1. บทนำ

ยางรัดของเป็นผลิตภัณฑ์ยางประเภทหนึ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิต คือ ประเภทแรกเป็น ยางแก้ว (Crepe Rubber Band) เป็นประเภทที่มีลักษณะใส สีน้ำตาลอ่อน และมีความเหนียวมาก เพราะมีส่วนผสมของยางธรรมชาติถึงร้อยละ 98 จัดเป็นยางรัดของชนิดที่ดีที่สุดและมีราคาแพง ยางรัดของประเภทที่สองมีคุณสมบัติด้อยกว่าประเภทแรก เรียกว่า ยางแป้ง (Compound Rubber Band) มีส่วนผสมของยางธรรมชาตินน้อยลง ประมาณร้อยละ 20 – 50 จึงมีราคาถูกกว่าชนิดแรก [1] ยางรัดของที่ผลิตจำหน่ายในตลาดมีขนาดตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จนถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยางรัดของที่ใช้ในเมืองไทยจะมีอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางเกือบ 2 นิ้ว และมีสีให้เลือใช้อยู่เพียง 3 สี คือ เขียว แดง น้ำตาล โดยทั่วไปแล้ว ขนาด สี และคุณภาพของยางรัดของที่ส่งออกต่างประเทศจะเป็นไปตามความต้องการของผู้สั่งซื้อ เนื่องจากยางรัดของเป็นวัสดุใช้สิ้นเปลือง ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ยางรัดของจะถูกนำมาใช้งานหลายด้าน เช่น ใช้รัดของในกิจการร้านอาหารและเครื่องดื่ม ใช้รัดแฟ้มหรือเอกสารในสำนักงาน ใช้รัดผัก ผลไม้ ดอกไม้ในร้านค้าหรือซุปเปอร์มาเกต หรือใช้รัดพัสดุ หนังสือพิมพ์ และธนบัตร เป็นต้น ยางรัดของเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออก เพราะกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณการผลิตส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ

ในปี พ.ศ. 2544 มีการใช้ยางธรรมชาติผลิตเป็นยางรัดของภายในประเทศ 25,942 ตัน คิดเป็นร้อยละ 10.25 ของการใช้ยางทั้งหมดภายในประเทศ [2] คิดเป็นผลิตภัณฑ์ลำดับที่ 4 รองจากผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับยางรถยนต์/เครื่องบิน ถุงมือยาง และ ยางยืด ตามลำดับ มูลค่าการส่งออกยางรัดของในปี พ.ศ. 2544 แสดงในตารางที่ 1.1 [2] จัดอยู่ในลำดับที่ 5 ของการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางและคิดเป็นร้อยละ 4 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางไทย มีการนำเข้ายางรัดของดังแสดงในตารางที่ 1.2 [2] จากการสำรวจของสถาบันวิจัยยางในปี พ.ศ. 2545 พบว่ามีจำนวนโรงงานที่ผลิตยางรัดของมีจำนวนทั้งสิ้น 27 โรงงาน [3] ปริมาณการนำเข้าและส่งออกยางรัดของแสดงในตารางที่ 1.3 [4] ในปี พ.ศ. 2531 ไทยส่งออกยางรัดของไปจำหน่ายต่างประเทศคิดเป็นมูลค่า 542 ล้านบาท หรือปริมาณ 18,088 ตัน [5] เป็นที่น่าสังเกตว่าตลาดยางรัดของมีการเติบโต เนื่องจากยางรัดของเป็นสินค้าที่มีตลาดแน่นอน แต่เป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐาน หากไม่หาจุดโฆษณาให้กับตัวเองหรือไม่พัฒนาคุณภาพให้ดีขึ้น ก็จะมีผลกระทบต่อการขายสินค้า ดังนั้นการปรับปรุงรูปโฉมของผลิตภัณฑ์หรือการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ขึ้นมา จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบันนี้

ตารางที่ 1.1 มูลค่าการส่งออกยางรัดของ

ปี พ.ศ.	2540	2541	2542	2543	2544
มูลค่า (ล้านบาท)	1,252.48	1,387.83	1,167.79	1,240.22	1,881.94

ที่มา : ข้อมูลวิชาการยางพารา 2545, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 1.2 มูลค่าการนำเข้ายางรัดของ

ปี พ.ศ.	2540	2541	2542	2543	2544
มูลค่า (ล้านบาท)	15.72	44.04	24.61	51.58	47.92

ที่มา : ข้อมูลวิชาการยางพารา 2545, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 1.3 ปริมาณการนำเข้าและส่งออกยางรัดของ

หน่วย : กิโลกรัม

ปี พ.ศ.	2543 (ม.ค.-ธ.ค.)	2544 (ม.ค.-ธ.ค.)	2545 (ม.ค.-ธ.ค.)	2546 (ม.ค.-ต.ค.)
ปริมาณนำเข้า	105,061	62,353	51,016	67,456
ปริมาณส่งออก	29,473,008	28,818,515	24,021,167	23,799,408

ที่มา : The Rubber International, 6(1), 64, 2004.

ยางรัดของผลิตจากยางธรรมชาติหลายเกรด ได้แก่ STR5L ADS RRS1 และ crepe การผลิตในทางอุตสาหกรรมมีขั้นตอนต่างๆ สรุปได้ดังต่อไปนี้ ผสมยางและสารเคมีจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วรีดเป็นแผ่นบางๆ เช่น หนาประมาณ 0.25 นิ้ว ตัดยางเป็นเส้นให้มีความกว้างเหมาะสมต่อการป้อนยางเข้าเครื่องอัดรีด (extruder) เช่น กว้างประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นนำยางเข้าเครื่องอัดรีด จะได้ยางเป็นรูปท่อคล้ายท่อน้ำ เป่าแป้งเข้าไปในท่อยางเพื่อช่วยหล่อลื่นไม่ให้ยางเหนียวติดกัน นำท่อยางสวมเข้ากับแกนอลูมิเนียม นำไปอบในหม้ออบไอน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 140 $^{\circ}$C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนี้ลอกท่อยางที่อบเสร็จแล้วออกจากแกนอลูมิเนียม โดยใช้วิธีการเป่าลม นำท่อยางที่ได้ไปล้างทำความสะอาด ตัดท่อยางตามความหนาที่กำหนดจะได้ยางรัดของ อบยางรัดของให้แห้ง เช่น ที่ 40°C เป็นเวลา 15 นาที หรือผึ่งลม ทำการคัดแยก ทดสอบสมบัติ และบรรจุหีบห่อ

ตัวอย่างการผลิตยางรัดของที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยยางสงขลา [6] มีดังต่อไปนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- ยางแห้ง และสารเคมีต่างๆ
- เครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง
- เครื่องอัดรีดยาง
- ชุดหัวไล
- ท่ออลูมิเนียม
- หม้ออบไอน้ำ
- เครื่องปั๊มลม
- เครื่องตัดยาง

สูตรยางรัดของ

รายการ	ส่วนโดยน้ำหนัก
ยาง	100
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	4
กรดสเตียลิค (Stearic acid)	1
ปิโตรเลียม เยลลี่ (Petroleum jelly)	2.5
ซีบีเอส (CBS)	1
ทีเอ็มทีดี (TMTD)	0.1
วิงสเตย์ แอล (Wingstay L)	1.5
ซัลเฟอร์ (Sulfer)	1.5

ขั้นตอนการผลิต

1. เตรียมยางและสารเคมีตามสูตร
2. บดยาง และเติมสารเคมีบดผสมกับยางให้เครื่องบดมีอุณหภูมิความร้อนที่ 70°C

ลำดับขั้นตอนในการบดมีดังนี้

รายการ	เวลาบดผสม (นาที)
2.1 บดให้นิ่ม	4
2.2 เติมปิโตรเลียม เยลลี่	3
2.3 เติมซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริค	5
2.4 เติมซีบีเอส	6
2.5 เติมทีเอ็มทีดีและวิงสเตย์แอล	4
2.6 ซัลเฟอร์	3
รวม	25

ในขั้นตอนการเติมสารเคมี ให้กวาดและโกยสารเคมีที่ตกลงบนถาดใส่กลับบนกองยางเพื่อบดผสมกับยางจนหมด

