันแสง สำหรับยางแก้วโมดูลัสสูงอาจใช้สารตัวเติมแมกนีเซียมคาร์บอเนตหรือซิลิกา เพื่อปรับให้โมดูลัสสูงขึ้น แต่จะต้องใส่ในปริมาณที่ไม่ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของยางสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ส่วนยางรัดของชนิดสีขุ่นสามารถใช้สารตัวเติมราคาถูกเพื่อลดต้นทุนได้ และเช่นเดียวกันค่าความถ่วงจำเพาะของยางต้องไม่สูงกว่ามาตรฐานกำหนด

จากรายงานที่สืบค้นพบว่ายังไม่มีรายงานการใช้ยางสกิมผสมกับยางแท่งปกติในอัตราส่วนยางสกิมที่สูง และไม่พบรายงานการออกสูตรที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปด้วยเครื่องเอ็กพรู๊ด และการวัลคาไนซ์เร็วด้วยเครื่องอบไอน้ำของยางรัดของที่ใช้ยางสกิม

1.4 แนวคิดของงานวิจัย (Research concept/Design/Invention)

เป้าหมายคือต้องการลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจะเลือกใช้ยางสกิมมาทดแทนยางแท่ง STR5L โดยทำการศึกษาให้สามารถใช้ยางสกิมในอัตราส่วนที่มากที่สุด โดยที่สามารถควบคุมสมบัติให้ได้ตามต้องการ ทั้งสมบัติการแปรรูป สมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล เมื่อใช้ยางสกิมในการผลิตความแปรปรวนของยางสกิมจากแหล่งผลิตต่างกันหรือแม้แต่แหล่งผลิตเดิมจะมีค่อนข้างมาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้แปรรูป การวัลคาไนซ์และสมบัติของยางรัดของ จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงความ

แปรปรวนของสมบัติของยางสกิม เพื่อที่จะสามารถควบคุมสมบัติต่างๆให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากนั้นต้องมาศึกษาถึงระบบการวัลคาไนซ์ของยางเพื่อให้สอดคล้องต่อการแปรรูป ทั้งยังได้สมบัติเชิงกลที่ต้องการ รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดของเสียน้อยที่สุด โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดันท่อยางด้วยเครื่องเอ็กทรูด และการวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำ จากนั้นจึงจะสรุปได้ความรู้ ความเข้าใจและสูตรที่เหมาะสมในการทดลองผลิตจริง และพัฒนาแก้ไขปรับปรุงให้สามารถผลิตจริงในโรงงานได้ต่อไป

บทที่ 2

หลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางรัดของ

การผลิต ยางรัดของที่ผลิตในไทยมี 2 ลักษณะ คือ ยางแก้ว (Crepe Band) และยางแป้ง (Compound Band) ยางแก้วเป็นยางรัดของที่มีคุณภาพดีและราคาแพง ส่วนยางแป้งจะมีคุณภาพที่ด้อยกว่า ประเทศไทยมีการพัฒนาการผลิตยางรัดของมาเป็นเวลานานทำให้สามารถผลิตสินค้าคุณภาพสูง อุตสาหกรรมยางรัดของเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิตถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิต เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้คนงานที่ไม่จำเป็นต้องมีการศึกษาสูงเพราะจะใช้แรงงานเป็นหลัก ยางรัดของนำไปใช้มากในกิจกรรมหีบห่อสิ่งของ เช่น พัสตุไประยณีย์ การมัดสิ่งของ และการห่อของขวัญ

การตลาด การผลิตยางรัดของในประเทศไทยเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นส่วนใหญ่ โดยส่งออกสูงถึงร้อยละ 90 จำหน่ายในประเทศเพียงร้อยละ 10 ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ทั้งปริมาณและมูลค่า ตลาดในประเทศมีการใช้ยางรัดของในประเทศประมาณปีละ 3,000 ตัน โดยมีอัตราการเติบโตในการใช้เพิ่มขึ้นช้ามากคือ เพิ่มขึ้น 500 ตันจากเมื่อ 15 ปีก่อน นอกจากนี้ผู้บริโภคชาวไทยนิยมใช้ยางรัดของเพียง 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 7/8 นิ้ว

การส่งออก ประเทศไทยส่งออกยางรัดของร้อยละ 90 ของผลผลิต โดยส่งออกประมาณ 30,000 ตันต่อปี ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา (ร้อยละ 40 ของการส่งออกทั้งหมด) นอกนั้น การกระจายในตลาดอื่น เช่น ฝรั่งเศส สหราชอาณาจักร ฮองกง และอินโดนีเซีย ซึ่งอินโดนีเซียและศรีลังกามีต้นทุนค่าแรงงานต่ำกว่าไทย

ยางรัดของเป็นวัสดุยืดหยุ่น ที่ยึดต่อเนื่องเป็นวงกลม สำหรับยึดสิ่งของกันไว้ด้วยกัน รูปหน้าตัดอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือผืนผ้า โดยทั่วไปเป็นยางที่มีสี เช่น สีของยางเอง หรือใส่สีตามต้องการ แต่จะไม่ใช้สีดำ ยางรัดของสามารถถูกยืดได้สูงและมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงค่อนข้างสูง [1]

2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรัดของ มอก.886-2532

2.2.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท ขนาดและเกณฑ์ ความคลาดเคลื่อน คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน และการทดสอบยางรัดของ

2.2.2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.2.2.1 ยางรัดของ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นวงใช้สำหรับรัดของ

2.2.2.2 ความยาวทบ (lay flat length) หมายถึง ความยาวที่เป็นครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงภายในของยางรัดของ

2.2.2.3 ความกว้าง (cut-width) หมายถึง ระยะระหว่างผิวรอยตัดของวงยางรัดของ

2.2.2.4 ความหนา (thickness) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างรัศมีภายในกับรัศมีภายนอกของวงยางรัดของ

2.2.3 ประเภท

ยางรัดของแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามสมบัติทางฟิสิกส์ คือ

2.2.3.1.1 ประเภท 1

2.2.3.1.2 ประเภท 2

2.2.3.1.3 ประเภท 3

2.2.4 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

2.2.4.1 ความยาวทบ

หากไม่มีการตกลงกันเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย ความยาวทบและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 2.2.9.1

ตารางที่ 2.1 ความยาวทบและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความยาวทบ มิลลิเมตร	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
15 18 20 25 35	± ร้อยละ 5
40 45 50 60 70	
75 80 85 100 120	
140 160 180 200 225	
250 260 280 300	

2.2.4.2 ความกว้าง

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 2

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 2.2.9.2

ตารางที่ 2.2 ความกว้างและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความกว้าง มิลลิเมตร	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
น้อยกว่า 3	± ร้อยละ 10
ตั้งแต่ 3 ถึง 12	± ร้อยละ 8.5
มากกว่า 12 ขึ้นไป	± ร้อยละ 7

2.2.4.3 ความหนา

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± ร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 2.2.9.2

2.2.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.2.5.1 ลักษณะทั่วไป

ยางรัดของ ต้องไม่มีข้อบกพร่องที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน เช่น รอยฉีก เป็นรูฟองอากาศ มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน เหนียวเกาะติดกัน การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2.2.5.2 สมบัติทางฟิสิกส์

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.3

2.2.6 การบรรจุ

2.2.6.1 ให้บรรจุยางรัดของในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม สามารถป้องกันความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง

2.2.6.2 น้ำหนักสุทธิของยางรัดของ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

2.2.7 เครื่องหมายและฉลาก

2.2.7.1 ที่ภาชนะบรรจุยางรัดของทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(2.2.7.1.1) ชื่อผลิตภัณฑ์

(2.2.7.1.2) ประเภท

(2.2.7.1.3) ขนาด(ความยาว*ความกว้าง*ความหนา)เป็นมิลลิเมตร

(2.2.7.1.4) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(2.2.7.1.5) เดือน ปีที่ทำ

(2.2.7.1.6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

(2.2.7.1.7) ประเทศที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ เพื่อประโยชน์ในการส่งไปจำหน่ายในต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

2.2.7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางฟิสิกส์

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			วิธี ทดสอบ ตาม
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	
1	ความต้านแรงดึง เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	14.7	17.7	15.3	ข้อ 9.3
2	ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	700	700	550	ข้อ 9.3
3	มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 300 เมกะพาสคัล	ไม่เกิน 1.37	1.37ถึง 1.77	ไม่น้อยกว่า 196	ข้อ 9.4
4	ความยืดถาวร (permanent set) ร้อยละ ไม่เกิน	5	8	10	ข้อ 9.5
5	การบ่มแรง				ข้อ 9.6
	-ความต้านแรงดึง เปลี่ยนแปลงจากความต้านแรงดึงก่อนบ่มแรง ร้อยละไม่เกิน	25	25	25	
	-ความยืดเมื่อขาด เปลี่ยนแปลงจากความยืดเมื่อขาดก่อนบ่มแรง ร้อยละไม่เกิน	20	20	20	
6	ความหนาแน่น เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่เกิน	1.0	1.0	1.4	ISO 2781

2.2.8 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสินใจ

2.2.8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ขางรัศของประเภทและขนาดเดียวกัน มีส่วนผสมอย่างเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2.2.8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

2.2.8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบขนาดลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

2.2.8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.4 เพื่อทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก แล้วชักตัวอย่างมา ภาชนะบรรจุละ 3 เส้น เพื่อทดสอบขนาด

2.2.8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4 ข้อ 5.1 ข้อ 6 และข้อ 7 ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 2.4 จึงจะถือว่าขางรัศของรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 2.4 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาด ลักษณะทั่วไปการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 500	8	1
501 ถึง 3200	13	2
3201 ถึง 3500	20	3
35001 ขึ้นไป	32	5

2.2.8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

2.2.8.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่ม จากหลอดขางก่อนที่จะนำมาคัดเป็นขางรัดของจำนวนเพียงพอสำหรับการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

2.2.8.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5.2 จึงจะถือว่าขางรัดของรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.2.8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างขางรัดของต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.1.2 และข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าขางรัดของรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.2.9 การทดสอบ

ให้ทดสอบที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส

2.2.9.1 ความยาวทบ

2.2.9.1.1 เครื่องมือ

เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

2.2.9.1.2 วิธีทดสอบ

ตัดตัวอย่างด้านหนึ่งให้ขาดจากกันวัดความยาวบนผิวด้านในของขางรัดของแล้วหาร ด้วย 2

2.2.9.2 ความกว้างและความหนา

2.2.9.2.1 เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์ที่มีเลนส์อายพีซ (eyepiece) ซึ่งมีสเกลละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

2.2.9.2.2 วิธีทดสอบ

วัดความกว้างและความหนา ตามความยาวของชิ้นทดสอบมีดละ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

2.2.9.3 ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

2.2.9.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นทดสอบรูปคัมเบลล์ ตามความยาวของตัวอย่าง ตามขนาดที่ กำหนดใน ISO 37

2.2.9.3.2 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติตาม ISO 37

2.2.9.4 มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 300

2.2.9.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบตามข้อ 2.2.9.3.1

2.2.9.4.2 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติ ISO 37 ที่ความยืดร้อยละ 300

2.2.9.5 ความยืดถาวร

2.2.9.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบตามข้อ 9.3.1

2.2.9.5.2 วิธีทดสอบ

ให้ปฏิบัติ ISO 2285 โดยใช้ความยืดทดสอบตามตารางที่ 5 คงความยืดนี้ไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้อีก 10 นาที วัดความยาวที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.5 ความยืดทดสอบ

ประเภท	ความยืดทดสอบ
1	ร้อยละ 500
2	ร้อยละ 500
3	ร้อยละ 300

2.2.9.6 การบ่มเร่ง

2.2.9.6.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบตามข้อ 2.2.9.3.1

2.2.9.6.2 วิธีทดสอบ

นำชิ้นทดสอบไปบ่มแรงตาม ISO 188 air-oven method ที่อุณหภูมิ 70 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบความต้านแรงดึง และความยืดเมื่อขาดตาม ISO 37

2.3 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติเป็นยางที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตวัสดุสำเร็จรูปที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ แต่ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางชนิดอื่น และราคายางธรรมชาติยังถูกกว่ายางชนิดอื่นๆ คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติมีดังนี้

1. ความสามารถในการกระดอนดี
2. ค่า compression set ปานกลาง
3. ความต้านทานต่อการซึมผ่านของก๊าซได้ดี
4. ความต้านทานต่อการสึกหรอดีมาก
5. ความต้านทานต่อการฉีกขาดดีมาก
6. ความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกดี
7. ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส ยางจะแข็งตัว

ในที่นี้ยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในการทดลองคือ ยางแท่ง STR 5L และ ยางสีกิม

2.3.1 ยางแท่ง STR 5L

ยางแท่ง STR 5L เตรียมโดยการนำน้ำยางสด มาจับตัวด้วยกรด รีดให้เป็นแผ่น ด้วยเครื่องรีด เกรฟ ขณะรีดมีการชะล้างด้วยน้ำให้สิ่งสกปรกออกไปด้วย ในที่สุดก็ทำการตัดย่อยแผ่นยางให้เป็นเม็ดเล็กขนาดประมาณ 2 - 4 มิลลิเมตร ใส่ลงไปใอ่างน้ำเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำยางดังกล่าวไปใส่ในกระบะ นำไปอบให้แห้งในเตาอบอากาศร้อน แล้วมาอัดให้เป็นแท่งการย่อยยางให้เป็นชิ้นเล็กๆเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากยางจะได้แห้งเร็ว

ยางแท่งที่ทำมาจากน้ำยางมีคุณภาพดีมักจะมีสีขาว และความสกปรกน้อยส่วนยางแท่งที่มีคุณภาพรองลงมา ทำมาจากยางแห้ง เช่น ยางแผ่น หรือ เศษยางติดกันด้วย เป็นต้น

ยางแท่งจัดแบ่งเกรดตามสมบัติ ทางสมบัติที่สามารถทดสอบทางเทคนิคได้ โดยยึดหลักของความสกปรกเป็นหลักมาตรฐานของยางแท่งได้กำหนดใน ISO 2000 โดยกำหนดให้มี 5 เกรด

เฉพาะยางแท่ง 5L และ 5 เท่านั้น ที่ยางเริ่มต้นจะมาจากน้ำยาง เพราะน้ำยางสามารถกรองสิ่งสกปรกออกไปได้ทำให้ปริมาณสิ่งสกปรกในยาง ไม่เกินตามที่กำหนด ส่วนยางแท่งเกรดอื่นจะทำมาจากยางแห้ง

2.3.2 ยางskim (SKIM)

ยางskim คือยางธรรมชาติ ที่เป็นผลพลอยได้จากการทำน้ำยางข้น ทำโดยการนำน้ำยางสด มาปั่น แยกน้ำและอนุภาคเม็ดยางออกจากกัน อนุภาคเม็ดยางส่วนใหญ่ซึ่งเบากว่าน้ำจะแยกออกไปเป็นน้ำยางข้น มีเนื้อยางอยู่ประมาณ 60-63% ที่เหลือเป็นน้ำ ส่วนทางด้านน้ำ ก็จะมีอนุภาคเม็ดยางขนาดเล็กๆปนออกมาด้วยน้ำส่วนนี้จะมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 3-6% เรียกน้ำยางนี้ว่า น้ำยางskim (skim latex) เมื่อนำกรดใส่ลงไปใต้น้ำยางskim จะทำให้ยางแยกตัวออกมา นำยางดังกล่าว ทำการรีดแผ่น ทำให้แห้ง ได้ยางที่เรียกว่า ยางskim

ยางskimมีส่วนประกอบเหมือนกับยางปกติทุกประการ ยกเว้นมีปริมาณไนโตรเจนและปริมาณสารที่ระเหยได้สูงกว่ายางธรรมดาทั่วไป ยางskimมีไนโตรเจนประมาณ 2 % และสารที่ระเหยได้ประมาณ 1.5 % ส่วนยางธรรมดา เช่น ยางเอสทีอาร์ 5 จะมีไนโตรเจนไม่เกิน 0.7 % และปริมาณสารที่ระเหยได้ไม่เกิน 1%

การมีไนโตรเจนในยางสูงทำให้เกิดผลดังนี้

- ก) ยางskimสก็อช เร็วกว่ายางธรรมดาโดยเฉพาะเมื่อวัลคาไนซ์ด้วยสารตัวเร่งที่เป็นกรด
- ข) ยางskimแข็งกว่ายางปกติ
- ค) ยางskimมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่ายางปกติ

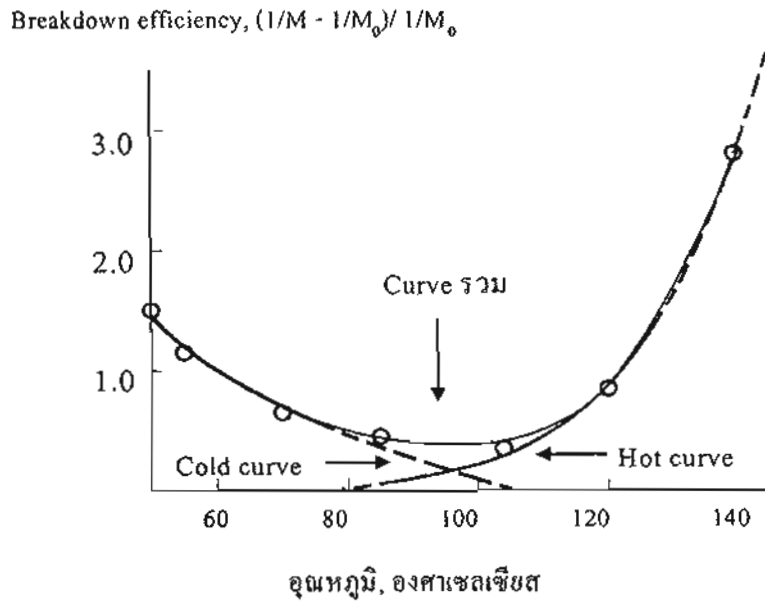
ยางskim มีความสะอาดค่อนข้างสูง มีสีดี สามารถใช้งานทั่วๆไป เพื่อที่จะลดต้นทุน