2.7 รีดยางผ่านลูกกลิ้งหนา 2.5 มม. ผึ่งแผ่นยางไว้ที่อุณภูมิห้อง 1 คืน

3. ตัดยางเป็นชิ้นเล็กๆขนาดกว้าง 5 ซม. ขณะเดียวกันอุ่นเครื่องอัดรีดยางให้ส่วนสกรูและส่วนลำตัวร้อน 70°C และส่วนหัว 80°C ประกอบชุดไดกับส่วนหัวของเครื่อง
4. ใส่ชั้นยางลงในช่องป้อนยาง แกนสกรูจะหมุนพาชั้นยางไปทางส่วนหัวของเครื่อง ยางจะถูกอัดผ่านรูร่องของชุดได ปรับส่วนที่เป็นแกนให้ได้ศูนย์กลางกับไดส่วนปลอก

5. เปิดลมเป่าแป้งเข้าในท่อยาง เพื่อกันไม่ให้ยางติดกัน ท่อยางจะไหลออกมาเรื่อยๆ เมื่อมีการป้อนยางอย่างสม่ำเสมอ
6. นำท่อยางผ่านน้ำหล่อเย็น สายพานจะนำท่อยางไหลไปเรื่อยๆ โดยปรับอัตราความเร็วของท่อยางและสายพานให้พอเหมาะกัน
7. ตัดท่อยางแล้วสวมกับท่ออลูมิเนียม ตั้งบนราววางท่ออลูมิเนียมเป็นชั้นๆ
8. อบท่อยางในหม้ออบไอน้ำที่ความดัน 3.8 กก./ซม.^{2} เป็นเวลา 15 นาที
9. ถอดท่อยางออกจากท่ออลูมิเนียมแล้วนำไปตัดกับเครื่องตัดท่อยางให้เป็นวงเล็กๆ
10. ล้างและผึ่งยางให้แห้ง
11. คัดเลือกยางที่เสียออก
12. ชั่งยางรัดของและบรรจุลงถุง

การทดสอบสมบัติยางรัดของสามารถดำเนินการได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางรัดของ มอก.886-2532 ของกระทรวงอุตสาหกรรม การทดสอบสมบัติเชิงกลที่สำคัญหรือสมบัติทางฟิสิกส์(ตามที่ระบุในมาตรฐาน) ได้แก่ ความต้านแรงดึง ความยืดเมื่อขาด มอดุลัสที่ความยืดร้อยละ 300 ความยืดถาวร (permanent set) การบ่มเร่ง และความหนาแน่น มีการจัดประเภทของยางรัดของตามสมบัติดังกล่าวได้ 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางรัดของตาม มอก.886-2532

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3
ความต้านแรงดึง (MPa) ไม่น้อยกว่า	14.7	17.7	15.3
ความยืดเมื่อขาด (ร้อยละ) ไม่น้อยกว่า	700	700	550
มอดุลัสที่ความยืดร้อยละ 300 (MPa)	ไม่เกิน 1.37	1.37-1.77	ไม่น้อยกว่า 1.96
ความยืดถาวร (ร้อยละ) ไม่เกิน	5	8	10
การบ่มเร่ง -ความต้านแรงดึง เปลี่ยนแปลงจากความต้านแรงดึงก่อนบ่มเร่ง (ร้อยละ) ไม่เกิน -ความยืดเมื่อขาด เปลี่ยนแปลงจากความยืดเมื่อขาดก่อนบ่มเร่ง (ร้อยละ) ไม่เกิน	25 20	25 20	25 20
ความหนาแน่น (Mg/m^3) ไม่เกิน	1.0	1.0	1.4

มาตรฐานยางรัดของของประเทศมาเลเซียแสดงในตารางที่ 1.5 [7]

ตารางที่ 1.5 สมบัติทางกายภาพที่ต้องการของยางรัดของตาม Malaysian Standard, MS973:1985

สมบัติ	ยางแก้ว โมดูลัสต่ำ	ยางแก้ว โมดูลัสสูง	ยางสีขุ่น
โมดูลัสที่ 300 % (MPa)	1.37 สูงสุด	1.37 - 1.77	1.96 ต่ำสุด
ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	14.7 ต่ำสุด	17.7 ต่ำสุด	15.3 ต่ำสุด
ความยืดเมื่อขาด (%)	700 ต่ำสุด	700 ต่ำสุด	550 ต่ำสุด
Permanent set (%)	5 สูงสุด	8 สูงสุด	10 สูงสุด
ความถ่วงจำเพาะ	1.0 สูงสุด	1.0 สูงสุด	1.3 สูงสุด

การออกสูตรยางรัดของนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการ [7] การกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะให้ไม่เกิน 1.0 สำหรับยางแก้ว แสดงให้เห็นว่า ยางดังกล่าวจะต้องไม่มีสารตัวเติมอยู่ ดังนั้น ยางที่ใช้จะต้องเป็นยางธรรมชาติ เพราะเป็นยางที่ตกผลึกได้เมื่อถูกดึงยืด ซึ่งจะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูง การกำหนดโมดูลัส จะต้องพิจารณาถึงปริมาณของกำมะถันและน้ำมันที่จะใส่เข้าไปในยาง รวมไปถึงปริมาณสารตัวเติมในกรณีที่เป็นยางขุ่น ระบบการวัลคาไนซ์ควรจะเป็นกำมะถัน เพราะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูง และเป็นระบบที่ง่ายต่อการผลิต

สำหรับการออกสูตรยางให้เป็นแก้ว หรือ Transparent นั้น จะต้องเลือกสารเคมีให้อยู่ในสภาพที่มีดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับยาง หรือไม่ก็ใช้ในปริมาณที่สามารถละลายในยางได้ ในกรณีของการใช้ซิงค์ออกไซด์ จะต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ชนิด "active" หรือ "transparent" ในปริมาณที่ไม่มากนัก เช่น ไม่เกิน 1 phr แต่พึงระวังถ้ายางขาดซิงค์ออกไซด์ จะทำให้ยางมีโมดูลัสและความทนทานต่อแรงดึงต่ำมาก ดังนั้น ควรใช้ซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่สูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งยังคงเป็นยางแก้วได้

เนื่องจากกระบวนการทำยางรัดของ จะต้องมีการอัดรีด ดังนั้น สารตัวเร่งที่จะใช้ จะต้องไม่ทำให้ยางสก๊อชง่าย ดังนั้น สารตัวเร่งควรจะเป็นสารกลุ่มไธอะโซล เช่น MBTS แต่ถ้าพบว่ายางเสียรูปขณะอบ ก็ให้ใช้สารตัวเร่งในหมู่เดียวกันที่เร็วขึ้น เช่น MBT เป็นต้น หรือใช้สารตัวเร่ง TMTM กระตุ้นให้ MBTS ทำงานให้เร็วขึ้น แอนติออกซิแดนท์ก็ให้ใช้แบบ non-staining phenolic antioxidants และให้เลือกชนิดที่ป้องกันแสง เพราะยางเป็นยางแก้ว จะถูกแสงทำลายได้ง่าย

สูตรที่อาจจะเป็นไปได้สำหรับยางแก้วในมาตรฐานดังกล่าวแสดงในสูตรต่อไปนี้

สูตรยางรัดของชนิดยางแก้ว (Maurice Morton, Rubber Technology, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1982.)

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก
ยางแท่งเอสบีอาร์ 5 แอล	100
ซิงค์ออกไซด์, active	1
กรดสเตียริก	1
แอนติออกซิแดนท์[a]	1
MBTS	1
TMTM	0.1
กำมะถัน	2

([a]ตัวอย่างได้แก่ Antioxidants 2246)

สมบัติของยางหลังอบสุก 10 นาที ที่150° C

ความถ่วงจำเพาะ	0.94
ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	23
ความยืดขาด (%)	860
โมดูลัสที่ 300% (MPa)	1.2

ในสูตรดังกล่าว จะเห็นได้ว่าสมบัติของยางตรงตามคุณสมบัติของยางแก้วชนิดโมดูลัสต่ำ แต่ในสูตรนี้อาจจะปรับต่อไปได้อีก เช่น อาจจะใช้ยางแผ่นไม่รมควัน (ADS) แทนยางแท่งเอสบีอาร์ 5 แอล หรือแทนบางส่วน หรืออาจจะใช้ยางสกิมเสริมแทนบางส่วนด้วย ก็จะทำให้ต้นทุนลดลง

การปรับสูตรยางให้ได้เป็นยางแก้วที่มีโมดูลัสสูงขึ้น อาจจะทำโดยการเพิ่มปริมาณของกำมะถันเข้าไป เป็น 2.5 phr ก็อาจจะทำให้ค่าโมดูลัสสูงแล้ว หรือมิฉะนั้น ก็อาจจะใช้สารตัวเติม แมกนีเซียมคาร์บอเนต หรือ ซิลิกา ใส่ลงไปปรับให้ค่าโมดูลัสสูงขึ้น โดยที่จะไม่ทำให้ความเป็นแก้วของยางลดลงไป แต่จะทำให้ความถ่วงจำเพาะของยางเพิ่มขึ้นเกินกำหนดถ้าหากไม่ระวังปริมาณที่ใช้

สำหรับกรณีทำยางรัดสีขุ่น ก็อาจจะใช้สารตัวเติม เช่นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือดินขาวก็ได้ แต่จะใช้สารเหล่านี้มากไม่ได้ เพราะจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงเกินกำหนด ซึ่งทั้งดินขาวและแคลเซียมคาร์บอเนตมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6 ทำให้สามารถใส่ได้ไม่เกิน 25 phr แต่ถ้าใช้สารตัวเติมอื่นที่เบากว่าก็อาจจะใส่เข้าไปได้มากขึ้น อนึ่งถึงแม้ว่าการใส่สารตัวเติมลงไปมาก จะให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นเรื่อย ซึ่งไม่มีปัญหาต่อคุณสมบัติตามมาตรฐาน แต่การใส่สารตัวเติมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสามารถในการยืดของยางและค่าความทนทานต่อแรงดึงตกลงไปด้วย ซึ่งในที่สุดอาจจะต่ำกว่ามาตรฐานได้ ถ้ากรณีที่น้ำมันวาสลินราคาถูกกว่ายางธรรมชาติ การใช้น้ำมันวาสลินมาก

พร้อมๆกับการใส่สารตัวเติมให้มากขึ้นก็จะเป็นการลดต้นทุนได้มากขึ้นอีก แต่จะทำให้ค่าโมดูลัส ค่าความทนทานต่อแรงดึง และความสามารถในการยืดของยางลดลงด้วย

การออกสูตรยางรัดของ [8]

1. เริ่มต้นด้วยสมบัติของยางคอมปาวด์ที่ต้องการ
   - การกำหนดค่าโมดูลัส เป็นสิ่งที่บอกว่า ยางจะต้องแข็งแรง มีแรงรัดวัสดุที่กำลังใช้ได้
   - การกำหนดแรงดึง เป็นการบอกถึง ความแข็งแรงของยางไม่เปื่อยง่าย
   - การกำหนดความยืด เป็นการบอกความสามารถในการใช้งาน
   - Permanent set บอกถึง การวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม
   - ความถ่วงจำเพาะบอกถึง จะใส่สารตัวเติมลดต้นทุนมากไปไม่ได้
2. คำนึงถึงการแปรรูป
   - ต้องผ่านการผสม การอัดรีด(เอกซทรูด) การอบ แกะออกจากแบบ แล้วตัด บรรจุ
   - การอัดรีดต้องเลือกสารตัวเร่งที่ไม่สก็อชง่ายเกินไป และวัลคาไนซ์เร็ว
3. การทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด
   - เลือกยางราคาถูกที่สุด
   - สารตัวเติมราคาถูกที่สุด และใช้ปริมาณมากที่สุด

ตัวอย่างสูตรยางชนิดคอมปาวด์

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก
ยางธรรมชาติ (สกิม)	100
ซิงค์ออกไซด์	3
กรดสเตียริค	1
น้ำมันสปินดัล	3
กำมะถัน	2.5
แอนติออกซิแดนท์	1
MBTS	1
แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดกลาง	25-100

สมบัติที่ได้

ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต	300% Mod MPa	TS MPa	%EB	Permanent set	ถ.พ.
25	1.82	21.37	790	6	0.98
50	3.40	19.74	616	6	1.09
70	3.13	17.25	605	8	1.12
80	3.15	15.93	591	8	1.14
90	3.18	14.77	554	12	1.22

ตัวอย่างสูตรยางวัลคาไนซ์ด้วยเกลือเหลว

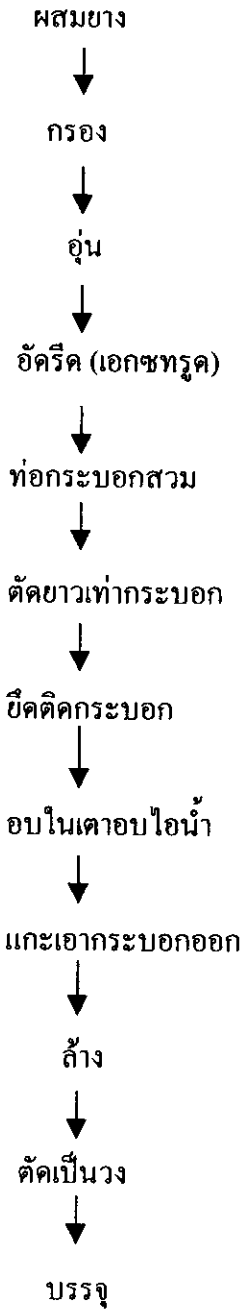
Pale crepe	75	PA80	25
ZnO	1.5	Stearic acid	1
Valcanox MB	1	Vulkacit F	1
Sulfer	2.5	Vulkasil S	15

*PA80 คือยางธรรมชาติที่เป็น precrosslink 80% ใช้ 53% KNO_3 + 40%$NaNO_2$ +7%$NaNO_3$ จุดหลอมเหลว 140°C ถ.พ. 1.8

ตัวอย่างสูตรยางชนิดต่างๆ

	Crepe band low modulus	Crepe band high modulus	Compound band
ADS	100	100	100
ZnO	1	1	1.5-3
Stearic acid	1	1	1
Sulhpur	2	2	2
Antioxidant	1	1	1
Oil	10	5	5
$CaCO_3$	-	-	25-100

กระบวนการผลิตยางรัดของ [8]



การผลิตยางรัดของชนิดธรรมดาที่มีการผลิตกันอยู่ทั่วไปนั้น ต้นทุนการผลิตน่าจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องจักร สูตรยางคอมปาวด์ กระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์ ราคาวัตถุดิบและสารเคมี และค่าแรงของพนักงาน เนื่องจากค่าแรงของคนงานภายในประเทศไทยมีอัตราค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ เช่น จีน เวียดนาม อินโดนีเซีย และอินเดีย ดังนั้น หากประเทศไทยจะแข่งขันทางธุรกิจกับประเทศเหล่านี้ย่อมมีความเสียเปรียบด้านต้นทุนการผลิตในกรณีที่ผลิตผลิตภัณฑ์พื้นฐาน การวิจัยและพัฒนาเพื่อทำผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ เช่น ยางรัดของสีสะท้อนแสง จัดเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่จะช่วยให้มีการได้เปรียบในการแข่งขันทางการค้า โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัย

ระยะสั้น (6 เดือน) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมยางธรรมชาติผสมกับสีสะท้อนแสง เพื่อที่จะพัฒนาไปเป็นยางรัดของชนิดพิเศษต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. แสงทอง ยืนยง, บรรษัทปริทรรศน์ ปีที่ 9 ฉบับที่ 12 กรกฎาคม 2532.
2. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2545, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)
3. ทำเนียบโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง 2545, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
4. The Rubber International, 6(1), 64, 2004.
5. ปานทิพย์ เปลี่ยนโมพี, วารสารกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ปีที่ 32 ฉบับที่ 11 พฤศจิกายน 2532.
6. "การผลิตยางรัดของ", ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
7. พรพรรณ ริธิอุทัย, เทคนิคการออกสูตรยาง, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2528
8. บุญธรรม นิธิอุทัย, ชลดา เลวิส, และ อาซีซัน แกสมาน, ผลิตภัณฑ์ยาง 1, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2540

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- ยางธรรมชาติ : ยางADS, ยางSTR5L, และ ยางcrepe
- พอลิเมอร์ที่ใช้ผสมกับยางธรรมชาติ : ethylene vinyl acetate (EVA) และ ultra-low-density-polyethylene (ULDPE)
- ยางสังเคราะห์ : SBR
- Vulcanizing agent : sulfer
- Activators : zinc oxide (white seal) จัดจำหน่ายโดย S. Samdran Chemicals Co. Ltd. ประเทศไทย, zinc oxide (active), zinc carbonate, stearic acid
- Accelerators : TMTD, MBTS
- Antioxidants : Wingstay L, BHT
- Fillers : $CaCO_3$, silica, TiO_2, magnesium carbonate, zinc stearate
- Paraffin oil
- Fluorescent pigment : OMNICOLOR PDQX4H318 (Fluorescence pink) เป็นแบบผง (~100%) Light fastness = 4 (DIN 53388) ประกอบด้วย polymide co-condensate with organic dyes ซื้อจาก Clariant Masterbatches (Thailand) Ltd.