2.3.3 การแปรรูปยางธรรมชาติ

2.3.3.1 การบดและการผสมสารเคมี

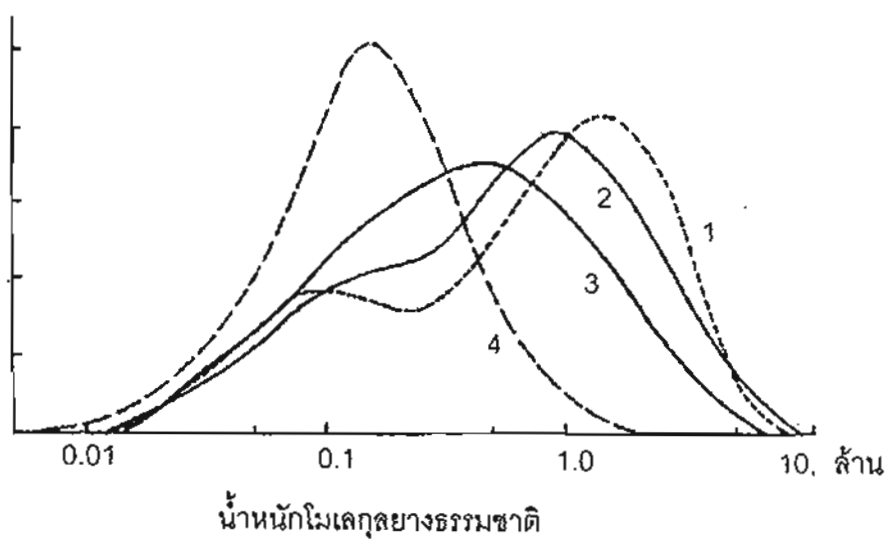
ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และความหนืดของยางธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ดังนั้นยางธรรมชาติจำเป็นต้องมีการบดยางก่อนที่จะผสมสารเคมีอื่นๆ เข้าไป ซึ่งสิ่งนี้เป็นข้อที่เสียเปรียบเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ที่สามารถผสมสารเคมีลงไปได้โดยไม่ต้องบดยางเสียก่อน

ประสิทธิภาพในการบดยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้บดมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อุณหภูมิของการบด ควรจะให้ห่างจากบริเวณที่ประสิทธิภาพต่ำที่สุด (คือใกล้เคียงกับ 100 °C) และการใช้สารย่อยยาง (peptiser) จะช่วยให้การบดยางที่อุณหภูมิสูง มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 อุณหภูมิกับประสิทธิภาพในการบดอย่างธรรมชาติ [28]

การบดอย่างธรรมชาติ แต่ครั้งจะทำให้ขางมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ทำขางนี้ไปลงเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติเนื่องจากการบด (1= ไม่บด ; 2 = บด 2 นาที ; 3 = บด 5 นาที; และ 4 = บด 15 นาที) [29]

ดังนั้นในกระบวนการผลิตใด ๆ ที่มีการบดหรือรีดยางช้า ๆ หลายครั้ง จะทำให้ยางที่ได้มีเนื้อนุ่มเกินกว่าความต้องการ จะก่อให้เกิดปัญหาในการแปรรูปตามมา ดังเช่น

1. สารเคมีที่จะผสมเข้าไปในยางที่นุ่มเกินไป จะกระจายตัวไม่ดี โดยเฉพาะสารเคมีที่ผสมยาก ได้แก่ เชม์คาร์บอไนล์ หรือซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น

2. อากาศจะขังไว้ในยางมาก ไม่อาจรีดออกไปในขณะการรีดแผ่น ก่อให้เกิดรูพรุนของฟองอากาศในแผ่นยางของกระบวนการรีดแผ่น (calendering)

3. ในกระบวนการเอ็กซ์ทรูด จะทำให้ยางห้อยย้อยเสียรูปได้ง่าย

4. การอัดเบ้าจะเกิดอากาศขังไว้ในยางมากเกินไป

การเลือกยางชนิดความหนืดคงที่ อาจจะช่วยป้องกันปัญหานี้ได้บ้างบางส่วน ในกรณีพิเศษที่ต้องการที่จะให้ยางนุ่มมาก ๆ เช่น การนำยางไปทำเป็นสารละลาย และกับการทำยางฟองน้ำ ในกรณีนี้จะต้องบดยางให้นานขึ้นเป็นพิเศษ

ยางธรรมชาติสามารถพันลูกกลิ้งได้ง่ายและเร็ว เกาะติดลูกกลิ้งแน่น ไม่มีปัญหาในการผสมสารเคมีเข้าไปในยางขณะอยู่บนลูกกลิ้ง

2.3.3.2 การรีดแผ่นและการเอ็กซ์ทรูด

ยางธรรมชาติมีการกระจายโมเลกุลกว้าง ทำให้การแปรรูปในการรีดแผ่น และเอ็กซ์ทรูดทำได้ดี ไม่มีปัญหาที่ยางออกมาไม่เรียบหรือขาดเหมือนกับยางสังเคราะห์บางชนิด

2.3.3.3 การวัลคาไนซ์

ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดที่อุณหภูมิสูงดี ทำให้การแกะยางออกจากเบ้าทำได้ง่าย โดยผลิตภัณฑ์จะไม่เสียหายมาก ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องยืดขณะที่ถอดแบบ

ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ได้รวดเร็ว ที่อุณหภูมิปานกลาง เช่นที่ 150 °C เป็นต้น ทำให้สามารถใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ในปริมาณน้อยได้

ยางธรรมชาติเสื่อมได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นไม่ควรจะวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป เช่น วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิสูงเกิน 180 °C เป็นต้น การวัลคาไนซ์ให้สูงเกินไปจะทำให้สมบัติของยางตกลง เช่น ค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง โมดูลัส และความแข็งแรงลดลง เป็นต้น

การวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิสูง เช่น ในกระบวนการฉีดยางขึ้นบ้ำ ควรเปลี่ยนระบบการวัลคาไนซ์ให้ยางทนทานต่อการเสื่อมมากขึ้น เช่น ใช้การวัลคาไนซ์ระบบอีวี เป็นต้น จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

2.3.4 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

2.3.4.1 ความแข็ง

ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ให้มีความแข็งต่าง ๆ กันได้มาก ตั้งแต่นุ่มมาก (เช่น 30-50 IRHD) ไปจนถึงความแข็งของอีโบนี (90+ IRHD) การปรับความแข็งของยางทำได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติม หรือโดยการเปลี่ยนปริมาณกำมะถันในช่วงของการใช้กำมะถัน ปริมาณ 10-20 phr จะให้ยางที่มีความแข็งคล้ายหนัง (leather like)

2.3.4.2 ความทนทานแรงดึง

ยางธรรมชาติมีโครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ ทำให้สามารถตกผลึกได้เมื่อดึง ดังนั้นจึงทำให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงสูง และความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง

ยางธรรมชาติแม้ไม่มีสารตัวเติมยังมีความแข็งแรงสูง ถึงประมาณ 30 MPa ซึ่งสมบัตินี้ทำให้ยางธรรมชาติมีความเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีความบาง นุ่มและแข็งแรงได้ เช่น การทำถุงมือผ่าตัด ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย สายยางบีบ และยางรัดของ เป็นต้น

เนื่องจากยางธรรมชาติ มีความแข็งแรงในตัวของมันเองสูง จึงทำให้สามารถใช้สารตัวเติมราคาถูก เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตและดินขาว เป็นต้น จากการที่ยางธรรมชาติสามารถใช้สารตัวเติมราคาถูกได้ ทำให้ยางธรรมชาติได้เปรียบกว่ายางชนิดอื่นในด้านต้นทุนการผลิต

2.3.4.3 ความสามารถในการยืด

ยางธรรมชาติที่ไม่ใส่สารตัวเติม จะสามารถยืดได้ถึงประมาณ 1000 % หรือมากกว่านั้น ความสามารถในการยืดของยางธรรมชาติจะลดลงตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และตามปริมาณของพันธะวัลคาไนซ์ สมบัติในการยืดได้สูงนี้ ทำให้ยางธรรมชาติสามารถใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดสูง เช่น เส้นยางบีบ ยางรัดของและลูกโป่ง

2.3.4.4 การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ

คุณสมบัติที่เด่นอีกอย่างหนึ่งของยางธรรมชาติ คือ การที่มีความสามารถในการหักงอไปมาได้ แม้อุณหภูมิต่ำ ค่าอุณหภูมิแข็งคล้ายแก้ว (T_g) มีค่า ประมาณ -72°C ดังนั้นจึงทำให้มีความเป็นยางได้ แม้อุณหภูมิต่ำเหนือยางชนิดอื่น ๆ ยกเว้นยางบิวทาไดอินและยางซิลิโคนเท่านั้น

การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจะใช้ได้ในช่วงสั้น ๆ แต่ถ้าเป็นเวลานาน เช่น มากกว่า 1-2 วัน การตกผลึกจะเกิดขึ้น อัตราการตกผลึกจะสูงสุดที่อุณหภูมิ -26°C การใส่น้ำมันลงไปยางธรรมชาติ จะทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำลงไปจากเดิมได้อีก ดังเช่น ยางธรรมชาติชนิด OENR เป็นต้น

2.3.4.5 ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ

พันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยาซึ่งทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็วเมื่อใช้กำมะถันเป็นตัววัลคาไนซ์นั้นก็เป็จุดอ่อนที่ทำให้ถูกโจมตีได้ง่ายด้วยออกซิเจนและ โอโซนโดยทั่วไป ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับงานหลายชนิดที่ต้องการความต้านทานต่อการเสื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูงและมีโอโซนอยู่ด้วย

เพื่อให้ยางมีความต้านทานต่อการเสื่อมดีขึ้นเป็นที่ยอมรับจะต้องใส่สารกันเสื่อมแอนติออกซิแดนท์ และจะใช้สารตัวเร่งประเภทโซล โอปในระยะเวลาสั้นที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไป อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะใส่สารป้องกันการเสื่อมสภาพก็ตาม ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติก็ยังไม่ถึงระดับของยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่

2.3.4.6 ความทนทานต่อความร้อน

การใช้งานของยางธรรมชาติค่อนข้างจะจำกัดในสถานะที่รุนแรงที่มีผลต่ออายุการเสื่อมของยางยางธรรมชาติไม่เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 70 เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นยางบาง ซึ่งพื้นที่สัมผัสกับบรรยากาศเป็นบริเวณกว้างและไม่ใช้ในกรณีที่ต้องยึดยางในบรรยากาศที่มีโอโซนอยู่ด้วย แอนติออกซิแดนท์และแอนติโอโซนเนท์ (รวมทั้งซีฟิง) จะเป็นสารช่วยป้องกันยางธรรมชาติต่อการเสื่อม

การทำให้ยางธรรมชาติทนทานต่อความร้อนดีขึ้น อาจจะต้องทำทั้ง 3 วิธี พร้อม ๆ กันคือ 1.) ระบบและวิธีวัลคาไนซ์ 2.) ระบบสารตัวเติม 3.) ระบบแอนติออกซิแดนท์

ระบบการวัลคาไนซ์แบบอีวี หรือเปอร์ออกไซด์ หรือยูรีเทน จะให้ความทนทานต่อความร้อนดีขึ้น รวมทั้งควรให้วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำลง และให้ยางสุกน้อยลง

2.3.5 ระบบการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ได้หลายระบบด้วยกัน คือ

- 1.ระบบกำมะถันปกติ
- 2.ระบบอีวี
- 3.ระบบเคมีอีวี
- 4.ระบบเปอร์ออกไซด์
- 5.ระบบยูรีเทน

2.3.5.1 ระบบกำมะถันปกติ (Conventional system)

ระบบกำมะถันปกติ เป็นระบบที่มีราคาถูกที่สุดในระบบทั้งหมด แต่ละพันธะเชื่อมไขว่ จะมีกำมะถันอยู่หลายอะตอม (polysulphidic crosslink) จึงให้ยางที่มีสมบัติทางเชิงกล เช่น ความทนทาน

ต่อแรงดึงดี ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านการล้าดี และมีสมบัติในการต้านการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำดีมาก แต่ไม่ต้านสมบัติการ reversion เช่น สมบัติตกลงเมื่ออบสุกเกินไป หรือเสื่อมเนื่องจากการถูกออกซิไดซ์

ส่วนสมบัติในการทนทานต่อความร้อน ด้านการต้านความเสื่อม และสมบัติการจัดตัวเมื่อได้รับแรงอัด (compression set) ของยางจะดีกว่าระบบอื่น ๆ

ตัวอย่าง การใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบนี้ในหน่วย phr เป็นดังนี้

กำมะถัน 2-3.5 และ sulphenamide 0.5-1

กำมะถัน 2-3.5 และ thiazole 0.5-1 หรือ DPG หรือ TMTD 0.1-0.5

กำมะถัน 2-3 และ thiuram หรือ dithiocarbamate 0.3

2.3.5.2 ระบบอีวี (Efficient vulcanizing system)

ระบบนี้ใช้กำมะถันน้อย และสารตัวเร่งมาก หรือใช้ระบบสารให้กำมะถัน ซึ่งทำให้การใช้กำมะถันเชื่อมโยงแต่ละพันธะ มีประสิทธิภาพมาก แต่ละพันธะเชื่อมโยงจะมีกำมะถันอยู่เพียงหนึ่งหรือสองอะตอมเท่านั้น (monosulphidic และ disulphidic crosslink) ทำให้ยางมีสมบัติทางกลดีกว่าการใช้กำมะถันแบบธรรมดา แต่จะให้ยางมีความต้านทานต่อการ reversion ดี สมบัติในการทนทานต่อความร้อนดี และมีสมบัติด้านการเสื่อมเมื่อถูกออกซิไดซ์และมีสมบัติการจัดตัวเมื่อได้รับแรงอัดที่ดี

ตัวอย่างของระบบการวัลคาไนซ์แบบอีวี ได้แก่

ระบบใช้กำมะถันน้อย

กำมะถัน 0.5 + CBS 6

กำมะถัน 0.3 + CBS 3 + TMTD 2 ,ให้ยางที่มีโมดูลัสสูง

กำมะถัน 0.25 + CBS 1.8 + TMTD 1.2 ,ให้ยางที่มีโมดูลัสต่ำ

กำมะถัน 0.7 + MBS 1.7 + TBTD 0.7,ระบบ soluble EV

กำมะถัน 0.6 + MBS 1.1 + Thiocarbonyl sulphenamide 1.1

กำมะถัน 0.6 +DTDM 1.6 + Sulphenamide 1.0

ระบบใช้สารให้กำมะถัน

TMTD 3

DTDM 1.5 + MBTS 2 สำหรับยางที่มีสีจาง , non-copper staining

DTDM 1 + CBS 1 +TMTD 1

MBD 1.5 + CdDMC 1.5

2.3.5.3 ระบบเคมีอีวี (Semi efficient vulcanizing system)

ระบบนี้ใช้กำมะถันและสารตัวเร่งกึ่งกลางระหว่าง การใช้กำมะถันและสารตัวเร่งในระบบปกติ กับการใช้ในระบบอีวี ทำให้สมบัติด้านทางกลและด้านความเสื่อมอยู่ระหว่างสองระบบนี้ ตัวอย่างของระบบการวัลคาไนซ์แบบเคมีอีวี ได้แก่

กำมะถัน 2.0 + Sulphenamide 1.0

กำมะถัน 1.5 + Sulphenamide 1.5

กำมะถัน 1.0 + Sulphenamide 2.0

กำมะถัน 1.2 + Sulphenamide 0.6+ DTD 0.6

กำมะถัน 1.2 +Thiocabamylsulphenamide 1.0

กำมะถัน 1.0 + MBTS 1.0 + zinc dialkylthiophosphate 1.0

2.3.5.4 ระบบเปอร์ออกไซด์

ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ที่มีแอนติออกซิแดนท์ที่เหมาะสม จะให้ยางมีความต้านทานต่ออนุมูลอิสระสูงที่สุดในระบบทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม ระบบเปอร์ออกไซด์จะอบสุกช้า และสก็อตเร็ว ระยะเวลาการอบสุกจะใช้ประมาณ 6 เท่าของอายุครึ่งชีวิต (half life) ของเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้ไม่ไหม้เปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่ ที่จะทำให้ความต้านทานต่อการออกซิไดซ์ของยางเสียไป แต่ต้องระวังเกี่ยวกับการใช้แอนติออกซิแดนท์ เพราะแอนติออกซิแดนท์บางตัวจะทำให้การใช้เปอร์ออกไซด์ไม่ได้ผล ตัวอย่างของแอนติออกซิแดนท์พวกนั้น ได้แก่ p-phenylenediamines เป็นต้น แอนติออกซิแดนท์ที่เหมาะสม ได้แก่ MBI หรือ ZMBI ผสมกับ TMQ และ ZDMC เป็นต้น

เปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ dicumyl peroxide แต่อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วจะมีกลิ่นพิเศษ เปอร์ออกไซด์ตัวอื่นที่อาจจะใช้ได้ คือ bis-(t-butylperoxy-isopropyl benzene) ซึ่งจะอบสุกช้ากว่า

ค่าครึ่งชีวิตของเปอร์ออกไซด์ทั้งสองตัวเป็น ดังนี้

ชื่อเคมี	ชื่อทางการค้า	อายุครึ่งชีวิต (นาที่) ที่	
		160 °C	180 °C
dicumyl peroxide	Dicup	8.7	1.3
bis-(t-butylperoxy-isopropyl benzene)	Percadox 14	12	2

ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ มีความต้านทานตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี และมีสมบัติทางกลด้อยกว่าการใช้ระบบกำมะถันปกติ และยังไม่เหมาะในการวัลคาไนซ์โดยใช้ไอน้ำ หรืออากาศร้อน เพราะสารเปอร์ออกไซด์จะกระตุ้นให้เกิดการออกซิไดซ์ได้

ปริมาณการใช้เปอร์ออกไซด์ ประมาณ 2.5 –3 phr (ไม่ต้องมีซิงค์ออกไซด์หรือกรดสเตียริก ร่วมด้วย)

2.3.5.5 ระบบยูรีเทน

สารวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติชนิดยูรีเทน มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Novor ให้ยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติต้านทานต่อการ reversion ได้ดี ทนความร้อนได้สูง และมีสมบัติทางเชิงกลดี และระบบนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันได้ การปรับอัตราส่วนระหว่างสองระบบนี้ทำให้สามารถปรับคุณสมบัติและราคาค้นทุนได้

ตัวอย่างการใช้สารวัลคาไนซ์ เป็นดังนี้

Novor 924	6.7 (สารวัลคาไนซ์)
ZDMC	2.0 (สารกระตุ้น)
Calcium oxide	3.0 (สารดูดความชื้น)

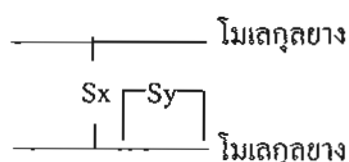
2.3.6 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent)

2.3.6.1 กำมะถัน

โดยทั่วไปยางที่จะวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันต้องเป็นยางที่มีพันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยาตัวอย่าง เช่น ยางธรรมชาติ ยางบิวทาไดอีน ยางเอสบีอาร์ ยางบิวไทล์ ยางไนไตรล์ และ ยางคลอโรบิวไทล์

แต่ถ้ายางมีพันธะคู่และพันธะคู่ไม่ว่องไวในปฏิกิริยา เช่น ยางคลอโรพรีน หรือยางที่ไม่มีพันธะคู่เลย เช่น ยางอีพ็อกซ์ ยางซิลิโคน จะทำให้ไม่สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน

การใช้กำมะถัน จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลหลายลักษณะดังนี้



ในระบบการวัลคาไนซ์ที่มีประสิทธิภาพ จะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบ Sx โดยค่า Sx จะเท่ากับ 1 เป็นส่วนใหญ่ และอาจจะเท่ากับ 2 บางส่วน ส่วนการเชื่อมโยงแบบ Sy นั้นมีน้อยมากหรือไม่มีเลย

ส่วนในระบบการวัลคาไนซ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ การเชื่อมโยงโมเลกุลแบบ โดยค่า Sy อาจสูงถึง 8 พร้อมทั้งมีลักษณะแบบ Sy ด้วย ทำให้ยางที่ได้มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพต่ำ

ชนิดของกำมะถัน

กำมะถันที่ใช้ในยางจะเป็นกำมะถันรูปผลึก (rhombic sulphur) มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 มีเนื้อน้อยกว่าร้อยละ 0.5 และต้องไม่มีกรดปน การคัดขนาดของกำมะถันโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100, 200, 300 เมช ซึ่งใช้ขนาดเมชสูงขนาดอนุภาคยิ่งเล็ก ทำให้การกระจายในยางได้ทั่วถึงดีขึ้น

การละลายของกำมะถันในยางขึ้นกับชนิดของยางด้วย เช่น ยาง และ ที่อุณหภูมิห้อง จะละลายในยางได้ประมาณ 0.8 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำมะถันจะละลายได้มากขึ้น แต่มีข้อเสียคือ เมื่อตั้งทิ้งไว้กำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะตกผลึกออกมาที่ผิวยางเรียก “bloom” (อาจจะก่อให้เกิดปัญหาทำให้รอยต่อระหว่างชั้นของยางอาจจะติดกันได้ไม่สนิท) การแก้ปัญหาคือ bloom ของกำมะถันอาจทำได้โดยใช้กำมะถันไม่ละลาย (insoluble sulphur) หรือผสมกำมะถันเข้าไปที่อุณหภูมิต่ำ

ปริมาณกำมะถัน

ปริมาณกำมะถันในยางจะมีผลต่อสมบัติของยาง ถ้ายังเพิ่มปริมาณขึ้นการ crosslink จะเพิ่มขึ้นสมบัติของยางเช่น Tensile Strength ความแข็ง โมดูลัส Elongation at Break และความกระด้างตัว ก็จะไปเปลี่ยนไปตามปริมาณ crosslink

ปริมาณกำมะถันตั้งแต่ 0-5 phr ยางจะยังมีสภาพยืดหยุ่นได้ (soft rubber)

ปริมาณกำมะถันตั้งแต่ 5-15 phr ยางจะมีลักษณะคล้ายหนังยืดได้น้อยลง (leather-like state)

ปริมาณกำมะถันมากกว่า 15 phr ยางจะแข็ง (hard rubber)

ฉะนั้น จะเห็นได้ว่าปริมาณกำมะถันที่ใช้ไม่เกิน 5 phr ทำให้ยางยังคงมีคุณสมบัติยืดหยุ่นอยู่ ถ้าพิจารณาปริมาณกำมะถันในช่วงดังกล่าวแล้วจะพบว่าปริมาณกำมะถันที่ให้ค่าสมบัติด้าน T.S., E.B., Compression set ความแข็ง ความกระด้างตัวดี จะใช้กำมะถันไม่เกิน 2.5 phr แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ด้วย

เทคนิคการใส่กำมะถัน

กำมะถันที่จะใส่เข้าไปในยางนั้นจะต้องมีขนาดเล็ก คือต้องผ่านตะแกรง 100 เมชขึ้นไป และการใส่มักจะใส่ครั้งสุดท้ายในจำนวนสารเคมีทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการ cure ก่อนกำหนด แต่ยางบางอย่างเช่น ยางไนไตรล์ ซึ่งกำมะถันกระจายในยางได้ไม่ดี จำเป็นต้องใส่กำมะถันเข้าไปตั้งแต่เริ่มต้นเพื่อช่วยให้เวลาในการกระจายเพิ่มขึ้น หรือบางครั้งอาจใช้ MC-sulphur แทนกำมะถันธรรมดา แต่ในกรณีนี้ต้องใส่ตัวเร่งครั้งสุดท้าย ปกติยางเมื่อใส่กำมะถันแล้วต้องทำให้ยางที่ผสมสารเคมีแล้วเย็นเร็วที่สุด เพื่อลดการ cure ก่อนกำหนด ซึ่งทำให้เกิดการ scorch

2.3.6.2 สารให้กำมะถัน (sulphur donor)

สารเหล่านี้มีกำมะถัน เป็นองค์ประกอบ และเมื่อสลายตัวจะให้กำมะถันออกมาที่อุณหภูมิของการวัลคาไนซ์ กำมะถันที่ได้ จะไปทำให้เกิดการวัลคาไนซ์

ข้อดีของการใช้สารให้กำมะถัน

1. กำมะถันที่ได้ออกมามีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลสูงมาก
2. ไม่เกิดปัญหาการเคียวก่อนกำหนด (scorch)
3. ไม่เกิดปัญหา sulphur blooming
4. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้สารให้กำมะถันจะมีสมบัติในการทนทานต่อการเสื่อมสภาพที่

อุณหภูมิสูงได้ดี

ข้อเสียของการใช้สารให้กำมะถัน คือ สารเคมีเหล่านี้มีราคาแพงกว่ากำมะถันมาก

2.3.6.3 สารเปอร์ออกไซด์ (peroxide)

สารเปอร์ออกไซด์ใช้วัลคาไนซ์ยางได้เกือบทุกชนิด แต่มีความสำคัญในการวัลคาไนซ์ยางที่ไม่มีพันธะคู่ สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้กับยางในปัจจุบัน คือ สารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ (organic peroxide) ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น $R-O-O-R$ แบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. เปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิก
 - aliphatic ได้แก่ diacetylperoxide
 - aromatic ได้แก่ dibenzoylperoxide
2. เปอร์ออกไซด์ที่ไม่มีหมู่คาร์บอกซิลิก
 - aliphatic ได้แก่ di-tert-butyl peroxide
 - aromatic ได้แก่ dicumylperoxide

ข้อดีของการใช้สารเปอร์ออกไซด์

1. ยางมีสมบัติไฮโปริงแสง ซึ่งถ้าใช้กำมะถัน ยางจะขุ่น
2. compression set ต่ำ
3. ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนดี
4. ไม่มีปัญหาการ bloom

ข้อเสียของการใช้สารเปอร์ออกไซด์

1. ราคาแพงกว่าการใช้กำมะถัน
2. กลิ่นของเปอร์ออกไซด์บางตัวแรง
3. ยางที่ได้มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าการใช้กำมะถัน
4. สมบัติเชิงฟิสิกส์อื่น ๆ ต่ำกว่าการใช้กำมะถัน เช่น ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอ เป็นต้น

2.3.6.4 โลหะออกไซด์

ใช้สำหรับการวัดคาบในซิงโครตรอน โดยใช้ ZnO ผสมกับ MgO เป็นต้น

2.3.7 สารตัวเร่ง (Accelerator)

เป็นสารที่ช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาการวัดคาบในซิงโครตรอนของยางเร็วขึ้น ใช้สำหรับระบบของการวัดคาบในซิงโครตรอน

ประเภทของสารตัวเร่ง

แบ่งหมวดหมู่ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีและความสามารถในการเร่งเป็น 6 กลุ่มจากเร็วไปช้า ดังนี้

1. Xanthates

1.1 Sodium isopropylxanthate(SIX)

1.2 Zinc isopropylxanthate (ZIX)

1.3 Zinc butylxanthate (ZBX)

เป็นตัวเร่งที่เร่งปฏิกิริยาได้เร็วสูงมาก ไม่สามารถใช้ในยางแข็ง เพราะจะทำให้เกิดการ scorch ในระหว่างการบดผสม หรือเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดการ scorch เช่นกัน ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมน้ำยาง

2. Dithiocarbamate

จัดเป็นตัวเร่งที่เร่งปฏิกิริยาได้เร็วสูง

2.1 Ammonium salt of dithiocarbamic acid เช่น N-pentaethylene ammonium-N'-pentaethylene dithiocarbamate (PPD), N-cyclohexyl ethyl ammonium-N'-cyclohexyldithiocarbamate

ยางที่ใช้ตัวเร่งชนิดนี้ เมื่อมีกำมะถันอยู่ด้วย ถ้านำมาบดในเครื่องบดผสมสารเคมี จะเกิดการคงรูปก่อนกำหนด (scorch) บนเครื่อง หรือเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเกิดการ scorch ภายใน 24 ชั่วโมง

การใช้งานทั่วไปจะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่มแบบพิมพ์ โดยจุ่มแบบพิมพ์ลงในสารละลายยางที่ผสมสารเคมีแล้วจึงจุ่มในสารละลายสารตัวเร่ง

2.2 sodium salt of dithiocarbamic acid เช่น sodium-N-cyclohexyldithiocarbamate, sodium diethyldithiocarbamate (SDC)

อัตราเร็วของการวัดคาบในซิงโครตรอนต่ำกว่าพวกแรก ตัวเร่งเหล่านี้ ละลายได้ดีในน้ำ ส่วนใหญ่ใช้在水ยาง

2.3 Zinc salt of dithiocarbamic acid เช่น Zinc diethyldithiocarbamate (ZDC), Zinc ethyl phenyl diethyldithiocarbamate

เป็นตัวเร่งชนิดที่สำคัญที่สุดในกลุ่มนี้ สารกลุ่มนี้จะเร่งปฏิกิริยาช้ากว่าพวกแรก ทำให้สามารถใช้ในยางแห้งได้ด้วย

3. Thiuram sulphides

3.1 Tetramethyl Thiuram monosulphide (TMTM) เป็นตัวเร่งความเร็วสูงปานกลาง สามารถใช้กับยางแห้งได้

3.2 Tetramethyl Thiuram disulphide (TMTD)

3.3 Tetraethyl thiuramdisulphide (TETD)

3.4 Dipentamethylene thiuramtetrasulphide (DPTS)

ในจำนวนตัวเร่งทั้ง 4 ตัวนี้ TMTM และ TMTD เป็นตัวเร่งที่นิยมใช้มากที่สุด

สำหรับ Thiuram disulphide เช่น TMTM หรือ TMTD ถ้าใช้ปริมาณเล็กน้อย เช่น 0.5 phr ร่วมกับกำมะถัน 2.0-2.5 phr แล้วปริมาณนี้ถือว่าเป็นตัวเร่ง แต่อีกกรณีหนึ่งคือ ใช้ 3.0 phr และเติมกำมะถันลงไปเล็กน้อย เพื่อการวัลคาไนซ์ดำเนินไปเร็วขึ้น และยางที่ได้มีค่าโมดูลัสสูง ระบบการวัลคาไนซ์แบบนี้เรียกว่า Low-sulphur หรือ EV-cure (Efficient vulcanizing system) คือเป็นการใช้กำมะถันอย่างมีประสิทธิภาพ การเชื่อมโยงโมเลกุลเป็นแบบ S_x โดยที่ $x=1$

4. Thiazole

4.1 2-Mercaptobenzothiazole (MBT)

4.2 Dibenzothiazyl disulfide (MBTS)

4.3 Zinc salt of 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT)

ประกอบด้วย 2-Mercaptobenzothiazole และอนุพันธ์ของสารนี้ เป็นกลุ่มของสารตัวเร่งที่มีความเร็วสูงปานกลาง มีความปลอดภัยในขณะการผลิตมากกว่า กล่าวคือ เกิดการ scorch ช้ากว่าการวัลคาไนซ์ อาจใช้เครื่องอัดรีดน้ำ หรืออากาศร้อนก็ได้ พวกโรอาโซลมีรสขม จึงไม่อาจใช้เป็นสารตัวเร่งในยางที่ต้องสัมผัสกับอาหาร

5. Sulphenamide

5.1 N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide (CBS)

5.2 N-oxydiethyl-2-benzothiazyl sulphenamide (NOBS)

5.3 N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulphenamide (TBBS)

ซัลฟีนามีคเกิดจากการรวมตัวของ MBT กับเบส เป็นตัวเร่งประเภท Delay action คือมี scorch time ยาวกว่า เพราะเมื่อซัลฟีนามีคได้รับความร้อนจะแตกตัวออกให้ MBT กับเบส ออกมา ระยะเวลาที่จะแตกตัวทำให้เกิด ซึ่งถ้า MBT กับเบส บิดกันแน่น ก็ยิ่งทำให้ Delay action ยาวมากขึ้น เมื่อแตกตัวแล้ว MBT เป็นตัวเร่งให้เกิดการวัลคาไนซ์และเบสจะเป็นตัวกระตุ้นให้การทำงานเร็วขึ้น

6. Guanidine

6.1 Diphenyl guanidine (DPG)

6.2 di-o-tolyl guanidine (DOTG)

6.3 o-tolyl biguanide

เป็นกลุ่มตัวเร่งที่ช้า อัตราเร็วในการ scorch จากเร็วไปช้า เป็นดังนี้

DPG > DOTG > o-tolyl biguanide

เหมาะสำหรับยางหนาเพราะต้องเคี่ยวนาน ไม่เกิด over cure ง่าย ยางที่ได้มีค่าโมดูลัสสูง หรือใช้เป็น secondary accelerator ร่วมกับสารตัวเร่งกลุ่มอื่น เช่น Thiazole ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพ ดีกว่าการใช้ตัวเดี่ยว ๆ

อัตราเร็วในการเคี่ยวยาง สำหรับสารตัวเร่งโดยทั่วไป เรียงลำดับได้ดังนี้

Xanthates > Dithiocarbamate > Thiuram sulphides > Thiazole > Sulphenamide > Guanidine

สารตัวเร่งที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

1. cure เร็ว
2. มีความว่องไวในการเร่งให้เกิดการ crosslink สูง
3. ละลายได้ในยาง (ไม่มีการbloom กระเจายาคี)
4. delayed action (มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต)
5. สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อม (ในรูปเดี่ยว ๆ หรือผสมกับยางแล้ว)
6. ให้ flat cure (ไม่เกิด reversion โดยเฉพาะในยางธรรมชาติ)
7. ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง
8. เข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่นๆที่ใส่เข้าไปในยาง
9. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้
10. ไม่ทำให้ผลเสียต่อสมบัติอื่น ๆ เช่นการตั้งทิ้งไว้