EVA ที่ใช้มีอยู่ 2 เกรด เรียกว่า EVA22 และ EVA28 โดยมีส่วนผสมของไวนิวอะซิเตดเท่ากับ 22 และ 28 mol% ตามลำดับ ULDPE ที่ใช้ คือ ENGAGE® 8150 มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.868 การนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ผสมกับยางธรรมชาติเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสีของชิ้นงานที่ได้ เพราะพอลิเมอร์ทั้งสองนี้จะใส ไม่มีสี และสามารถเข้ากันได้ดีกับยางธรรมชาติระดับหนึ่ง โดยเฉพาะ ULDPE จะผสมเข้าได้ดีกับยางธรรมชาติ[1]

2.2 เครื่องมือ

- Two-roll mill (Yasuda Seiki® 191) ใช้เตรียมยางคอมปาวด์
- Moving Die Rheometer (Alpha Technology® MDR2000) ใช้หา cure time (t_{90}) ของยางคอมปาวด์
- Compression mold (Kao Tiech®) ใช้ขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นชิ้นงาน
- Tensile testing machine (LLOYD® 1000S) ใช้ทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบ
- Oven ใช้อบชิ้นทดสอบเพื่อการทดสอบ thermal aging

---

[1] V. Tanrattanakul and W. Udomkichdecha, Development of novel elastomeric blends containing NR and ULDPE, J. Appl. Polym. Sci., 82, 650-660 (2001).

- Hardness tester Shore A (ZWICK® 3100)ใช้วัดความแข็งของชิ้นทดสอบ

2.3 การเตรียมยางคอมปาวด์

การผสมยางเป็นการนำยางกับสารเคมีผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า ยางคอมปาวด์ (compounds) โครงการวิจัยนี้เตรียมยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) มีขั้นตอนการผสมดังนี้

1. ชั่งยางและสารเคมีตามสูตรที่กำหนด
2. บดยางให้นิ่ม ใช้เวลาประมาณ 3 นาที เติมสารเคมีตามลำดับต่อไปนี้ : stearic acid, pigment, fillers, paraffin oil, Zinc oxide / Zinc oxide active / Zinc carbonate, antioxidant, MBTS, TMTD, S
3. ม้วนยาง ผ่านหัวหรือท้ายลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งประมาณ 6 ครั้ง เพื่อให้สารเคมีผสมเข้ากันอย่างทั่วถึง
4. เมื่อผสมเสร็จ ปรับช่องว่างของระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้แผ่นยางมีความหนาตามต้องการ
5. เก็บยางคอมปาวด์ไว้ในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปขึ้นรูป เพื่อให้สารเคมีกระจายในเนื้อยางได้ดีขึ้น

2.4 การขึ้นรูปยางคอมปาวด์

นำยางคอมปาวด์ที่ได้จากข้อ 2.3 ทดสอบหาเวลาสุก (cure time, t_{90}) ด้วยเครื่อง MDR โดยทดสอบที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้สำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด (150°C - 160°C) ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชีทด้วยเครื่องอัด (compression molding machine)

ยางคอมปาวด์ถูกอัดให้เป็นแผ่นมีความหนาประมาณ 1.5 มม. โดยตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดไว้ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง (150°C) ใช้ความดันในการอัด 600 กก/ซม.^{2} ใช้เวลาในการอัดเท่ากับ (t_{90} + 1) นาที แผ่นชีทที่ได้จะถูกตัดให้มีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบการดึงยืด (tensile testing) ASTM D412 - die C

2.5 การทดสอบสมบัติ

2.5.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (tensile properties)

ทำการทดสอบตาม มอก.886-2532 นำชิ้นทดสอบรูปร่าง ASTM D412 die-C ดึงด้วยอัตราเร็ว 500 มม./นาที บันทึกค่าแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาด การคำนวณใช้ความยาวเริ่มต้น (L_o) เท่ากับ 65 มม. ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างgrip เนื่องจากไม่มีการใช้ extensometer ในการทดสอบ ทำการทดสอบจำนวน 8 ชิ้น/ตัวอย่าง

2.5.2 การทดสอบการบ่มเร่ง (thermal aging)

ทำการทดสอบตาม มอก.886-2532 นำชิ้นทดสอบรูปร่าง ASTM D412 die-C จำนวน 8 ชิ้น อบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาทดสอบความต้านทานแรงดึงตามข้อ 2.5.1 คำนวณหาการเปลี่ยนแปลงสมบัติ (การต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด) ดังสมการต่อไปนี้

$$P = [(A - O)/O] \times 100$$

เมื่อ P คือ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสมบัติ

A คือ ค่าของสมบัติหลังการบ่มเร่ง

O คือ ค่าของสมบัติก่อนการบ่มเร่ง

ค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ตามมาตรฐาน มอก. จะไม่พิจารณาการเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่จะพิจารณาปริมาณการเปลี่ยนแปลง คือไม่ควรเกินร้อยละ 25 ทั้งค่าความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

2.5.3 การทดสอบความยืดถาวร (permanent set)

ทำการทดสอบตาม มอก.886-2535 ใช้ชิ้นทดสอบรูปร่าง ASTM D412 die-C ทำเครื่องหมายในช่วง gauge length ที่มีระยะห่าง 3 ซม. ทำการทดสอบ 3 ชิ้น/ตัวอย่าง

1. ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 2.5.1 โดยใช้อัตราการดึงเท่ากับ 500 มม./นาที กำหนดให้ชิ้นทดสอบถูกดึงยืดเท่ากับ 32.5 ซม. 35 ซม. และ 50 ซม. รักษาระยะยืดนี้ไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องมือ
2. นำชิ้นทดสอบวางไว้บนโต๊ะเป็นเวลา 10 นาที บันทึกความยาวของระยะห่างที่มีเครื่องหมายกำกับ
3. คำนวณความยืดถาวรในรูป tension set ดังสมการต่อไปนี้

$$T_S = [(L - L_0)/ L_0] \times 100$$

เมื่อ T_S คือค่าร้อยละของความยืดถาวร

L คือความยาว(ระยะห่างของจุดกำกับ)ที่เพิ่มขึ้นหลังการทดสอบ

L_0 คือความยาว(ระยะห่างของจุดกำกับ)ก่อนการทดสอบ

เนื่องจากโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสูตรพื้นฐานที่ไม่ใส่ filler ในปริมาณมาก จึงไม่ทำการตรวจสอบความหนาแน่น การทดลองจะมุ่งเน้นการเปรียบเทียบสี ความต้านแรงดึง และระยะยืดเมื่อขาดของสูตรต่างๆ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางADSและยางเครปขาว

3.1 การทดลองที่ 1 : การออกสูตรยาง

การออกสูตรยางคอมปาวด์ในการทดลองนี้ จะหาสูตรและอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีสีสดใสและมีสมบัติด้านแรงดึงอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ มอก.886-2532 โดยกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อสีและสมบัติด้านแรงดึงของยางสุก ดังนี้ ชนิดและปริมาณของตัวกระตุ้นและสารเพิ่มเนื้อ ปริมาณผงสี การผสมเอททิลีนไวนิวอะซิเตด (EVA) กับยางธรรมชาติ และอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ยาง และแบ่งการทดลองออกเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

1. ศึกษาผลของชนิดตัวกระตุ้น (activators) 3 ชนิด คือ zinc oxide, zinc oxide active, และ zinc carbonate
2. ศึกษาผลของสารเพิ่มเนื้อ (filler) 3 ชนิด คือ $CaCO_3$, silica และ TiO_2
3. ศึกษาปริมาณผงสีที่ควรเติม
4. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการขึ้นรูป
5. ศึกษาผลของการผสมเอททิลีนไวนิวอะซิเตด (EVA)