2.4 การใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง

โดยทั่วไปการทดลองมีเป้าหมาย 2 ประการ คือ อาจทำเพื่อหาค่าอธิบายหรือเพื่อการทำนาย เช่น ตัวเติมชนิดนี้มีผลต่อความทนต่อแรงดึงอย่างไร หรือตัวเร่ง ก กับ ตัวเร่ง ข เสริมซึ่งกันและกันหรือไม่การทดลอง เช่นนี้เป็นการทดลองเพื่อต้องการคำอธิบาย ส่วนการทดลองเพื่อการทำนายอาจมีลักษณะทำนองนี้ เช่น จะต้องใช้ตัวเติมกี่เปอร์เซ็นต์จึงจะได้ความแข็ง 70 IRHD จะตั้งเครื่องอย่างไรจึงจะได้ผลผลิตสูงสุด เป็นต้น

จะเห็นว่าการทดลองเพื่อออกสูตรยาง เป็นการทดลองที่มีตัวแปรมาก บางตัวเป็นอิสระจากกัน แต่หลายตัวมีปฏิริยาเสริมหรือหักล้างกัน ซึ่งหากทำการทดลองแบบFactorial โดยแปรทีละตัวจะต้องทำการทดลองจำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย เช่น

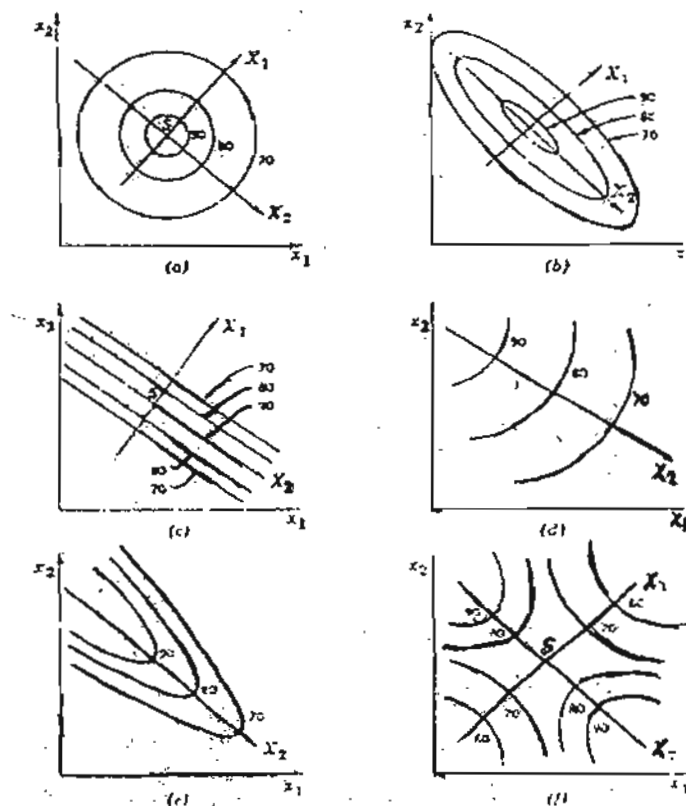
ถ้าต้องการศึกษาตัวแปร 2 ตัว แต่ละตัวแปรค่า 5 ระดับ จะต้องทำการทดลอง $5^2 = 25$ การทดลอง

ถ้าต้องการศึกษาตัวแปร 3 ตัว แต่ละตัวแปรค่า 5 ระดับ จะต้องทำการทดลอง $5^3 = 125$ การทดลอง

ถ้าต้องการศึกษาตัวแปร 4 ตัว แต่ละตัวแปรค่า 5 ระดับ จะต้องทำการทดลอง $5^4 = 625$ การทดลอง

ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อมีตัวแปรที่จะต้องทำการศึกษามากกว่าตัวแปรนั้น แทบจะเป็นไปไม่ได้เลยในทางปฏิบัติ นอกจากนั้นการทดลองโดยการแปรปริมาณตัวแปรทีละตัว จะเป็นวิธีที่ซัดเซอไม่เห็นผลของการปฏิกริยาที่สารแต่ละตัวมีต่อกัน แต่ถ้าแปรหลายตัวพร้อมๆกัน จำนวนสูตรที่จะทดลองจะมีจำนวนมากขึ้นไป ไม่เหมาะในทางปฏิบัติในการคอมเปาต์ดาง วิธีที่เหมาะสมมากกว่าสำหรับการทดลองเพื่อออกสูตรยางได้แก่ การออกแบบการทดลองเพื่ออาศัยหลักสถิติตัวอย่างเช่นวิธี Response Surface Methodology (RSM) [30-32] ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดจำนวนการทดลองลงได้มากโดยได้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ อย่างมีความเชื่อมั่นทางสถิติ

หลักการของRSMนั้นเป็นวิธีที่จะใช้ผลการทดลองจริงมาสร้างเป็นสมการเอมไพริคัลป้แล้วนำไปเขียนเป็นกราฟคอนทัวร์ (contour plot) จากนั้นก็จะนำไปพิจารณาหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป



สมการเมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นสมการ โพลีโนเมียลอันดับสอง ซึ่งเขียนได้ดังนี้ [32]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j \quad (2.1)$$

เมื่อ Y คือ สมบัติที่น่าสนใจ

X คือ รหัสของตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา

b คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงขนาดของผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรแต่ละตัว อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับว่าตัวแปรนั้นส่งผลเชิงบวกหรือลบต่อสมบัตินั้นๆ

k คือ จำนวนตัวแปรที่ทำการทดลอง

เพราะฉะนั้น สมการการทดลองที่มี 2 ตัวแปรจะเป็นดังนี้

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 \dots \quad (2.2)$$

สำหรับการทดลองที่ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวสมการจะเป็นดังนี้

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (2.3)$$

โดยทั่วไปการทดลองตามวิธี RSM มีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- 1) กำหนดตัวแปรอิสระที่จะทดลอง เช่น จะศึกษาผลของสารตัวเร่ง สารกระตุ้น และสารตัวเติมรวม 3 ตัว ที่แปรปริมาณพร้อมๆ กัน
- 2) วางแผนการทดลองที่เหมาะสม เช่น จะแปรปริมาณกี่ระดับ จะเลือกปริมาณปานกลางที่ระดับใด และจะทดสอบสมบัติใดบ้าง
- 3) ทำการทดลอง ทดสอบตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้
- 4) นำข้อมูลที่ได้มาหาสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม (สมบัติของยาง) กับตัวแปรอิสระ (ชนิด ปริมาณ สารเคมี และตัวเติมที่ใช้)
- 5) สร้างกราฟคอนทัวร์ของความสัมพันธ์ที่ต้องการจากสมการที่ได้
- 6) เลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับใช้งานจากกราฟ

วิธี RSM เป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่ดัดแปลงมาจาก การออกแบบการทดลองแบบแฟกตอเรียล ซึ่งอาจเรียกการทดลองในลักษณะนี้ว่าเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Central composite rotatable design [33] ซึ่งสามารถลดจำนวนการทดลองจริงลงได้มาก แต่จะเพิ่มจุดที่จะทำให้ประมาณค่าได้ดีขึ้น โดยจะแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. Factorial trials เป็นกลุ่มการทดลองที่ค่าของตัวแปรทั้งหมดมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าปานกลาง 1 หน่วย (+1 หรือ -1)
2. Star trials เป็นกลุ่มของการทดลองที่ค่าของตัวแปรมีค่าสูง หรือต่ำกว่าค่าปานกลาง a หน่วย (+ a หรือ - a) ตามแนวแกนของตัวแปรทั้งหมด โดยที่ $a = 2^{(k/4)}$ เมื่อ k เป็นจำนวนตัวแปรอิสระ และค่า a แสดงดังตาราง

ตารางที่ 2.6 ค่า a ของจำนวนตัวแปรอิสระต่างๆ

จำนวนตัวแปรอิสระ k	ค่า a
2	1.414
3	1.682
4	2.000
5	2.378

3. Center trials เป็นกลุ่มของการทดลองที่ค่าของตัวแปรมีค่าเท่ากับค่าปานกลาง (0) และมี การทำซ้ำเพื่อความถูกต้องที่ระดับเดิมอีก 4 สูตร

การดำเนินการทดลองตามวิธี RSM

- กำหนดจำนวนตัวแปรอิสระ และช่วงของตัวแปรที่จะทดลอง
- คำนวณหา Scale of variable (S) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$S = \frac{\text{พิสัย}}{2a} \quad (2.4)$$

- คำนวณหาปริมาณจริงของตัวแปร จากความสัมพันธ์

$$\text{ปริมาณจริง} = (S \times \text{Code}) + \text{Mean} \quad (2.5)$$

เมื่อ Code = -a, -1, 0, +1 หรือ +a

ตารางที่ 2.7 จำนวนระดับการแปรปริมาณของตัวแปรอิสระ

จำนวนตัวแปรอิสระ	ระดับการแปรปริมาณ				
	-a	-1	0	+1	+a
2	-1.414	-1	0	+1	+1.414
3	-1.682	-1	0	+1	+1.682
4	-2.000	-1	0	+1	+2.000
5	-2.378	-1	0	+1	+2.378
6	-2.828	-1	0	1+	+2.828

- ทำการทดลองตามปริมาณจริงของตัวแปรที่คำนวณได้ ตามจำนวนการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2.8 จำนวนการทดลองของจำนวนตัวแปรต่างๆ

จำนวนตัวแปร อิสระ	จำนวนการทดลองที่แปรค่า 5 ระดับ			
	Factorial	Star	Center	รวม
2	4	4	5	13
3	8	6	6	20
4	16	8	7	31
5	32	10	10	52

ตารางที่ 2.9 แบบการทดลอง 2 ตัวแปร แปรค่า 5 ระดับ

สูตรที่	ตัวแปรที่1	ตัวแปรที่2	สูตรที่	ตัวแปรที่1	ตัวแปรที่2
1	-1	-1	8	0	-1.414
2	-1	+1	9	0	0
3	+1	-1	10	0	0
4	+1	+1	11	0	0
5	-1.414	0	12	0	0
6	+1.414	0	13	0	0
7	0	+1.414			

ตารางที่ 2.10 แบบการทดลอง 3 ตัวแปร แปรค่า 5 ระดับ

สูตรที่	ตัวแปรที่ 1	ตัวแปรที่ 2	ตัวแปรที่ 3	สูตรที่	ตัวแปรที่ 1	ตัวแปรที่ 2	ตัวแปรที่ 3
1	-1	-1	-1	11	0	-1.682	0
2	+1	-1	-1	12	0	1.682	0
3	-1	+1	-1	13	0	0	-1.682
4	+1	+1	-1	14	0	0	+1.682
5	-1	-1	+1	15	0	0	0
6	+1	-1	+1	16	0	0	0
7	-1	+1	+1	17	0	0	0
8	+1	+1	+1	18	0	0	0
9	-1.682	0	0	19	0	0	0
10	+1.682	0	0	20	0	0	0

5. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติที่สนใจกับตัวแปรอิสระ (b_0, b_i, b_{ij}, b_{ij}) และ Standard error (S.E) ของสัมประสิทธิ์แต่ละตัวจากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ สำหรับการทดลองที่ 2 ตัวแปร

$$b_0 = 0.2 (T) - 0.1 (A^2 + B^2) \quad (2.6)$$

$$b_i = 0.125 (i) \quad (2.7)$$

$$b_{ii} = 0.125(ij) + 0.01875(A^2 + B^2) - 0.1(T) \quad (2.8)$$

$$b_{ij} = 0.25 (ij) \quad (2.9)$$

โดยที่ i คือ A,B

ii คือ A^2, B^2

Ij คือ AB

T คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างจำนวนการทดลองกับผลการทดลองทั้งหมด

A คือ ผลรวมของผลคูณระหว่าง Code ของตัวแปร A กับผลการทดลองทั้งหมด

B คือ ผลรวมของผลคูณระหว่าง Code ของตัวแปร B กับผลการทดลองทั้งหมด

A^2 คือ ผลรวมทั้งหมดของผลคูณระหว่าง (Code ของตัวแปร A)² กับผลการทดลองทั้งหมด

B^2 คือ ผลรวมทั้งหมดของผลคูณระหว่าง (Code ของตัวแปร B)² กับผลการทดลองทั้งหมด

AB คือ ผลรวมของผลคูณระหว่าง (Code ของตัวแปร A คูณ Code ของตัวแปร B) กับผลการทดลองทั้งหมด

ส่วนค่า Standard error (S.E.) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์

$$SE.(b_i) = S \sqrt{0.125} \quad (2.10)$$

$$SE.(b_{ij}) = S \sqrt{0.125 + 0.01875} \quad (2.11)$$

$$SE.(b_{ij}) = S \sqrt{0.25} \quad (2.12)$$

โดยที่ S คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

สำหรับการทดลองที่มี 3 ตัวแปร

$$b_0 = 0.1663402267(T) - 0.05679210581(A^2 + B^2 + C^2) \quad (2.14)$$

$$b_i = 0.0732233047 (i) \quad (2.15)$$

$$b_{ij} = 0.062500(ij) + 0.00689003779(A^2 + B^2 + C^2) - 0.05679210581(T) \quad (2.16)$$

$$b_{ij} = 0.125000 (ij) \quad (2.18)$$

$$SE.(b_i) = 0.271(S)$$

$$SE.(b_{ij}) = 0.263(S)$$

$$SE.(b_{ij}) = 0.354(S)$$

สำหรับการทดลองที่มี 4 ตัวแปร

$$b_0 = 0.1428571429(T) - 0.0351428571(A^2 + B^2 + C^2 + D^2) \quad (2.19)$$

$$b_i = 0.0416666667(i) \quad (2.20)$$

$$b_{ij} = 0.031250(ii) + 0.003720238095(A^2 + B^2 + C^2 + D^2) - 0.03571428571(T) \quad (2.21)$$

$$b_{ij} = 0.0625(ij) \quad (2.22)$$

$$SE.(b_i) = 0.204(S)$$

$$SE.(b_{ij}) = 0.185(S)$$

$$SE.(b_{ij}) = 0.250(S)$$

6. สร้างสมการเอมไพริคัลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติที่ต้องการกับตัวแปรที่ทำการศึกษา

7. สร้างกราฟคอนทัวร์ โดยแทนค่าสมการด้วยรหัสของตัวแปรที่ค่าต่างๆ

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง คือ เกรด STR 5Lผลิตโดยบริษัท Chana Latex.CO, LTD.และ ยางสกินจากสามแหล่งผลิตคือ หาดหิน เอ็กซ์เซล และเซฟสกิน

3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นเป็นผงละเอียดสีขาว เกรดที่ใช้ทางอุตสาหกรรม

3.1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นสำหรับสารตัวเร่งในยางมีลักษณะเป็นเกร็ดสีขาว

3.1.4 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมประสิทธิภาพช่วยลดต้นทุนมีลักษณะเป็นผงสีขาว

3.1.5 สารตัวเร่งที่ใช้จากบริษัทไทยชวนรับเบอร์ได้แก่ Acc. A, Acc. B, Acc. C, Acc. D , และ Acc. E เป็นสารที่ช่วยให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางเร็วขึ้นจากเดิม

3.1.6 สารป้องกันการเสื่อมที่ใช้ BHT, Wingstay-L, SP เป็นสารป้องกันขงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

3.1.7 สารพลาสติกไซเซอร์ ที่ใช้คือ White oil, spindle oil และ Yellow Vaseline ทำใ้ยางผสมกับสารเคมีได้ง่ายขึ้น

3.1.8 กำมะถัน เป็นสารวัลคาไนซ์ที่ทำให้เกิดการคงรูปมีลักษณะเป็นผงสีเหลือง

3.1.9 ซิลิกา เกรด Purosil เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ช่วยลดต้นทุน

3.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.2.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง ผลิตโดยบริษัท Teclock ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 เครื่องผสมยางแบบปิด Kneader รุ่น model dispersion mixers 3L (Y.F.M 3L) ของบริษัท ยง ฟง เมชชีนเนอรี จำกัด

3.2.3 เครื่องอัดขางระบบไฮดรอลิกใช้ไฟฟ้า ผลิตโดยบริษัทชัยเจริญการช่างประเทศไทย

3.2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง(Tensile tester) รุ่น LR10 Kผลิตโดยบริษัท LLOYD Instruments

- 3.2.5 เครื่องทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของยาง(RHEOMETER MDR2000) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies ประเทศสิงคโปร์
- 3.2.6 แบบตัดชิ้นตัวอย่างรูปคัมเบล
- 3.2.7 เครื่องวัดความหนา Teclock รุ่น SM – 112 ช่วงความหนา 0.01-10 MM
- 3.2.8 ตู้อบรุ่น Ecocell 55 ผลิตโดยบริษัท MMM Medcenter Einrichtungen ประเทศเยอรมนีและรุ่น UM400 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี
- 3.2.9 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง GF-3000ผลิตโดยบริษัท A&D จำกัดประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.10 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งรุ่น AB204ผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 3.2.11 เครื่องวัดความนิ่มของยาง (Mooney viscometer) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies ประเทศสิงคโปร์
- 3.2.12 เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ Metter รุ่น AB 204-S ผลิตโดยบริษัท Toledo (Thailand) Ltd
- 3.2.13 เตาอบแบบ Gear Oven เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบการบ่มแรงของยาง
- 3.2.14 ที่ตั้ง Tension set จัดทำเอง
- 3.2.15 เครื่องป้อนยางร้อน (Hot feed Extruder) รุ่น EH-65 SCREW DIA: 65 mm , Screw L/D RATIO 6:1 , SCREW SPEED 0-100 r/min ผลิตโดยบริษัท หงษ์ขาวไทย จำกัด
- 3.2.16 Plastometer เครื่องวัดความนิ่ม และตรวจนิ่มความอ่อนตัวของยางดิบ ผลิตโดย บริษัท Wallace จำกัด ประเทศสหราชอาณาจักร
- 3.2.17 Brabender ผลิตโดยบริษัท Brabender® GmbH & Co. KG
- 3.2.18 หม้ออบไอน้ำ ผลิตโดยบริษัท ธนพลเอ็นจิเนียริง จำกัด
- 3.2.19 เตาหลอมย่อยยางชนิด 4 หลุม และเครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน ปี่ห้อ Gerhardt ประเทศเยอรมนี

3.3 วิธีการทดลองและทดสอบ

3.3.1 ศึกษาความแปรปรวนของสมบัติยางสกินดิบ

นำยางสกินจากสามแหล่งผลิต คือ EXCEL (6 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ E เป็นตัวเริ่มต้น), HARDSIN (2 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ H เป็นตัวเริ่มต้น) และ SAFESKIN (3 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ S เป็นตัวเริ่มต้น) มาทดสอบสมบัติของยางดิบ คือ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณสิ่งระเหย คำนีความอ่อนตัว ปริมาณสารที่ถูกสกัดด้วยอะซิโตน ความหนืดของยาง และปริมาณโลหะ Cu , Mn และ Fe ดังรายละเอียดการทดสอบดังนี้

3.3.1.1 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Determination of Nitrogen Content)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3533-90 มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ชั่งยาง 0.1 กรัม (ความละเอียด 0.0001 กรัม) ใส่ในขวดแก้วสำหรับย่อยยาง
2. เติมน้ำมันตัวเร่งรวมประมาณ 3 กรัม และกรดกำมะถัน 10 มิลลิลิตร
3. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 380-400 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส
4. ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. นำสารที่ได้ไปเติมน้ำมันละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % โดยน้ำหนัก ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่น
6. สารที่กลั่นได้ประกอบไปด้วยสารละลายกรดบอริก 4 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร อินดิเคเตอร์ 4 หยดและน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
7. เมื่อสารที่กลั่นได้มีปริมาตร 150 มิลลิลิตรแล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
8. ที่จุดยุติสารจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงทำ Blank เพื่อเปรียบเทียบ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_1 - V_2) N \times 0.014 \times 100}{W} \quad (3.1)$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักของยาง (กรัม)

3.3.1.2 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย (Determination of Volatile Matter Content; VM)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 1278-91A มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ชั่งยางประมาณ 10 กรัม นำไปผ่านเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งที่มีระยะห่างระหว่าง ลูกกลิ้งเท่ากับ 0.02 นิ้ว จำนวน 6 ครั้ง
2. ตัดยางให้มีขนาด 5X5 เซนติเมตร ประมาณ 15-18 ตัวอย่าง
3. เรียงยางในถาดอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
4. นำยางออกจากตู้อบแล้วนำยางแต่ละชิ้นใส่ในถุงพลาสติก พับปากถุง 3 ครั้ง พับครึ่งอีกครั้ง
5. นำไปหนีบไว้กับที่หนีบเป็นเวลา 30 นาที นำยางออกจากถุงแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสิ่งระเหย (\%)} = (A - B) / A \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักยาง (กรัม)

B คือ น้ำหนักยางหลังอบ (กรัม)

3.3.1.3 การทดสอบดัชนีความอ่อนตัว (Determination of Plasticity Retention Index-PRI)

ดัชนีความอ่อนตัวของยางแสดงถึงความต้านทานต่อขาคีบต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงและการออกซิเดชัน (Oxidation) ยางที่มีดัชนีอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลสูง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องบดสองลูกกลิ้ง(Two-roll mill)
2. พลาสติมิเตอร์ แบบWallace (Wallace Rapid Plastimeter) พร้อมชุดให้ความร้อน
3. เครื่องตัดตัวอย่าง(Wallace punch)
4. ลูกกลิ้งทำด้วยสเตนเลส น้ำหนัก 1 กก.
5. เครื่องวัดความหนา(Thickness gauge)
6. ตู้อบ(Oven)

6.1 ตู้อบ (Laboratory oven) ตลอดเวลาการทดสอบต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 140 ± 0.5 องศาเซลเซียส 6.2 ตู้อบแบบ Wallace (Wallace PRI oven) ตลอดเวลาการทดสอบต้องควบคุมอุณหภูมิที่ 140 ± 0.2 องศาเซลเซียส

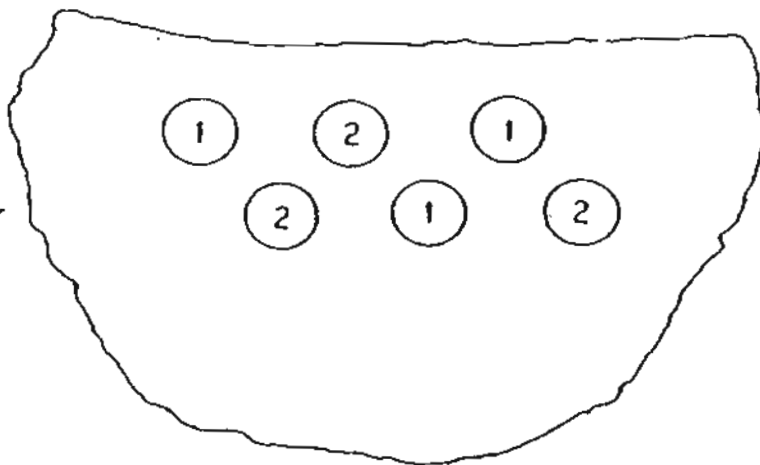
ตู้อบทั้งสองชนิดต้องสามารถปรับอุณหภูมิได้รวดเร็ว คือ หลังจากใส่ตัวอย่างและปิดประตูตู้อบ อุณหภูมิต้องกลับไปอยู่ระดับเดิมภายในเวลา 6 นาที

7. กระดาษมวนวนหรี ยี่ห้อ TST

วิธีการทดสอบ

1. นำยางที่เตรียมไว้ 20 กรัม $\pm$ 5 กรัม ผ่านเครื่องบดซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่างไว้แล้ว 2 ครั้งแล้วพับครึ่ง ทำให้เรียบด้วยลูกกลิ้ง ให้ได้ความหนาระหว่าง 3.2 มม.-3.6 มม.

2. ตัดตัวอย่างให้ได้ชิ้นทดสอบ จำนวน 6 ชิ้น แบ่งชิ้นทดสอบออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 3 ชิ้น (หมายเลข 1 และหมายเลข 2 ตามรูป)



3.วางชั้นทดสอบหมายเลข 1 ระหว่างกระดาษมวนบุหรี่นำเข้าเครื่อง อัดชั้นทดสอบโดยเป็นโลหะกลมบนและล่างจะกดให้ชั้นทดสอบมีความหนา 1 มม. และในเวลาเดียวกันจะทำให้ร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นแรง 10 กก. $\pm$ 0.1กก.จะอัดข้างเป็นเวลา 15 วินาที อ่านค่าความอ่อนตัวบนหน้าปัดจะได้ค่า P_0

4.นำชั้นทดสอบหมายเลข 2 เข้าตู้อบซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่แน่นอนที่ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที $\pm$ 15วินาที นำชั้นทดสอบออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 30 นาที นำไปหาค่าความอ่อนตัวตามวิธีในข้อ 2 จะได้ค่า P_{30}

การคำนวณ

นำค่ามัธยฐาน(Median) ของชั้นทดสอบ มาคำนวณหาดัชนีความอ่อนตัว ดังนี้

$$PRI = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ PRI = ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index)

P_{30} = มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดที่ไม่อบ

P_0 = มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดที่อบแล้ว

3.3.1.4 การทดสอบปริมาณสารที่ถูกสกัดด้วยอะซิโตน (Determination of Acetone Extract)

สารที่ถูกสกัดด้วย อะซิโตน หมายถึงสารอื่นที่ไม่ใช่ยางที่มีอยู่ในยางธรรมชาติ ได้แก่ กรดไขมัน สเตอรอล (Sterols) ควิบราชีทอล (quibrachitol) และเรซิน (resins) เป็นต้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องบดสองลูกกลิ้ง(Two-roll mill)
2. ชุดสกัดแบบ Soxhlet (Soxhlet extraction apparatus) ซึ่งสามารถสกัดได้ 80 ครั้งในระยะเวลา 16 ชั่วโมง $\pm$ 0.5 ชั่วโมง
3. เตาควบคุมอุณหภูมิ หรืออ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

4. เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์ ชนิดอ่านได้ละเอียด 0.0001 กรัม
5. ขวดแก้วก้นกลม (Round bottom flask) ขนาด 150 มล.
6. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มล.
7. กระจกทรงเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 ซม.
8. ตู้อบ อุณหภูมิ 0 - 200 องศาเซลเซียส
9. โถแก้วดูดความชื้น (desicator) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม.-30 ซม.
10. หลอดใส่ตัวอย่าง (Thimble)

สารเคมี

อะซิโตน

วิธีการทดสอบ

1. นำยางที่เตรียมไว้ 25 กรัม ผ่านเครื่องบด ซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่างให้แคบที่สุด จำนวน 2 ครั้ง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง
2. ชั่งให้ได้น้ำหนัก 5 กรัม ละเอียด 0.0001 กรัม ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ตัวอย่าง แล้วนำไปใส่ในชุดสกัด
3. เติมอะซิโตน จำนวน 100 มล. ลงในขวดแก้วก้นกลมขนาด 150 มล. ที่สะอาดแห้ง
4. สกัดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ± 0.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาควบคุมอุณหภูมิหรืออ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
5. นำยางไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 70 ± 5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักยาง

การคำนวณ

ปริมาณสารที่ถูกสกัดด้วยอะซิโตนคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสารที่ถูกสกัดด้วยอะซิโตน} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

เมื่อ A = น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนสกัดด้วยอะซิโตน หน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังสกัดด้วยอะซิโตน หน่วยเป็นกรัม

3.3.1.5 การทดสอบความหนืดของยางโดยใช้ Mooney viscometer

เครื่องทดสอบชนิดนี้เป็นเครื่องวัดความนิ่มประเภทหมุน (rotation plastimeter) โดยมีจานหรือ โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ภายในห้องใส่จาน (die cavity) พร้อมกับอบไว้ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อโรเตอร์หมุนจะเกิดแรงเฉือนขึ้นที่ผิวของโรเตอร์เนื่องจากความหนืดของยางจึงเรียกเครื่องทดสอบ

แบบนี้ว่า เครื่องวัดความหนืดแบบจานหมุน (shearing disk viscometer) ทอร์กที่เกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์กับเนื้อยางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนืดของยางที่อุณหภูมิที่ทดสอบ

ในการวัดค่ามูนนี่ของยางดิบ เมื่อเดินเครื่องตัวอย่างยางยังมีความแข็ง ทอร์กจะอ่านค่าสูงสุด เมื่อยางร้อนขึ้น (และถูกบดมากขึ้น) ยางจะนิ่มลงทอร์กจะลดลงเรื่อยๆ ถ้ายางตัวอย่างเป็นยางคอมปาวด์ ที่มีสารวัลคาไนซ์ผสมอยู่เมื่อเดินเครื่องผ่านไประยะหนึ่งจะเห็นว่าทอร์กเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในตอนต้น และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมา ค่ามูนนี่คือค่าทอร์กเมื่อใส่ยางไปแล้ว 5 นาทีโดยเขียนค่าอยู่ในรูป ML 1+4(100°C) หมายความว่า เป็นค่ามูนนี่ที่ทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C โดยใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ อุณหภูมิ 1 นาทีแล้วให้โรเตอร์หมุนต่อไปอีก 4 นาที การทดสอบมูนนี่เป็นการทดสอบเพื่อหา ลักษณะเพื่อการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ ก็สามารถหาค่าที่ต้องการจากกราฟได้ โดยหลักการแล้วสามารถหาเวลาสก็อช (mooney scorch) หรือดัชนีการวัลคาไนซ์ (cure index) หรืออัตราการวัลคาไนซ์ (cure rate) และหาเวลาวัลคาไนซ์ (mooney cure time) ได้ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากค่ามูนนี่ ML1+4(100°C)แล้ว การทดสอบมูนนี่ที่เหมาะสมในการใช้วัดเวลาสก็อชกับอัตราการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาว์ส่วนเวลาวัลคาไนซ์นั้น ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากเครื่องทดสอบประเภทนี้

3.3.1.6 การทดสอบการวัดแรงบิดจากการบดผสมด้วยเครื่องบาร์เบนเดอร์

เครื่องบาร์เบนเดอร์เป็นอุปกรณ์ประเภท Torque Rheometer เครื่องจะแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลง ของการบดที่สำคัญ 2 ปริมาณคือ กราฟระหว่างแรงบิดกับเวลา และ กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ซึ่งกราฟที่ได้จะบ่งบอกพลังงานในการบดซึ่งจะแสดงสมบัติของยางที่ใช้บดผสม

ในการทดสอบการวัดแรงบิดจากการบดผสมด้วยเครื่องบาร์เบนเดอร์ ใช้สภาวะในการทดสอบ ดังนี้

- ปริมาณยางที่ใช้ 200 กรัม
- อุณหภูมิที่ใช้ 60 °C
- เวลา 10 นาที
- ความเร็วรอบ โรเตอร์ 30 rpm

ทำการบดยางในเครื่อง บันทึกค่าแรงบิดและอุณหภูมิของการบดผสม

3.3.1.7 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Cu , Mn และ Fe

วิธีทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างยางหนัก 0.5 กรัม
2. นำตัวอย่างยางมาย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 7 ml ให้ความร้อนบน hot plate ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที จนได้สารละลายใส
3. นำสารละลายใส่มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

4. นำมาปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 10 ml ด้วยน้ำ DI

5. นำสารละลายตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES จะได้กราฟออกมา แล้วนำกราฟไปเปรียบเทียบกับ calibration curve ของธาตุที่ทำการวิเคราะห์

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโลหะ (mg/Kg)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟ(mg/l)} * \text{ปริมาตรที่ปรับ(l)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (Kg)}} \quad (3.5)$$

3.3.2 การออกสูตรยางรัดของเบื้องต้น

3.3.2.1 ผลของอัตราส่วนยาง STR5 กับ ยางสกิม และสูตรยางต่อสมบัติของยาง

ผสมยางและสารเคมีบนเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง ตามสูตรดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรยางคอมปาวด์

sample ingredient	1.1	1.2	2	3	4	5	6
NR*	100	100	100	100	100	100	100
stearic acid	1	1	1	1	1	1.5	1
ZnO	1.5	1.5	4	1	3	3.5	1.25
wingstay L	1	1	1.5	1	1	1.2	1
CaCO ₃	25	50	-	-	25	25	-
Oil	5	5	-	-	3	2	-
Acc. A	-	-	0.1	-	-	-	0.3
Acc. D	-	-	-	0.1	-	-	-
Acc. C	2	2	-	1	1	0.6	0.75
Acc. E	-	-	1	-	-	0.5	-
Sulphur	2	2	1.5	2	2.5	1.5	1.5

*อัตราส่วนยาง STR5L : ยางสกิมแสดงในผลการทดลอง

1. การผสมยางกับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง(Two roll mill)

ขั้นตอนการผสม

1. ชั่งยางและสารเคมีตามสูตรที่กำหนด
2. ทำความสะอาดลูกกลิ้งโดยการนำยาง(ยางสำหรับล้างเครื่อง) มาบด 3-4 ครั้งและปรับความกว้างของลูกกลิ้งให้พอเหมาะกับปริมาณยาง
3. เร็นบดยางให้นุ่ม (Mastication) ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาทีเพื่อลดความหนืดของยางจึงจะสามารถใส่หรืออัดสารเคมีเข้าไปได้ง่าย
4. ใส่สารเคมีเข้าไปในยางตามลำดับของการใส่สารเคมี
5. จังหวะเวลาในการใส่สารเคมีต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ร้อนเกินไปและเวลาที่ใช้มีความเหมาะสม
6. รีดยางโดยม้วนยางผ่านหัวหรือท้ายลงในลูกกลิ้งที่ตั้งไว้แคบที่สุดประมาณ 6 ครั้ง รีดหน้าอีก 4 ครั้ง
7. เมื่อผสมเสร็จปรับความหนาของยางตามต้องการและรีดแผ่นออก
8. เก็บในเคซิเคเตอร์อย่างน้อย 16 ชั่วโมงเพื่อให้สารเคมีเข้าไปในยางได้มากขึ้นก่อนนำไปแปรรูป

การคอมปาวด์ยางผสมระหว่างยาง STR5L และ SKIM

ต้องบดยางแต่ละตัวโดยบดยาง STR5L และ ยางสกิน ให้นุ่มก่อนที่จะนำมาผสมโดยใช้เวลาในการบดยางแต่ละตัวให้นุ่มประมาณ 2 นาทีใช้เวลาในการผสมยางให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 4 นาที เมื่อบดเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงเติมสารเคมีลงไปตามลำดับ และปฏิบัติในขั้นตอนต่อไปเหมือนการเตรียมยางคอมปาวด์แบบธรรมดาตามที่กล่าวไปแล้วเบื้องต้น

2. การทดสอบลักษณะการทำให้ยางคงรูป(Cure Characteristics) โดยใช้เครื่อง MDR2000

(Moving Die Rheometer)