การทดลองที่ 1 เลือกใช้ยางADS เนื่องจากให้ความแข็งแรงดีและผ่านกระบวนการฟอกสีมาแล้ว สูตรยางคอมปาวด์แสดงในตารางที่ 3.1-3.6

ตารางที่ 3.1 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ ZnO เป็นตัวกระตุ้นและมีส่วนผสมของ $CaCO_3$

สูตร	1	2	3	4	5	6	7	9	13
ยาง ADS	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	1	1	1	1	1	1	1.25	1.25	1
Stearic acid	0.625	0.625	1.25	1.25	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
$CaCO_3$	6.25	12.5	6.25	12.5	12.5	25	25	6	-
Sulfer	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.5
Pigment	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	1.5

ตารางที่ 3.2 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ Zinc carbonate เป็นตัวกระตุ้นและมีส่วนผสมของ $CaCO_3$

สูตร	8	10	11	12	C1	C2
ยาง ADS	100	100	100	100	100	100
Zinc carbonate	2	2	2	2	1	2
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.3	0.26	0.375	0.375
BHT	1	1	1	1	1	1
$CaCO_3$	6	-	-	-	25	25
Sulfer	1.25	1.25	1.5	1.5	1.25	1.25
Pigment	0.625	0.625,1	0.625	1	0.625	0.625

ตารางที่ 3.3 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ Zinc carbonate เป็นตัวกระตุ้นและมีสารเพิ่มเนื้อต่างๆ

สูตร	CT1	CT2	CT3	CS1	CS2	CS3
ยาง ADS	100	100	100	100	100	100
Zinc Carbonate	2	2	2	1	2	2
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
BHT	1	1	1	-	-	1
TiO_2	10	1	0.5	-	-	-
$CaCO_3$	15	6	6	-	-	-
Silica	-	-	-	25	25	10
Sulfer	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Pigment	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625

ตารางที่ 3.4 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ Zinc oxide active เป็นตัวกระตุ้น

สูตร	ZA1	ZA2	ZA3	ZA4	ZA4'
ยาง ADS	100	100	100	100	100
Zinc oxide active	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.26	0.375	0.375	0.3	0.3
BHT	1	1	1	1	-
Wingstay-L	-	-	-	-	1
$CaCO_3$	-	6	-	-	-
Silica	-	-	5	5	5
Sulfer	1.5	1.25	1.25	1.5	1.5
pigment	1	1	1	1	1.5,2

ตารางที่ 3.5 สูตรยางคอมปาวด์ที่มีส่วนผสมของ EVA22

สูตร	VA22-1	VA22-2	VA22-2-2
ยาง ADS	90	80	80
EVA22	10	20	20
Zinc Carbonate	2	2	2
Stearic acid	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375
BHT	1	1	1
$CaCO_3$	25	25	12.5
Sulfer	1.25	1.25	1.25
pigment	0.625	0.625	0.625

ตารางที่ 3.6 สูตรยางคอมปาวด์ที่มีส่วนผสมของ EVA28

สูตร	VA28-1	VA28-1-2	VA28-2	VA28-2-2	ZA-VA1	ZA-VA4	EVA
ยาง ADS	90	90	80	80	90	90	-
EVA28	10	10	20	20	10	10	100
Zinc oxide active	-	-	-	-	1.25	1.25	-
Zinc carbonate	2	2	2	2	-	-	-
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	-
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	1	1	-
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.75	0.75	-
BHT	1	1	1	1	-	-	-
$CaCO_3$	25	12.5	25	12.5	-	-	-
Silica	-	-	-	-	-	5	-
Sulfer	1.25	1.25	1.25	1.25	0.375	0.3	-
pigment	0.625	0.625	0.625	0.625	1.5	1.5	2

การใช้ Zinc oxide เป็นตัวกระตุ้น

การทดลองเบื้องต้น ศึกษาปริมาณของ Stearic acid และ $CaCO_3$ โดยให้ปริมาณMBTS TMTD และ S คงที่ คือ 0.75, 0.35 และ 1.25 ตามลำดับ และใส่ผงสีเพียง 0.625 phr (สูตร 1 -7, 9 และ 13) ค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดของสูตรยางเหล่านี้แสดงในตารางที่3.7 ค่าความต้านทานแรงดึงของทุกสูตรมีค่ามากกว่า 14.7 MPa และบางสูตรมีค่ามากกว่า 17.7 MPa ส่วนระยะยืดที่จุดขาดมีค่ามากกว่า 700% ดังนั้นสูตรยางเหล่านี้สามารถจัดอยู่ในยางรัดของประเภทที่ 1 หรือ 2 ตาม มอก. 886 - 2532 สูตร13ให้สีสดใสมากที่สุดเนื่องจากไม่มี $CaCO_3$ และมีปริมาณผงสีมากที่สุด $CaCO_3$ทำให้ความสดใสของสีลดลง และความสดใสลดลงตามปริมาณ$CaCO_3$ที่เติมลงไป ปริมาณผงสี 0.625 phr เป็นจำนวนน้อยเกินไป ไม่สามารถทำให้ยางมีสีสดใสได้

การใช้ Zinc Carbonate เป็นตัวกระตุ้น

จากการทดลองใช้ Zinc oxide พบว่ามีการซึมออกมา (Blooming) ของสารเคมี ดังนั้นเมื่อทำการทดลองใช้ Zinc carbonate จึงมีการปรับปริมาณของ TMTD และ S มีการปรับปริมาณ $CaCO_3$ และผงสีด้วย และเติม antioxidant (BHT) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 สูตรที่ให้ยางมีสีสดใสมากที่สุด คือ สูตร12 ซึ่งมีผงสีมากที่สุดและไม่มี $CaCO_3$ ผลการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของยางคอมปาวด์กลุ่มนี้มีค่ามากกว่า 14.7 MPa และระยะยืด ณ จุดขาด มีค่ามากกว่า 700% ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการใช้ Zinc oxide คือ สูตรที่ดีจะต้องมีผงสีตั้งแต่ 1 phr ขึ้นไปและไม่ควรเติม $CaCO_3$ สูตร 10-12 ยังมีการซึมออกมาของสารเคมีเล็กน้อย

ตารางที่ 3.7 สมบัติด้านแรงดึงของสูตรยางในการทดลองที่ 3.1

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
1	17 ± 5	1153 ± 73
2	18 ± 2	1117 ± 33
3	22 ± 1	1226 ± 38
4	21 ± 2	1162 ± 42
5	20 ± 1	1149 ± 24
6	21 ± 1	1084 ± 18
7	20 ± 2	1021 ± 23
8	23 ± 2	1022 ± 26
CT1	19 ± 1	1015 ± 38
CT2	23 ± 1	1024 ± 12
CT3	23 ± 1	1035 ± 19
C1	15 ± 2	1010 ± 35
C2	17 ± 2	937 ± 42
CS2	17 ± 3	889 ± 42
CS3	25 ± 2	1001 ± 34
VA22-1	18 ± 1	923 ± 26
VA22-2	16 ± 2	881 ± 30
VZ28-1	16 ± 4	955 ± 55
VA28-2	18 ± 3	850 ± 72
VA28-1-2	22 ± 1	980 ± 16
VA28-2-2	23 ± 2	943 ± 27
ZA4	21 ± 2	1043 ± 30

สูตรยางรัดของที่ผลิตกันในปัจจุบันนิยมเติมสารเพิ่มเนื้อ (filler) เพื่อลดต้นทุนการผลิตและช่วยลดการบวมตัว(swelling)ในกระบวนการขึ้นรูป(การอัดรีด) ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสูตรที่มีการเติม $CaCO_3$ โดยเบื้องต้นนี้จะเน้นการปรับปรุงความสดใสของสียาง ได้ทำการทดลองเติม TiO_2 ผสมกับ $CaCO_3$ ในสูตร CT1 - CT3 (ตารางที่ 3.3) ปรากฏว่า ถึงแม้จะใส่ TiO_2 เพียงเล็กน้อย (0.5 phr) ก็สามารถทำให้สีเพี้ยนไปจากสีเดิมมากหรือทำให้สีเปลี่ยนไป คือ มีสีขาวขึ้นและด้านทึบมากขึ้น ทำการทดลองใส่ Si ในสูตร CS1 - CS3 พบว่าให้สีสดใสดี ให้ผลในเชิงบวก แต่ถ้า