- ตัวอย่างยาง ใช้ยางประมาณ 4-4.5 กรัม
- สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ
 1. อุณหภูมิในการทดสอบ 150 °C
 2. เวลาในการทดสอบ 20 นาที
 3. ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการใช้ คือเวลาที่ยางเริ่มสุก (Scorch time) และเวลาในการสุกของยาง (Cure time)

3. การเตรียมชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

น้ำหนักยางที่ใช้ในการอัดประมาณ 30 กรัม และก่อนใส่ในเครื่องอัด สภาพที่ใช้ในการทดสอบอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 150 °C ความดันที่ใช้ในการอัด 600 psi เวลาในการอัดใช้เวลาที่ได้จากเครื่อง MDR

4. การทดสอบสมบัติด้านการทนต่อแรงดึง

ตัดชิ้นทดสอบที่ได้จากเครื่องอัด โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงานแบบคัมเบล และนำไปวัดความหนาของชิ้นงานบริเวณต่าง ๆ 3 จุด และนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย นำชิ้นงานที่ผ่านการวัดความหนามาทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบยางโดยการดึง(Universal testing machine) รุ่น LLOYD 10K ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min ตามมาตรฐาน ASTM D-412 และค่าที่ได้จากการดึง ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300%

การคำนวณผล

ค่า Tensile stress หรือ modulus คำนวณดังนี้

$$\text{Tensile stress} = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

โดยที่ F = แรงที่ใช้

A = พื้นที่หน้าตัดของยางขณะที่ไม่ได้ยืด

ค่า Tensile Strength คำนวณโดยใช้แรง F = แรงที่ยืดยางจนขาด

ทั้ง Tensile stress, Tensile Strength ใช้หน่วยเป็น megapascal หรือ pounds force ต่อตารางนิ้ว (หมายเหตุ 1 pascal = 1 นิวตัน/ตารางเมตร, 1 megapascal = 1 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

ค่า Elongation คำนวณดังนี้

$$\text{Elongation, \%} = 100 \times \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) \quad (3.7)$$

โดยที่ L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืด

L_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

ค่า Ultimate Elongation หรือ Elongation at break คำนวณโดยใช้ค่า L เท่ากับระยะห่างระหว่างขีดในขณะที่ยางขาดพอดี

5. การทดสอบการบ่มแรงของยาง (Ageing)

Aging เป็นการทดสอบวัสดุในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น การให้ความร้อน สัมผัสแสงแดด หรือสภาวะอื่นๆตามความเหมาะสม ภายในระยะเวลาที่กำหนด แล้วศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น สี หรือ physical properties เป็นต้น

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมชิ้นทดสอบอย่างเหมือนการทดสอบ Tensile พร้อมวัดความหนาบันทึกค่าไว้
2. นำชิ้นทดสอบในข้อ 1 เข้าอบใน Hot air-oven อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้คลิป์แขวนยางไว้เป็นเวลา 7 วัน
3. เมื่อครบ 7 วัน นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบ แล้วเทียบสีของยาง ก่อนและหลังการทำ Aging
4. นำชิ้นทดสอบในข้อ 3 ทดสอบ tensile
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของยาง (ค่า tensile) หลังการทำ aging เปรียบเทียบกับก่อนทำ aging ดังนี้

$$P = \left(\frac{A - O}{O} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

เมื่อ P คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง

A คือ ค่า tensile (stress at break, elongation at break) หลังทำ Aging

O คือ ค่า tensile (stress at break, elongation at break) ก่อนทำ Aging

6. การทดสอบค่า Tension set

นำยางที่จะทดสอบมาใส่ในที่จับ พยายามวางยางให้ได้แนวกลางของที่จับเพื่อให้แรงกระจายได้สมดุลให้ยืดยางออกด้วยความเร็วหนึ่งจะทำให้ยางยืดได้ถึงระยะกำหนด (300 % elongation) ภายในเวลา 15 วินาที ปล่อยให้ยางยืดในระยะระดับนั้นเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลากำหนด 10 นาทีให้รีบปล่อยยางกลับเข้าสู่รูปเดิม และตั้งยางทิ้งไว้ 10 นาทีเมื่อครบ 10 นาทีแล้วให้วัดระยะห่างรอยขีดที่ขีดไว้

การคำนวณค่า Tension set หรือ Permanent set ทำโดยการแทนค่า L ในสมการหาค่า % elongation ด้วยค่าระยะห่างระหว่างรอยขีดที่วัดได้หลังจากที่ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีนั้น

7. การทดสอบหาความหนาแน่น(Density)

ใช้วิธีหาความหนาแน่นและถ่วงจำเพาะด้วยวิธีแทนที่ด้วยน้ำ วิธีนี้ใช้หลักการคิมิดิส ที่ว่าแรงพยุงของ ของเหลว มีค่าเท่ากับมวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ เมื่อทำการชั่งวัตถุในของเหลวนั้น จะทำให้สามารถหาปริมาณของวัตถุได้ดังนี้

ชั่งวัตถุในอากาศได้ W กรัม

ชั่งวัตถุในน้ำได้ W_1 กรัม

น้ำหนักวัตถุหายไปในน้ำเท่ากับ $W - W_1$ กรัมซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ถูกรัดแทนที่
อยู่ ดังนั้นปริมาตรของวัตถุ $V = (W - W_1) / d_w$ (3.9)

นั่นคือ ถ.พ.ของวัตถุ $W / (W - W_1)$ กรัม/ซม³ ที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส

เมื่อ d_w เป็นความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส

ถ้าวัตถุเบาหรือน้ำ จะต้องใช้ตุ้มถ่วงให้จมในน้ำ แล้วจึงหาเฉพาะปริมาตรวัตถุดังนี้ ซึ่งวัตถุในอากาศได้ W กรัม ซึ่งวัตถุในอากาศกับตุ้มถ่วงในน้ำได้ W_1 กรัม ซึ่งวัตถุและตุ้มถ่วงในน้ำ

W_2 กรัม จะได้แรงพยุงของวัตถุในน้ำเท่ากับ $(w - w_2) / d_w$

นั่นคือ ถ.พ.ของวัตถุ = $w / (w - w_2)$ ที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส

(3.10)

3.3.2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนยาง STR5L:ยางskim ปริมาณสารตัวเร่ง Acc. C และสารตัวเร่ง Acc. A ต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางโดยใช้หลักสถิติเพื่อการออกสูตรยาง

การทดลองนี้ได้ใช้หลักสถิติที่เรียกว่า วิธี Response Surface Methodology (RSM) ในการออกสูตรยางโดยใช้ตัวแปรอิสระ 3 ตัวคือ อัตราส่วนยางSTR5L ต่อ ยางSKIM ปริมาณสารตัวเร่ง Acc. C และปริมาณสารตัวเร่ง Acc. A โดยสูตรที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการทดลอง

sample ingredient	1
อัตราส่วน SKIM/STR5L	แปรปรมาณ (0.25-4.00)
Acc. A	แปรปรมาณ (0.2-0.6)
Acc. C	แปรปรมาณ (0.1-0.4)
Acc. B	0.06
Antioxidant SP	0.16
Stearic acid	1.12
HMT	0.08
Zinc oxide	3
Sulphur	2.40
Purosil	1.60
สีเหลือง	0.04
RETADER PTA	-
COCa ₃	-

คำนวณหา Scale of variable(S) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$S = \frac{\text{พิสัย}}{2a}$$

โดยที่ $a=2^{(k/4)}$

เมื่อ k เป็นจำนวนตัวแปรอิสระ

คำนวณหาปริมาณจริงของตัวแปรจากความสัมพันธ์

ปริมาณจริง=(S x Code) + Mean

เมื่อ Code = -a, -1, 0, 1, +a

ซึ่งได้ปริมาณจริงของตัวแปรตามรหัส

ตารางที่ 3.3 ปริมาณจริงของตัวแปรตามรหัส

Ingredient	Quantity				
	-1.682	-1	0	+1	+1.682
SKIM/STR5L	0.25(20/80)	0.47(32.16/67.84)	1(50/50)	2.11(67.84/32.16)	4(80/40)
Acc. A (phr)	0.10	0.17	0.25	0.34	0.40
Acc. C (phr)	0.20	0.28	0.40	0.52	0.60

การทดลองที่มี 3 ตัวแปร ตัวแปรละ 5 ระดับ จะมีจำนวนการทดลอง 20 การทดลอง ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 จำนวนการทดลองและปริมาณจริงในแต่ละการทดลองของแต่ละตัวแปร

Sample	Code			Quantity (phr)		
	SKIM/STR5L	Acc. C	Acc. A	SKIM/STR5L	Acc. C	Acc. A
1	-1	-1	-1	0.47	0.28	0.16
2	1	-1	-1	2.11	0.28	0.16
3	-1	1	-1	0.47	0.52	0.16
4	1	1	-1	2.11	0.52	0.16
5	-1	-1	1	0.47	0.28	0.34
6	1	-1	1	2.11	0.28	0.34
7	-1	1	1	0.47	0.52	0.34
8	1	1	1	2.11	0.52	0.34
9	-1.682	0	0	0.25	0.4	0.25
10	1.682	0	0	4	0.4	0.25
11	0	-1.682	0	1	0.2	0.25
12	0	1.682	0	1	0.6	0.25
13	0	0	-1.682	1	0.4	0.1
14	0	0	1.682	1	0.4	0.4
15	0	0	0	1	0.4	0.25
16	0	0	0	1	0.4	0.25
17	0	0	0	1	0.4	0.25
18	0	0	0	1	0.4	0.25
19	0	0	0	1	0.4	0.25
20	0	0	0	1	0.4	0.25

ทำการผสมยางกับสารเคมีตามปริมาณจริงด้วยเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้งหลังจากผสมเสร็จทิ้งไว้ประมาณ 16 ชั่วโมงในเคซิเตอร์ จากนั้นนำมาทดสอบหา ML1+4,100 °C และ Cure characteristic ด้วยเครื่อง MDR 2000 ที่ 150 °C หาสมการสำหรับสมบัติต่างๆ ดังรายละเอียดในบทที่ 2

3.3.3 การผลิตยางรัดของประเภทที่ 1 หรือชนิดยางแก้ว

3.3.3.1 ศึกษาความแปรปรวนของสมบัติของยางรัดแก้วที่ใช้ชนิดของยางสกินที่ต่างกัน

ผสมยางโดยใช้ยางสกินที่มาจากบริษัทต่างๆที่โรงงานใช้เป็นวัตถุดิบ โดยยางสกินจากบริษัท Excell ที่ได้รับใน lot ต่างๆ ได้แก่ E230348, E240348, E120448, E190448, E2104481, E2104482, E0648 ยางสกินจากบริษัท Hadsin ได้แก่ H080348, H300348 และยางที่ได้จากบริษัท Safeskin ได้แก่ S03481, S03482, S03483 ตามสูตรดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาความแปรปรวนของยางสกิน lot ต่างๆ

ingredient	phr
STR 5L	40
SKIM RUBBER(แปร lot ต่างๆ)	60
Acc. A	0.28
Acc. B	0.16
Acc. C	0.13
Anti oxidant SP	0.16
Stearic acid	1.12
HMT	0.08
Zinc Oxide	3
Purosil	1.6
Yellow Vasline	5
Yellow Pigment	0.04
Sulphur	2.4

ทำการผสมยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แล้วตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง นำยางคอมเปาวด์ที่ได้ไปหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และหาเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus) และความบิดถาวร (Permanent set)

นำตัวอย่างยางทดสอบการบ่มแรงด้วยตู้อบลมร้อนแบบหมุน (Gear oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับก่อนการบ่มแรง

3.3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณสารหน่วง PVI ต่อสมบัติของยาง

ผสมยางโดยทำการแปรปริมาณของสารหน่วงได้แก่ PVI เพื่อศึกษาผลของ PVI ต่อสมบัติของยางรัคของตามสูตรดังตารางที่ 3.6 โดยใช้ยางสกินจากบริษัท Excell ซึ่งจากการทดลองตาม 3.3.3.1 พบว่ายางมีความแปรปรวนน้อยและสมบัติผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 3.6 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของปริมาณสารหน่วง PVI ต่อสมบัติของยาง

ingredient	PVI 0.0	PVI 0.1	PVI 0.25	PVI 0.5	PVI 1.0
STR 5L	40	40	40	40	40
SKIM RUBBER	60	60	60	60	60
Acc. A	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Acc. B	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Acc. C	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Anti oxidant SP	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Stearic acid	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
HMT	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Zinc Oxide	3	3	3	3	3
Purosil	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Yellow Vasaline	5	5	5	5	5
Yellow Pigment	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
PVI	-	0.1	0.25	0.5	0.1
Sulphur	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

ทำการผสมยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แล้วตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง นำยางคอมเปาวด์ที่ได้ไปหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และหาเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร

นำตัวอย่างยางทดสอบการบ่มแรงด้วยตู้อบลมร้อนแบบหมุน (Gear oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด ค่ามวลร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับก่อนการบ่มแรง

3.3.3.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารกันเสื่อมต่อสมบัติของยาง

ผสมยางโดยทำการแปรชนิดและปริมาณของสารกันเสื่อม เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารกันเสื่อมต่อสมบัติของยางรัคของ โดยใช้ยางสกินจากบริษัท Excell และไม่ใช่ PVI ตามสูตรดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารกันเสื่อมต่อสมบัติของยาง

ingredient	SP 0.0	SP 0.1	SP 0.16	Wing L
STR SL	40	40	40	40
SKIM RUBBER	60	60	60	60
Acc. A	0.28	0.28	0.28	0.28
Acc. B	0.16	0.16	0.16	0.16
Acc. C	0.13	0.13	0.13	0.13
Anti oxidant SP	-	0.1	0.16	-
Wing stay L	-	-	-	0.16
Stearic acid	1.12	1.12	1.12	1.12
HMT	0.08	0.08	0.08	0.08
Zinc Oxide	3	3	3	3
Purosil	1.6	1.6	1.6	1.6
Yellow Vasaline	5	5	5	5
Yellow Pigment	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulphur	2.4	2.4	2.4	2.4

ทำการผสมยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แล้วตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง นำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และหาเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร

นำตัวอย่างยางทดสอบการบ่มแรงด้วยตู้อบลมร้อนแบบหมุน (Gear oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด ค่าฉนวนร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับก่อนการบ่มแรง

3.3.3.4 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของน้ำมันต่อสมบัติของยาง

3.3.3.4.1 ผลของชนิดของน้ำมันต่อสมบัติของยาง

ผสมยางโดยทำการแปรชนิดของน้ำมัน เพื่อศึกษาผลของชนิดของน้ำมันต่อสมบัติของยางยางรัศของ โดยเลือกใช้ Yellow vaseline, White oil, และ Spindle oil ตามสูตรดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สูตรยางที่ใช้ในการทดลองศึกษาผลของชนิดของน้ำมันต่อสมบัติของยาง

ingredient	yellow vaseline	White oil	Spindle oil
STR 5L	40	40	40
SKIM RUBBER	60	60	60
Acc. A	0.28	0.28	0.28
Acc. B	0.16	0.16	0.16
Acc. C	0.13	0.13	0.13
Anti oxidant SP	0.16	0.16	0.16
Stearic acid	1.12	1.12	1.12
HMT	0.08	0.08	0.08
Zinc Oxide	3	3	3
Purosil	1.6	1.6	1.6
Yellow Vaseline	5	-	
White oil	-	5	-
Spindle oil	-	-	5
Yellow Pigment	0.04	0.04	0.04
Sulphur	2.4	2.4	2.4

3.3.3.4.2 ผลของปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของยาง

ผสมยางโดยทำการแปรปริมาณของน้ำมัน เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของยาง ยางรีดของ โดยเลือกใช้ Yellow vaseline, เป็นสูตรอ้างอิง เปรียบเทียบกับ Spindle oil และแปรปริมาณของ Spindle oil ตามสูตรดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สูตรยางที่ใช้ในการทดสอบศึกษาผลของปริมาณน้ำมันต่อสมบัติของยาง

ingredient	Oil 0	yellow vasline	Oil 5	Oil 7	Oil 9
STR 5L	40	40	40	40	40
SKIM RUBBER	60	60	60	60	60
Acc. A	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Acc. B	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Acc. C	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Anti oxidant SP	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Stearic acid	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
HMT	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Zinc Oxide	3	3	3	3	3
Purosil	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Yellow Vaseline	-	5	-		-
Spindle oil	-	-	5	7	9
Yellow Pigment	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulphur	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

ทำการผสมยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง แล้วตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง นำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และหาเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร

นำตัวอย่างยางทดสอบการบ่มเร่งด้วยตู้อบลมร้อนแบบหมุน (Gear oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับก่อนการบ่มเร่ง

3.3.3.5 ศึกษาการเอกซ์ทรูดยางคอมปาวด์สูตรยางแก้วและวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำ

ทำการเลือกสูตรยางที่เหมาะสมคือสูตร Oil 5 (จากการทดลองที่ 3.3.3.4) ทำการผสมยางและสารเคมีด้วยเครื่องผสมแบบปิด (ยกเว้นกำมะถัน) ตั้งยางทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำยางมาบดด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ทำการผสมกำมะถันแล้วรีดออกมาเป็นแผ่นบาง ตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

นำยางคอมปาวด์มาอุ่นด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ตัดให้เป็นแถบกว้าง 1.5 นิ้ว ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูด ดันยางออกมาเป็นท่อ วัดขนาดของยางที่ออกมาใน 1 นาที ทำการวัดความหนาของท่อ คำนวณหาร้อยการพองตัวของยาง(% die swell) ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ die swell} = \frac{\text{ความหนาของยาง} - \text{ความหนาของ die}}{\text{ความหนาของ die}} \times 100 \quad (3.11)$$

โดยทำการแปรสภาวะการทดลองดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ 60 °C, 75 °C, และ 90 °C
- ความเร็วสกรู 10 rpm, 30 rpm, และ 50 rpm

จากนั้นเลือกสภาวะการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูดที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ 75°C ความเร็ว 30 rpm ทำการเอกซ์ทรูดยางเป็นท่อ สวมในแกนเหล็ก จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์ด้วยหม้ออบไอน้ำโดยใช้ความดัน 3 bar เวลา 10 นาที (สภาวะเดียวกับที่โรงงานใช้)

และทดสอบสมบัติความทางกายภาพ คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร

3.3.3.6 ศึกษาการทดลองผลิตยางรัศของชนิดยางแก้วที่โรงงาน

นำสูตรยางที่ได้ไปทำการทดลองจริงที่โรงงาน ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยทดสอบสมบัติความทางกายภาพ คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร เปรียบเทียบกับมาตรฐานยางรัศของ ตามมาตรฐาน มอก. 886-2532

3.3.4 การผลิตยางรัดของประเภทที่ 3 หรือชนิดยางแป้ง

3.3.4.1 ศึกษาความแปรปรวนของยางสกิมต่อสมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติของยางรัดแป้ง

ผสมยางโดยทำการแปรยางสกิมที่มาจากบริษัทต่างๆที่โรงงานใช้เป็นวัตถุดิบ โดยยางสกิมจากบริษัท Excell ที่ได้รับใน lot ต่างๆ ได้แก่ E06/48, E21/04/48, E19/04/48, ยางสกิมจากบริษัท Hadsin ได้แก่ H08/03/48, H30/03/48 ตามสูตรดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 สูตรยางแป้ง

Sample	Quantity (phr)
STR 5L	30
Skim	70
Acc. A	0.24
Acc. B	0.04
Acc. C	0.5
Antioxidant SP	0.16
Stearic acid	1.12
HMT	0.08
ZnO	3
Sulphur	2.4
Yellow Vaseline	2.4
Purosil	1.6
สีเหลือง	0.02
CaCO ₃	20

ทำการผสมยางด้วยเครื่องผสมแบบปิด แล้วตั้งยางทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการผสมดังนี้

1. ทำการบดยาง STR 5L กับยาง skim โดยใช้เวลา 3 นาที หรือให้มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 70 °C
2. ใส่สารกระตุ้น (Stearic acid, ZnO) antioxidant สี ใช้เวลาประมาณ 1 นาที
3. ใส่ vaseline, purosil, CaCO₃ ใช้เวลาประมาณ 2 นาที
4. ใส่สารตัวเร่ง (Acc. A, Acc. B, Acc. C, HMT) ใช้เวลาประมาณ 1 นาที

จากนั้นนำออกมาจากเครื่องผสมแบบปิดเพื่อทำการผสม Sulphur ใน Two roll mill โดยทำการอุ่นยางประมาณ 2 นาที แล้วผสม Sulphur โดยใช้เวลาประมาณ 3 นาที

นำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปหาค่าความหนืดด้วยเครื่อง Mooney Viscometer และหาเวลาในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง MDR จากนั้นนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus) และความยืดถาวร (Tension set)

นำตัวอย่างยางทดสอบการบ่มเร่งด้วยตู้อบลมร้อนแบบหมุน (Gear oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบ ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเทียบกับก่อนการบ่มเร่ง

3.3.4.2 ศึกษาผลของความแปรปรวนของยางสกิมต่อการเอ็กซ์ทรูดยางสูตรยางรัดแป้ง

ผสมยางโดยทำการแปรยางสกิมที่มาจากบริษัทต่างๆที่โรงงานใช้เป็นวัตถุดิบ โดยยางสกิมจากบริษัท Excell ที่ได้รับใน lot ต่างๆ ได้แก่ E06/48, E21/04/48, E19/04/48, ยางสกิมจากบริษัท Hadsin ได้แก่ H08/03/48, H30/03/48 ตามสูตรดังตารางที่ 3.10

3.3.4.2.1 ทำการผสมยางและสารเคมีด้วยเครื่องผสมแบบปิด (ยกเว้นกำมะถันซึ่งทำการผสมใน Two roll mill) ดังข้างที่ไว้ให้เขียน จากนั้นนำยางมาบดด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ทำการผสมกำมะถันแล้วรีดออกมาเป็นแผ่นบาง ดังข้างที่ไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

3.3.4.2.2 นำยางคอมปาว์ดมาอุ่นด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ตัดให้เป็นแถบกว้าง 1.5 นิ้ว ป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูด ดันยางออกมาเป็นท่อ วัดขนาดของยางที่ออกมาใน 1 นาที ทำการวัดความหนาของท่อ คำนวณหาร้อยการพองตัวของยาง(% die swell) ดังสมการที่ 3.11

โดยทำการแปรสภาวะการทดลองดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ 60 °C, 75 °C, และ 90 °C
- ความเร็วสกรู 10 rpm, 30 rpm, และ 50 rpm

3.3.4.2.3 ทำการตัดยางที่ออกมาเป็นท่อให้เป็นแผ่นเพื่อนำไปทำการอบที่โรงงานและนำมาทดสอบสมบัติความทนกายภาพ คือ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300%

3.3.4.3 ศึกษาสมบัติของยางรัดแป้งที่ใช้ยางสกิม 5 ตัวอย่างหลังการวัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำ

นำยางที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำทั้ง 5 สูตรแล้วทดสอบ ความหนาแน่น ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) โมดูลัสที่ 300% (300% Modulus) และความยืดถาวร (Tension set)

3.3.4.4 การทดลองผลิตยางรัดของชนิดยางเป่งที่โรงงาน

นำสูตรยางที่ได้ไปทำการทดลองจริงที่โรงงาน ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะ ความต้านทานต่อแรงดึง ความยืดเมื่อขาด โมดูลัสที่ 300% และความยืดถาวร เปรียบเทียบกับมาตรฐานยางรัดของ ตามมาตรฐาน มอก. 886-2532

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ความแปรปรวนของสมบัติยางสกินดิบ

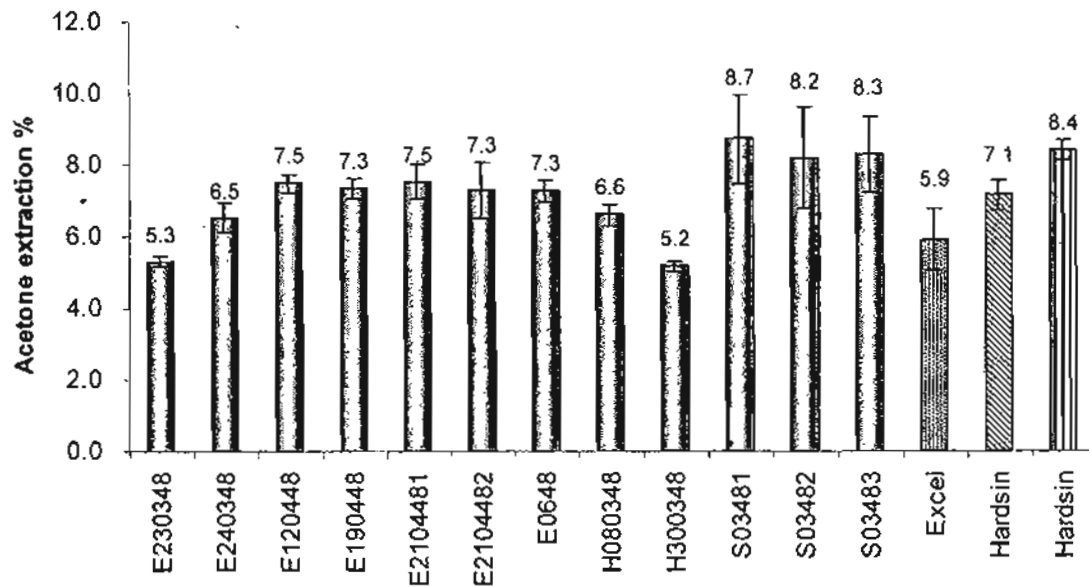
นำยางสกินจากสามแหล่งผลิต คือ EXCEL (6 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ E เป็นตัวเริ่มต้น), HARDSIN (2 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ H เป็นตัวเริ่มต้น) และ SAFESKIN (3 ก้อน ใช้สัญลักษณ์ S เป็นตัวเริ่มต้น) มาทดสอบสมบัติดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.1 ได้ผลดังตารางที่ 4.1, 4.2 และรูปที่ 4.1-4.10

ตารางที่ 4.1 สมบัติของยางสกินดิบจากแหล่งผลิตต่างๆ

Lot no of Skim	Acetone Extraction (%)	VolatileMatter (%)	ML1+4 (100 °C)	Nitrogen (%)	P0	P30	PRI
E230348	5.29 ± 0.15	1.55 ± 0.02	90 ± 0.99	2.01	47.5	8	16.8
E240348	6.51 ± 0.41	1.87 ± 0.06	103 ± 1.65	2.08	55	9	16.4
E120448	7.47 ± 0.27	1.31±0.25	70 ± 0.78	1.94	38	8.5	22.4
E190448	7.34 ± 0.29	1.38 ± 0.10	92 ± 1.19	1.67	45	5.5	12.2
E2104481	7.51 ± 0.46	1.54 ± 0.05	90 ± 1.58	1.63	45.5	5.5	12.1
E2104482	7.3 ± 0.78	1.09 ± 0.29	86 ± 2.21	1.82	48	12.5	26
E0648	7.26 ± 0.29	2.81 ± 1.07	87 ± 0.90	2.21	47	12	25.5
H080348	6.58 ± 0.29	2.07 ± 0.04	58 ± 0.17	2.22	22	4.5	20.5
H300348	5.16 ± 0.14	1.2 ± 0.04	46 ± 0.27	1.57	16.5	3	18.2
S03481	8.69 ± 1.28	1.27 ± 0.25	41 ± 0.38	1.81	21	7.5	35.7
S03482	8.18 ± 1.42	1.54 ± 0.15	58 ± 0.45	1.8	33.5	12.5	37.3
S03483	8.26 ± 1.05	1.1 ± 0.053	44 ± 0.20	1.71	19	7	36.8
Excel เฉลี่ย	5.9 ± 0.86	1.46 ± 0.26	88 ± 10.80	1.86	46.5	8.17	17.65
Hardsin เฉลี่ย	7.14 ± 0.42	1.64 ± 0.62	53 ± 6.53	1.89	19.25	3.75	19.35
Safeskin เฉลี่ย	8.38 ± 0.28	1.3 ± 0.22	50 ± 8.80	1.77	24.5	9	36.6

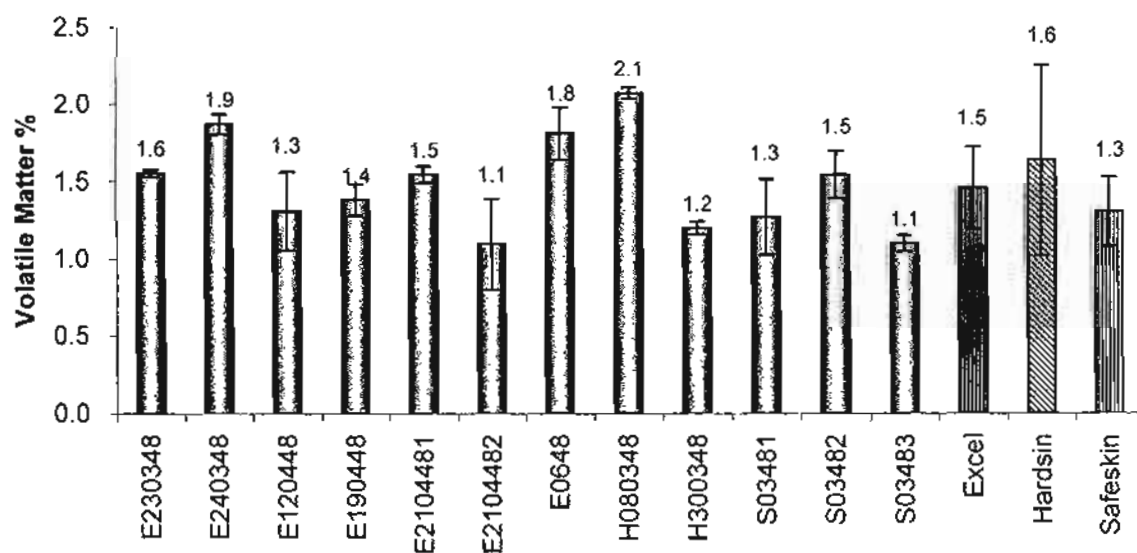
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในยางสกิมจากแหล่งผลิตต่างๆ

Lot no of Skim	Content (mg/Kg)		
	Cu	Mn	Fe
E230348	22.12	2.28	154.84
E240348	15.59	1.24	63.73
E120448	11.60	1.53	56.41
E190448	13.04	2.56	224.34
E2104481	11.85	1.71	69.11
E2104482	11.93	3.11	220.88
E0648	8.17	1.66	65.43
H080348	9.81	1.08	74.47
H300348	19.53	1.82	50.98
S03481	13.03	0.70	46.64
S03482	11.88	0.68	52.22
S03483	13.14	0.63	46.73
Excel เฉลี่ย	13.47	2.01	122.10
Hardsin เฉลี่ย	14.67	1.45	62.73
Safeskin เฉลี่ย	12.68	0.67	48.53



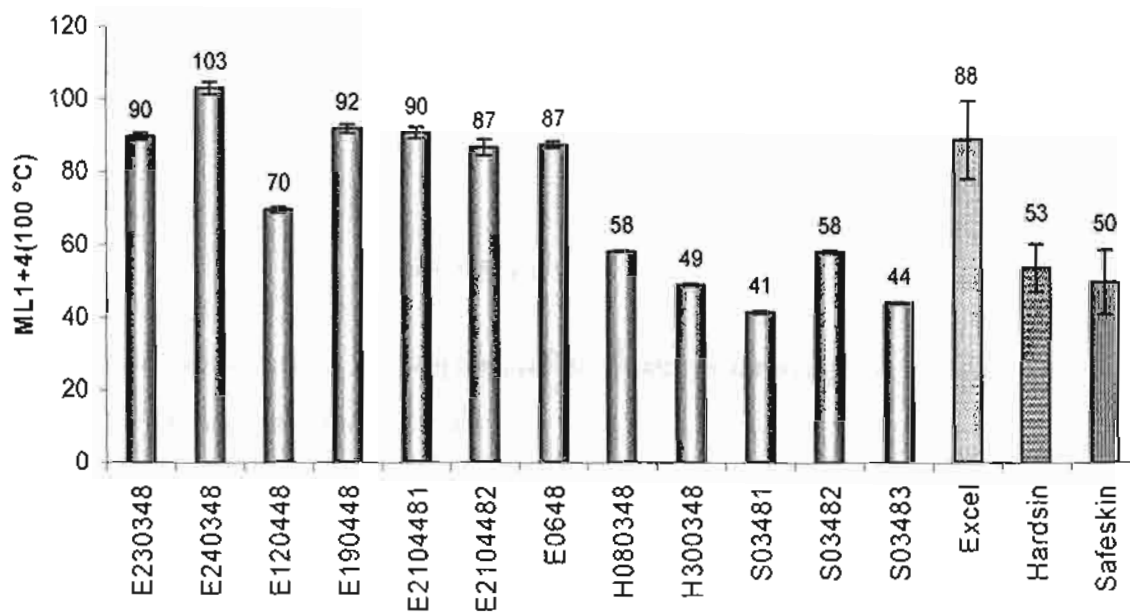
รูปที่ 4.1 Acetone extraction ของยางสกิมดิบใน lot ต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า ปริมาณ Acetone extraction ของยาง EXCEL มีปริมาณต่ำสุด แสดงว่ายางสกิมของ EXCEL มีปริมาณสารอินทรีย์ในยางที่ไม่ใช่เนื้อยาง น้อยกว่าHARDSIN และ SAFESKIN ตามลำดับ ความแปรปรวนของยางแต่ละก้อนจากแหล่งผลิตเดียวกันไม่สูงมากนัก