ปริมาณ Si มากขึ้นจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น สมบัติด้านแรงดึงแสดงในตารางที่ 3.7 ปริมาณสารเพิ่มเนื้อมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงต้านทานและระยะยืด ณ จุดขาด ลดลง ในภาพรวมค่าสมบัติด้านทานแรงดึงยังอยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน มอก. ยางรัดของ

การใช้ Zinc Oxide active เป็นตัวกระตุ้น

ทำนองเดียวกันกับการทดลองใช้ Zinc oxide และ Zinc carbonate ได้มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของ TMTD และ S เพื่อดูผลการซึมออกมาของสารเคมี นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลของการใส่ $CaCO_3$ และ Si และการไม่มีสารตัวเติม (สูตร ZA1 - ZA4 ในตารางที่ 3.4) สูตรZA4 ให้สีสดใสที่สุด อย่างไรก็ดียังคงมีการซึมออกมาของสารเคมีเกิดขึ้น ขอให้สังเกตว่าสูตรยางกลุ่มนี้ได้เติมผงสีปริมาณ 1 phr ทำให้ได้ยางที่มีสีสวยมากขึ้น

การใช้ยางผสม NR/EVA

จากแนวความคิดที่ว่า EVA สามารถผสมกับNRได้ดี และ EVAเป็นวัสดุใส ไม่มีสี ฉะนั้นการเติมผงสีลงในEVAจะได้สีสดใสมาก ดังเช่นตัวอย่างที่ติดไว้ในหน้าถัดไป ดังนั้นหากนำNRผสมกับEVA ก็อาจจะให้สีของยางNRดีขึ้น จึงได้ทดลองใช้EVA 2 ชนิด ที่มีปริมาณไวนิลอะซีเตดต่างกันผสมกับNR ในสัดส่วนดังนี้ NR/EVA = 90/10, 80/20, 70/30 โดยน้ำหนัก และหากEVAสามารถช่วยปรับปรุงความสดใสของยางได้ ก็น่าจะทำให้มีการเติม $CaCO_3$ ได้ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สูตรยางคอมปาวด์ของยางผสมNR/EVA แสดงในตารางที่3.5 และ 3.6 เนื่องจากมีการซึมออกมาของสารเคมีจึงทำให้มีการปรับปรุงสูตร โดยการปรับปริมาณ TMTD และ S และเปรียบเทียบผลของตัวกระตุ้นที่ต่างชนิดกัน (Zinc carbonate และ Zine oxide active) สมบัติด้านแรงดึงของยางกลุ่มนี้อยู่ในกฎเกณฑ์มาตราฐาน มอก. EVAไม่ได้ช่วยให้ยางมีสีสดใสขึ้น สีของยางผสมคล้ายกับสีของยางNR และถ้าใส่ในปริมาณมากๆ (30 %) จะทำให้ shade สีเปลี่ยนไป สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยางผสมมีสีไม่สดใสตามที่คาดการณ์ไว้ น่าจะมาจากยางผสมนี้ไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันในระดับโมเลกุล (immiscible blend)

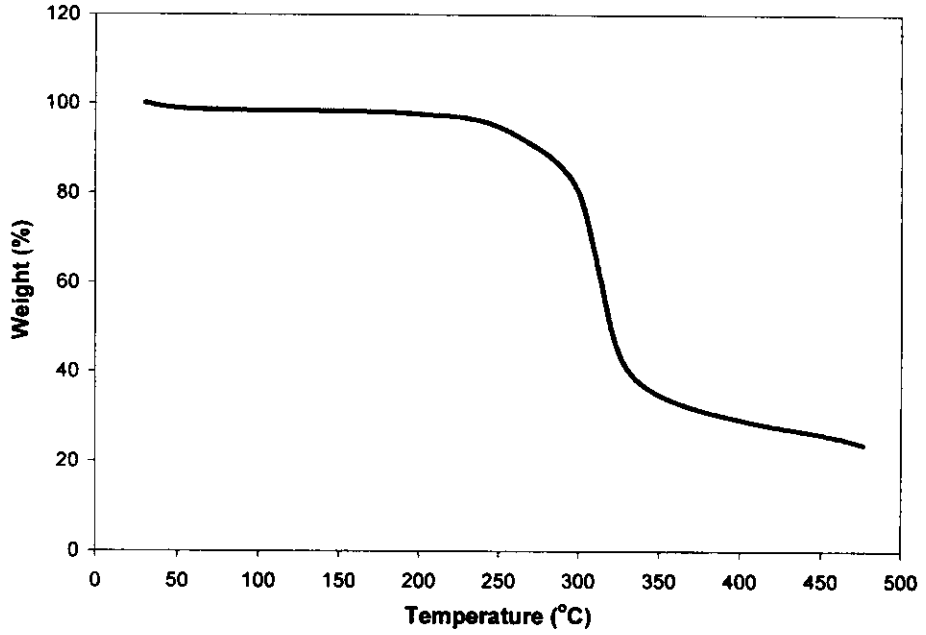
ผลของอุณหภูมิของการวัลคาไนซ์

จากการทดลองวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิต่างๆ : 140°C 150°C 155°C และ 160°C โดยใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ตามค่า cure time (t_{90}) ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง MDR นั้น พบว่าการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C ให้สีสดใสมากที่สุด และอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สีคล้ำมากขึ้น ค่าสมบัติด้านแรงดึงที่รายงานในตารางต่างๆนั้นได้จากชิ้นตัวอย่างที่วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C การวิเคราะห์ผงสีด้วยเครื่อง Themogravimetric analyzer (TGA) ที่อุณหภูมิ 30 - 500°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20°C/min ภายใต้สภาวะก๊าซอ๊อกซิเจน พบว่า ผงสีเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 236°C และจะสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 296°C (รูปที่ 3.1) ถึงแม้ว่าผงสีจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C ก็ตาม

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

แต่การใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้สีคล้ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวผงสีเองและสีของยางธรรมชาติที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนมากขึ้น

การทดลองใช้ผงสีที่มีสีต่างๆกัน คือ สีแดง สีเขียว และสีเหลือง พบว่าสีเหลืองจะไม่มีความสดใส นอกจากนี้ shade สี ของผงสี มีผลต่อสีที่ปรากฏ ดังนั้น การเลือกผงสีสะท้อนแสงจึงมีความสำคัญเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นสีสะท้อนแสงเหมือนกัน เช่น สีเขียว แต่ถ้าshade สีต่างกัน จะมีผลต่อความสดใสของชิ้นงานด้วย



รูปที่ 3.1 TGA thermogram ของผงสีสะท้อนแสง แสดงการสลายตัวที่อุณหภูมิ 296°C

การแก้ไขปัญหาการซึมออกมาของสารเคมี

จากการที่มีการซึมออกมาของสารเคมีนั้น(ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็น TMTD) น่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากเทคนิคการผสมยางและการวัลคาไนซ์ไม่เหมาะสม จึงทำการทดลองปรับปรุงเทคนิคการผสมยางและการวัลคาไนซ์ยาง โดยเลือกสูตรที่ดีบางสูตร (ลดปริมาณ TMTD ลงเล็กน้อยจาก 0.375 phr เป็น 0.300 phr) จากการทดลองเบื้องต้นและไม่เติมสารเพิ่มเนื้อ (ตารางที่3.8) การปรับปรุงเทคนิคดังกล่าว ประสบความสำเร็จ ทำให้แก้ปัญหาการซึมออกมาของสารเคมีได้ ได้ทำการทดลองเติมผงสีเพื่อตรวจสอบการซึมออกมาของสารเคมี ก็ไม่พบปัญหาดังกล่าว ในขณะเดียวกัน ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่มีต่อสีของยางธรรมชาติ พบว่ายางมีสีคล้ำขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น และสีโดยพื้นเดิมของยางธรรมชาติ (ยางADS) มีสีเข้มมากโดยตัวมันเองอยู่แล้ว ทำ

การทดสอบสมบัติต้านแรงดึงของสูตรต่างๆ ค่าสมบัติดังกล่าวมีค่าตามมาตรฐาน มอก. ดังแสดงใน ตารางที่ 3.9 สังเกตว่าค่าความต้านแรงดึงจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 3.8 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการซึมออกมาของสารเคมี

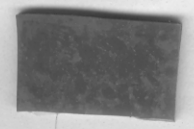
สูตร	16	17	18	19	20	21	22	C3"
ยาง ADS	100	100	100	100	100	100	100	100
ZnO	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	-
Zinc Carbonate	-	-	-	-	-	-	-	2
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.5	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.3	0.25	0.3	0.25	0.2	0.375	0.30
BHT	1	1	1	1	1	1	-	-
Wing stay-L	-	-	-	-	-	-	1	1
Sulfer	1.25	1.5	1.5	1.8	1.8	1.5	1.25	1.25