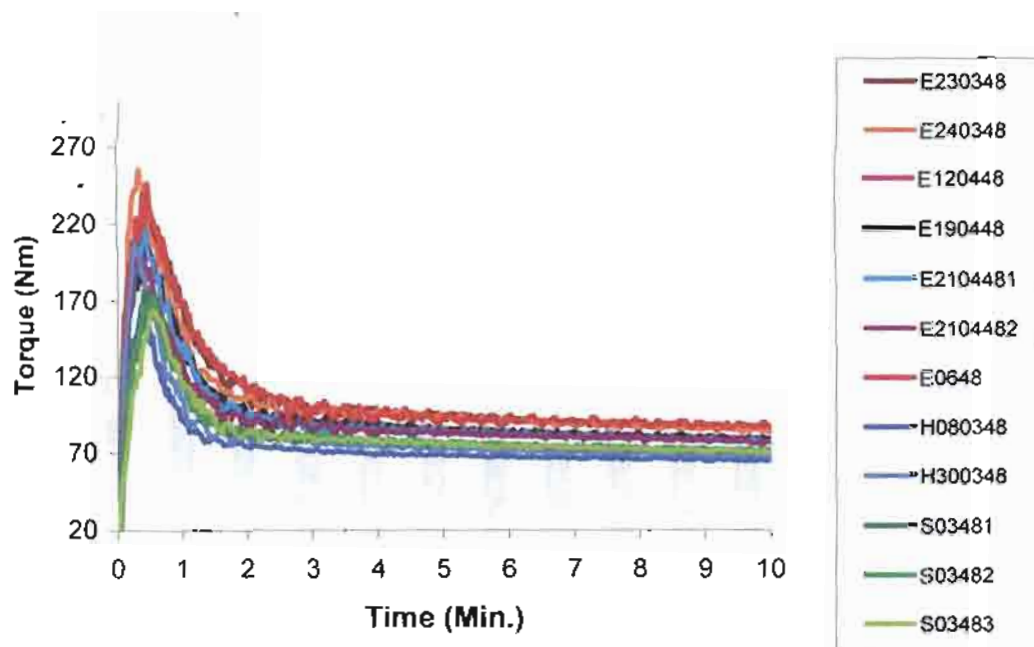
รูปที่ 4.2 ปริมาณสารระเหยได้ของยางสกิมดิบใน lot ต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่า ค่า Volatile Matter ทั้งสามแหล่งผลิตมีค่าไม่ต่างกันมาก โดยที่ ยางสกิมของ Hardsin มีค่าสูงกว่า Excel และ Safeskin ซึ่งแสดงว่ายางสกิมของ Hardsin มีปริมาณความชื้นมากกว่าอีกสองแหล่งผลิต และพบความแตกต่างของปริมาณสารระเหยจากยางแต่ละก้อนอยู่ในช่วงไม่เกิน 2 % โดยยางสกิมของ Excel เห็นความแตกต่างค่อนข้างมาก อาจจะเนื่องมาจากปริมาณการทดสอบมากกว่าแหล่งอื่นด้วย

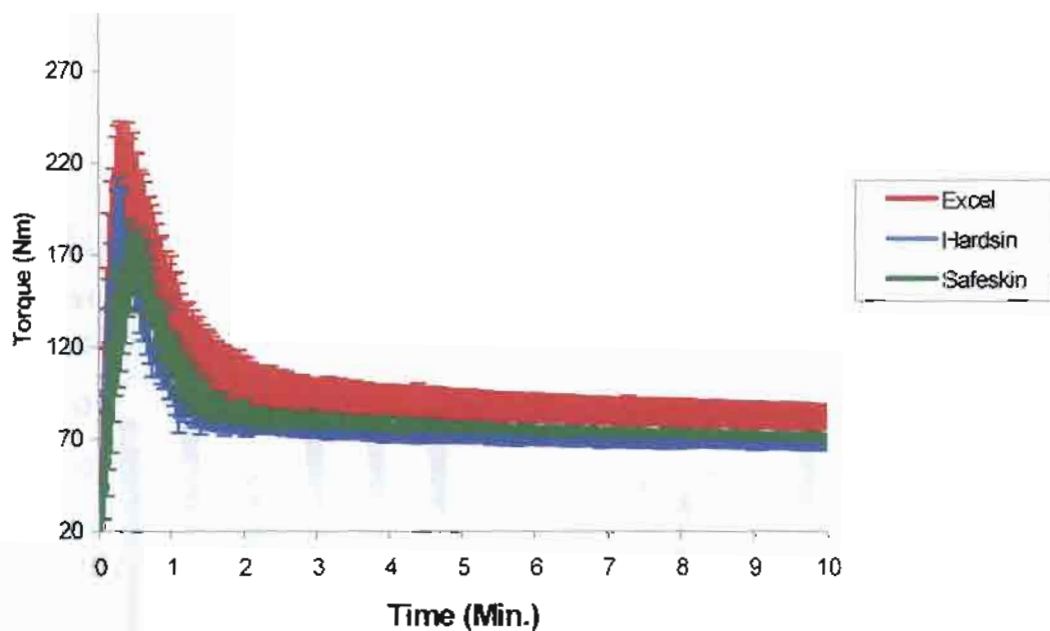


รูปที่ 4.3 ML1+4(100 °C) (Mooney viscosity) ของยางดิบใน lot ต่างๆ

สำหรับค่าความหนืดมูนนี่ของยางสกิม พบว่ายางจาก Excel มีความหนืดสูงที่สุด และมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงถึง 30 หน่วยมูนนี่ ยางสกิมจาก Hardsin และ Safeskin มีความหนืดมูนนี่ที่ต่ำกว่าของ Excel ความแตกต่างของยางแต่ละก้อนอยู่ในช่วง 9 หน่วย

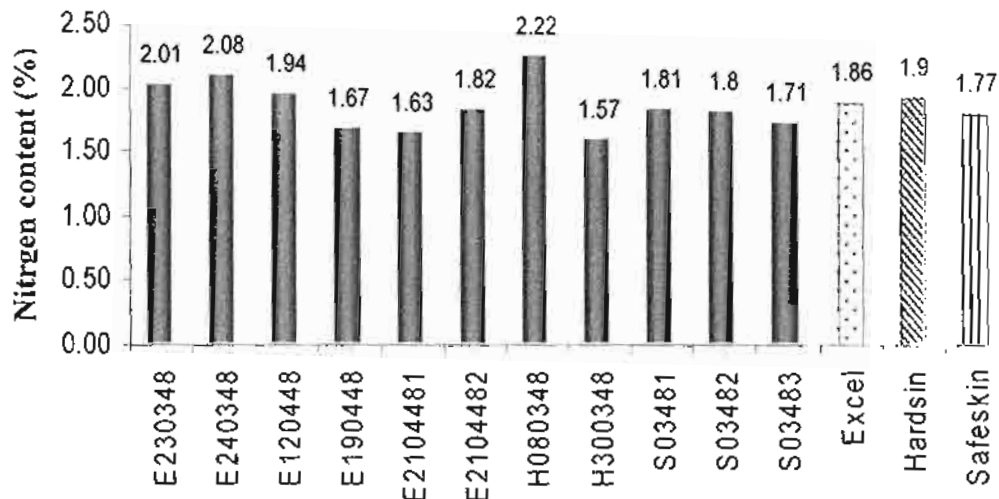


รูปที่ 4.4 ค่า torque ของยางสกิน lot ต่างๆ เมื่อทดสอบด้วยเครื่องบราวนเดอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C
ความเร็ว Rotor 30 rpm ทดเป็นเวลา 10 นาที



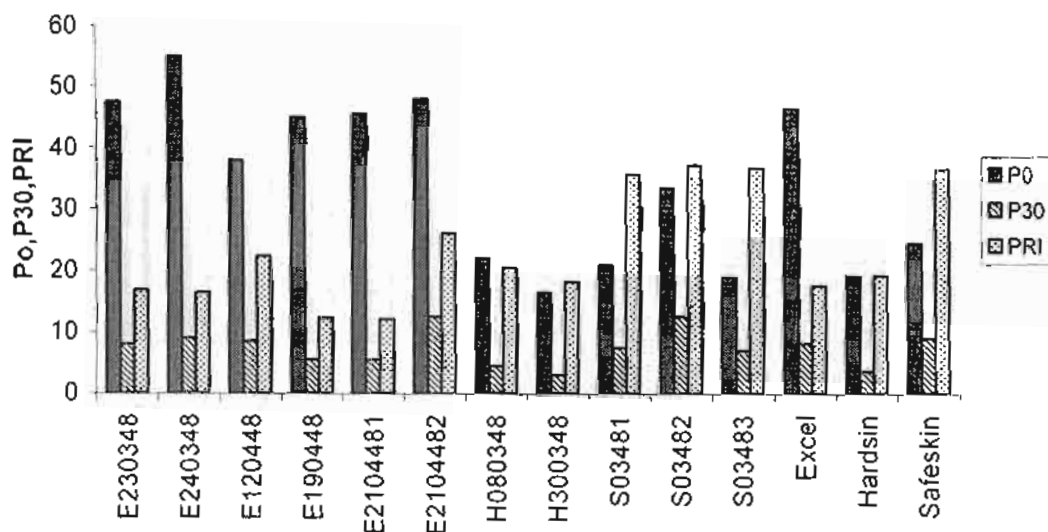
รูปที่ 4.5 ค่า torque เฉลี่ยของยางสกิน เมื่อทดสอบด้วยเครื่องบราวนเดอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C
ความเร็ว Rotor 30 rpm ทดเป็นเวลา 10 นาที

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่ายางสกีจาก Excel มีค่าทอร์คสูงสุดเมื่อบดผสม ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบความเหนียวนี้ ที่ยางสกีจาก Excel มีความเหนียวนี้สูงสุดทำให้ยางสกีจาก Excel ต้องใช้พลังงานในการบดสูง โดยที่หลังจากการบด 10 นาที ยางสกีจาก Excel ยังคงใช้แรงบดบดผสมที่มากกว่ายางสกีจาก Hardsin และ Safeskin



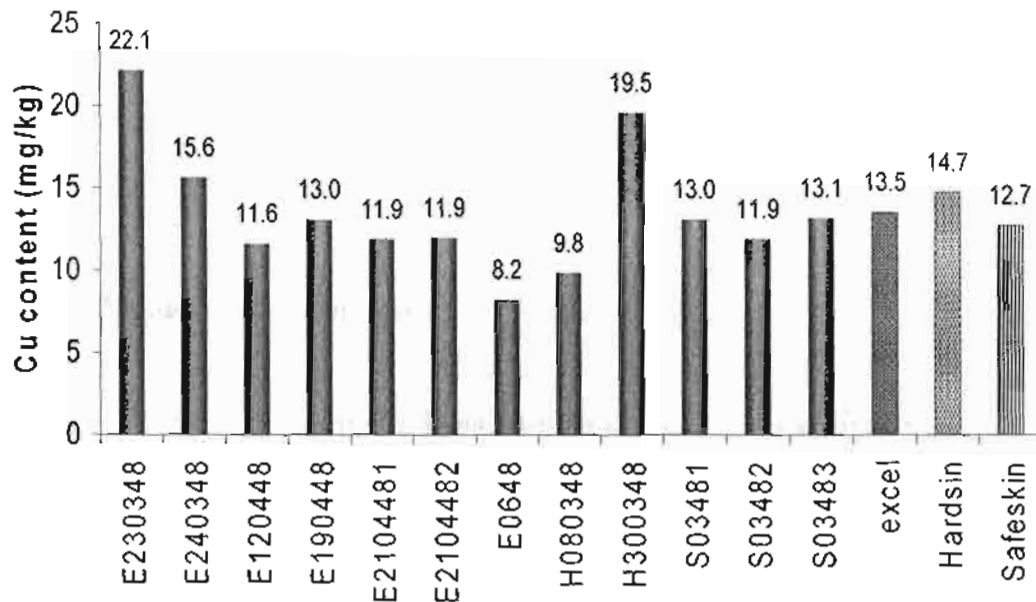
รูปที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนในยางดิบ lot ต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนของยางสกีทั้งสามแหล่งมีค่าสูงใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 1.6 ถึง 2.2 % ซึ่งสูงกว่ายางเกรดอื่นๆ เนื่องจากยางสกีผลิตจากทางน้ำยางซึ่งมีส่วนของที่ไม่ใช่ยางในปริมาณที่สูง จึงมีปริมาณโปรตีน นั่นคือมีปริมาณไนโตรเจนที่สูง โดยเฉลี่ยนั้นปริมาณไนโตรเจนจากยางสกีของ Excel มีปริมาณสูงสุด

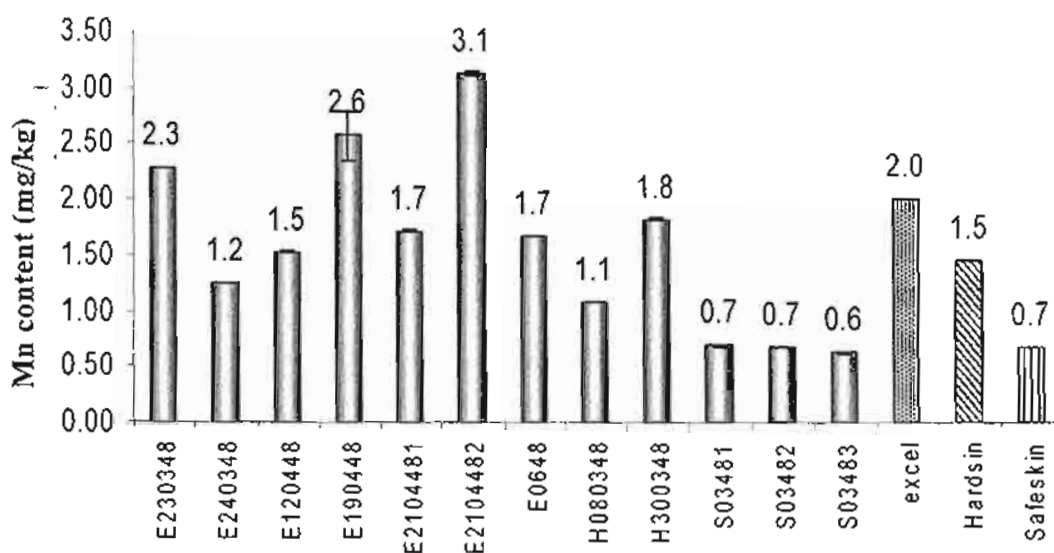


รูปที่ 4.7 ค่า Po, P30 และ PRI ของยางสกีดิบใน lot ต่าง

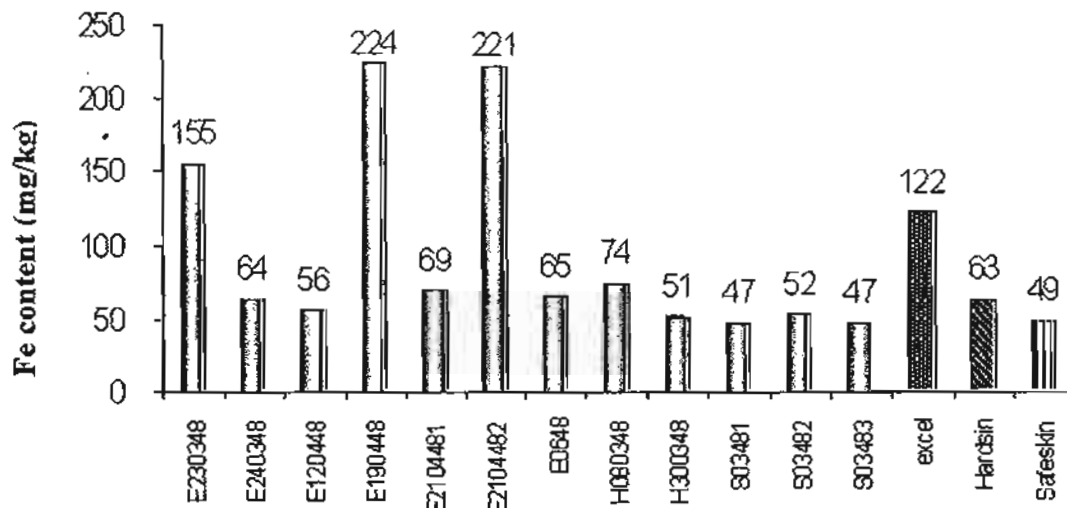
จากรูปที่ 4.7 พบว่ายางสกิมจาก Excel มีค่า Po สูงกว่าอีกทั้งสองแหล่งผลิตมากแสดงว่ายางสกิมจาก Excel มีค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกสูง สอดคล้องกับค่าความหนืดมูนนี้ และแรงบิดที่ใช้บดผสม โดยที่ค่า PRI ของยางสกิมจาก Safeskin มีค่าสูงสุด แสดงถึงความทนทานต่อการถูกออกซิไดส์ที่ดีกว่ายางสกิมจาก Excel และ Hardsin อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่ายางสกิมทั้งสามแหล่งมีค่า PRI ที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับยางชนิดอื่นที่มีค่า PRI มาตรฐานที่สูงกว่า 60 การแปรรูปยางสกิม เช่น การเอ็กทรูด หรือรีดแผ่น ต้องระมัดระวัง เพราะสมบัติของยางจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนในบรรยากาศออกซิเจน



รูปที่ 4.8 ปริมาณ Cu ในยางสกิม lot ต่างๆ



รูปที่ 4.9 ปริมาณ Mn ในยางสกิม lot ต่างๆ



รูปที่ 4.10 ปริมาณ Fe ในยางสกิน lot ต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 ถึง 4.10 เป็นการปริมาณโลหะในยาง (Cu, Mn, Fe) พบว่า ปริมาณ Cu ของยางทั้งสามแหล่งมีค่าต่างกันไม่มากนัก แต่ปริมาณ Mn และ Fe จากยางสกินของ Excel มีค่าสูงกว่า Hardsin และ Safeskin ทำให้ทราบว่ายางสกินของ Excel มีโอกาสที่จะเสื่อมได้ง่ายกว่า เพราะมีโลหะเป็นคะตะลิสต์ให้เกิดการถูกออกซิไดซ์มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า PRI ที่ยางสกินจาก Excel มีค่าต่ำสุด

4.2 การออกสูตรยางรัดของเบื้องต้น

4.2.1 ผลของอัตราส่วนยาง STR5L:ยางสกิน และสูตรยางต่อสมบัติของยาง

เพื่อให้ได้ยางรัดที่ทำจากยางผสมยางสกิน ที่มีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.886-2532 จึงทำการแปรอัตราส่วนระหว่างยาง STR5L กับยางสกิน และออกสูตรยางต่างๆ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.2.1 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11 ตารางที่ 4.3