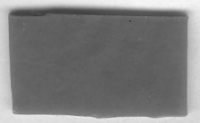
ตารางที่ 3.9 สมบัติด้านแรงดึงของสูตรยางในตารางที่ 3.8

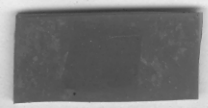
สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตร16 150° C	21 ± 3	1128 ± 90
สูตร16 155° C	21 ± 1	1189 ± 34
สูตร16 160 °C	17 ± 1	1123 ± 30
สูตร17 150 °C	21 ± 4	1061 ± 84
สูตร17 155° C	19 ± 2	1148 ± 57
สูตร17 160 °C	16 ± 2	1155 ± 30
สูตร18 150 °C	22 ± 3	1149 ± 32
สูตร18 155 °C	18 ± 2	1133 ± 38
สูตร19 155° C	19 ± 1	1104 ± 35
สูตร19 160 °C	18 ± 2	1168 ± 33
สูตร20 155 °C	20 ± 2	1140 ± 45
สูตร22 สีแดง 2 phr 150 °	17 ± 1	1952 ± 39
สูตร22 สีแดง 2 phr 155 °C	15 ± 2	2024 ± 8
สูตร22 สีเขียว 2 phr 150 °C	19 ± 2	2056 ± 40
สูตร22 สีเขียว 2 phr 155 ° C	17 ± 2	1163 ± 44

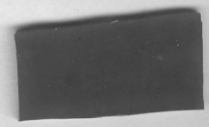
ชิ้นตัวอย่างยางจากสูตรต่างๆได้แสดงไว้ข้างล่างนี้ สังเกตสีของEVAที่มีความสดใสมาก ชิ้นตัวอย่างสีเหลืองไม่มีความสดใส และสีของตัวอย่างยางที่ไม่มีการเติมผงสี โดยธรรมชาติของยางจะมีสีเหลืองคล้ำออกน้ำตาล จึงทำให้การเติมสีสะท้อนแสงจำเป็นต้องใส่ในปริมาณค่อนข้างมาก และการให้สีสดใสเหมือนกับพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ทำได้ยาก

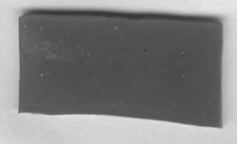
ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ

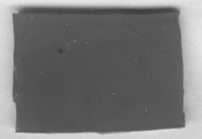

สูตร8(สี1.0phr)

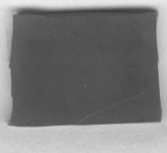

สูตร9(สี1.0phr)

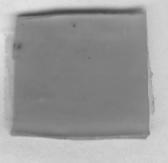

สูตร10(สี1.0phr)

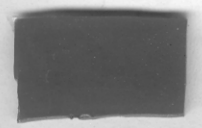

สูตร11(สี1.0phr)

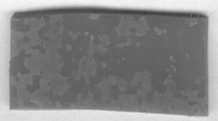

สูตร12(สี1.0phr)

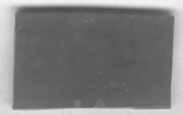

สูตร13(สี1.0phr)

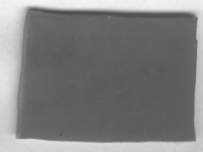

สูตร14(สี1.0phr)

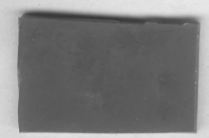

สูตร15(สี1.0phr)


สูตรZA1(สี1.0phr)


สูตรZA2(สี1.0phr)

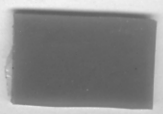

สูตรZA3(สี1.0phr)

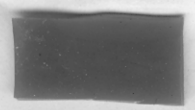

สูตรZA4(สี1.0phr)


สูตรZA4(สี1.5phr)

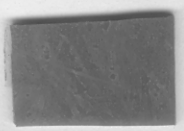
สูตรZA4(สี2.0phr)

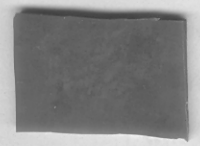
สูตรZA4(สี1.0phr)


สูตรZA4(สี1.5phr)

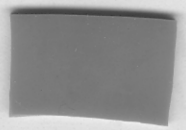

สูตรZA4(สี2.0phr)

สูตรZA4(สี1.0phr)

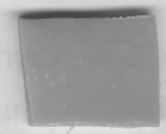

สูตรZA-VA1(สี1.5phr)



สูตรZA-VA4(สี1.5phr)

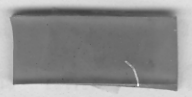


NR/EVA(ZA4 สี1.5phr)



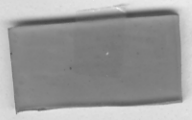
EVA(สี1.5phr)

สูตร16 150°C



สูตร16 155°C

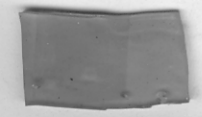
สูตร16 160°C



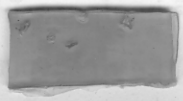
สูตร18 150°C

สูตร18 155°C

สูตร18 160°C

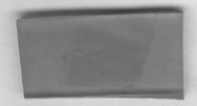


สูตร19 150°C



สูตร19 155°C

สูตร19 160°C



สูตร20 150°C

สูตร20 155°C

สูตร20 160°C

สูตร22 150°C

สูตร22 155°C

สูตร22 160°C

สูตรC3' 150°C

สูตรC3' 155°C

สูตรC3' 160°C

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่3.1นี้พบว่า สูตรที่ใช้ศึกษามีสมบัติด้านแรงดึงสอดคล้องกับยางรัดของประเภทที่ 1 และ 2 ตามมาตรฐาน มอก. โดยสูตรที่ให้สีสดใสดี ได้แก่ สูตร12 สูตร 13 สูตรZA1 และสูตรZA4 ในระยะแรกๆของการทดลองใช้ผงสีแดงในการศึกษา ซึ่งมีสีไม่ค่อยสดใสมากนัก ทำให้แยกความแตกต่างความสดใสของสีระหว่างสูตรแต่ละสูตรได้ค่อนข้างยาก จึงเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีชมพูสดทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสูตรต่างๆได้ จากการใช้ผงสีแดงได้ข้อสรุปว่า สูตร12 และสูตร13 ให้สีสดใสใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้ผงสีชมพูทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของสูตรทั้งสอง พบว่าสูตร13ซึ่งใช้ Zinc oxide ให้สีสดใสกว่าสูตร13ที่ใช้ Zinc carbonate และสูตรZA4 ให้สีสดใสมากที่สุด ดังนั้น การทดลองต่อไปจะใช้สีชมพู การเกิดปัญหาการซึมออกมาของสารเคมีสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงสูตรเล็กน้อยโดยการลดปริมาณ TMTD และปรับปรุงเทคนิคการผสมยางและการขึ้นรูปยางให้เหมาะสม

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สารกระตุ้นที่ให้สีสดใสมากที่สุดคือ Zinc oxide active ส่วน Zinc carbonate ให้สีสดใสน้อยที่สุด
2. สารเพิ่มเนื้อที่ทำให้สียังคงสดใสอยู่ คือ Si ส่วน $CaCO_3$ จะทำให้ความสดใสลดลง และไม่ควรเติม TiO_2 เพราะจะทำให้สีขาวขึ้น
3. ปริมาณผงสีที่ควรเติมขึ้นอยู่กับสีที่ใช้ สีแดงและสีชมพูควรใช้ตั้งแต่ 1.5 phr สีเขียวควรใช้มากกว่า 2 phr และไม่ควรใช้สีเหลือง เพราะไม่เห็นความสดใสเนื่องจากมีสีเดียวกันกับสีของยาง
4. อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ยางมีผลต่อความสดใสของสี อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ 150°C
5. การเติม EVAในยางธรรมชาติ ไม่ช่วยให้ยางมีสีสดใสขึ้น
6. สีของยางADS หลังการวัลคาไนซ์จะมีสีเหลืองเข้ม เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้shadeสีของชิ้นตัวอย่างเปลี่ยนไปและจำเป็นต้องเติมผงสีในปริมาณตั้งแต่ 1 phr ขึ้นไป

3.2 การทดลองที่ 2 : การพัฒนาสูตรยาง

จากการทดลองที่3.1 ทำให้สามารถคัดเลือกสูตรที่จะนำมาพัฒนาเพื่อปรับปรุงให้มีสีสดใสมากขึ้นได้ ในการทดลองที่3.2นี้ จะไม่มีการใช้ $CaCO_3$ และ TiO_2 แต่จะเลือกใช้ Si ในปริมาณเล็กน้อย เพราะการเติม Si จะช่วยให้ยางมีสีสดใสขึ้น ในการศึกษาตอนนี้ยังคงมีการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเคมีและปริมาณผงสี โดยจะใช้ความสดใสของสีชิ้นงานเป็นตัวกำหนดสูตรที่ดี เนื่องจากสมบัติด้านแรงดึงของสูตรต่างๆอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 886-2532 วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของตัวกระตุ้น โดยจะคัดเลือกเพียง1ตัวที่ให้สีสดใสที่สุดในบรรดาตัวกระตุ้นที่ใช้อยู่ทั้งสามตัว สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 3.10 อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์เท่ากับ 150°C และใช้เวลาวัลคาไนซ์ 7 นาที ได้ทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 155°C ในบางสูตรเพื่อเปรียบเทียบความสดใสของสี

ตารางที่ 3.10 สูตรยางคอมปาวด์สำหรับการทดลองที่ 3.2

สูตร	16	22	C3'	C5	CS5	ZA4	ZA8
ยาง ADS	100	100	100	100	100	100	100
Zinc carbonate	-	-	2	2	2	-	-
Zinc oxide	1.25	1.25	-	-	-	-	-
Zinc oxide active	-	-	-	-	-	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.3	0.30	0.3	0.30
BHT	1	-	1	1	1	1	-
Wingstay-L	-	1	-	-	-	-	1
Silica	-	-	-	-	5	5	5
Sulfer	1.25	1.25	1.25	1.25	1.5	1.5	1.5
Pigment	-	2	0,2	2	1	1	1

จากผลการเปรียบเทียบความสดใสของสี พบว่า สูตรZA4 ให้สีดีที่สุด คือ สีสวย สะท้อนแสงและสดใสกว่าสูตรอื่นๆ ขอให้สังเกตว่าการทดลองที่3.2 นี้ ใช้ผงสีสีชมพูสด ซึ่งสีที่ได้ควรจะเป็นสีชมพูเช่นเดียวกับสีของ EVA แต่ปรากฏว่ายางให้สีเพี้ยนไปจากสีเดิม ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ยางมีสีเหลืองอยู่ในตัวเองอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบสียางที่ได้จากการทดลองนี้ จะมีสีสดใสกว่าสีแดงที่ปรากฏอยู่ในการทดลองที่ 3.1 สูตรที่ให้สีดีรองลงมา คือ สูตรZA8 สูตร16 สูตร22 และสูตรC3' ตามลำดับ นั่นคือ การใช้ Zinc oxide active จะให้สีสดใสที่สุด รองลงมาคือ Zinc oxide นอกจากนี้ใช้ BHT จะให้สีสดใสกว่าการใช้ Wingstay - L เล็กน้อย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการวัล

คาไนซ์ก็ยังคงเป็น 150°C ที่ 155°C จะทำให้สีคล้ำขึ้น สมบัติด้านแรงดึงและความยืดถาวร (tension set) แสดงในตารางที่3.11 และ ตารางที่3.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.11 สมบัติด้านแรงดึงของสูตรยางในตารางที่ 3.10

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตร16 สีแดง 1 phr	19 ± 1	1091 ± 31
สูตร16 สีเขียว 1 phr	18 ± 2	1076 ± 28
สูตร16 สีชมพู 2 phr	19 ± 1	1066 ± 30
สูตร22 สีชมพู 2 phr	17 ± 2	1080 ± 51
สูตรC'3 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1897 ± 35
สูตรC'3 สีเขียว 2 phr	19 ± 2	1833 ± 41
สูตรC'3 สีแดง 2 phr 155°C	17 ± 1	1913 ± 29
สูตรC'3 สีเขียว 2 phr 155°C	20 ± 1	1913 ± 23
สูตรC'3 สีชมพู 2 phr 155°C	20 ± 1	1019 ± 27
สูตรC5 สีเขียว 1 phr	23 ± 2	1039 ± 35
สูตรC5 สีแดง 1 phr	20 ± 2	1014 ± 25
สูตรC5 สีชมพู 1.5 phr	22 ± 2	996 ± 18
สูตรC5 สีชมพู 2 phr	19 ± 4	972 ± 64
สูตรCS5 สีเขียว 1 phr	23 ± 2	1076 ± 32
สูตรCS5 สีแดง 1 phr	22 ± 3	1042 ± 38
สูตรZA4 สีแดง 1 phr	21 ± 0	1027 ± 23
สูตรZA4 สีแดง 1.5 phr	21 ± 2	1043 ± 30
สูตรZA4 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1008 ± 40
สูตรZA4 สีเขียว 1 phr	21 ± 2	1044 ± 37
สูตรZA4 สีเขียว 1.5 phr	20 ± 2	1061 ± 67
สูตรZA4 สีเขียว 2 phr	20 ± 1	1041 ± 42
สูตรZA4 สีชมพู 1.5 phr	21 ± 2	1043 ± 37
สูตรZA8 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1011 ± 41
สูตรZA8 สีเขียว 2 phr	20 ± 1	1859 ± 36
สูตรZA8 สีชมพู 1.5 phr	21 ± 2	1020 ± 22
สูตรZA8 สีชมพู 2 phr	16 ± 2	986 ± 50
สูตรZA8 สีแดง 2 phr 155°C	17 ± 2	1909 ± 57
สูตรZA8 สีเขียว 2 phr 155°C	19 ± 1	1861 ± 53

ตารางที่ 3.12 ความยืดถาวร (tension set) ของยางสูตร ZA4

Extension (cm)	L_0 (cm)	L (cm)	T_S (%)	X_{TS} (%)
32.5	3	3.12	4	4.5
		3.15	5	
35	3	3.31	10.33	10.78
		3.32	10.67	
		3.34	11.33	
50	3	3.44	14.67	14.67

L_0 หมายถึง ความยาวเริ่มต้นก่อนการทดสอบ

L หมายถึง ความยาวหลังการทดสอบ

T_S หมายถึง ค่า tension set ที่คำนวณได้จากการทดสอบ

X_{TS} หมายถึง ค่าเฉลี่ย tension set

ค่าความยืดถาวรของยางสูตรZA4 เมื่อถูกดึงยืดไป 10.8 เท่า จะมีค่าตามมาตรฐาน มอก. 886-2532 ซึ่งระบุว่ายางรัดของประเภทที่1และ2จะต้องมีค่าความยืดถาวรไม่เกิน 5% และ 8% ตามลำดับ ส่วนการดึงยืดมากๆจะทำให้ค่าความยืดถาวรเพิ่มมากขึ้นและไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของ มอก. ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงน่าจะมีการยืดไม่เกิน 10 เท่าตัว

การทดสอบการบ่มเร่ง

นำตัวอย่างสูตรZA4ทดสอบการบ่มเร่ง โดยอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาทดสอบสมบัติด้านแรงดึง เปรียบเทียบกับสมบัติเดียวกันก่อนทำการบ่มเร่ง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3.13 สมบัติด้านแรงดึงที่เปลี่ยนไปหลังการบ่มเร่งมีค่าน้อยกว่า 20% สอดคล้องกับข้อกำหนดยางรัดของประเภทที่ 1-2 ตาม มอก.886-2532

ตารางที่ 3.13 สมบัติด้านแรงดึงหลังการบ่มเร่งของยางสูตร ZA4

สูตร	ก่อนการบ่มเร่ง		หลังการบ่มเร่ง		ปริมาณการเปลี่ยนแปลง (%)	
	σ_b (MPa)	ε_b (%)	σ_b (MPa)	ε_b (%)	σ_b (MPa)	ε_b (%)
ลีซมพู 1.5 phr	21.4 ± 2.0	1043 ± 37	22.3 ± 1.3	910 ± 47	4.2	-14.6
ลีซมพู 2 phr	17.1 ± 3.6	1026 ± 54	19.9 ±2.4	949 ± 39	16.4	-8.1

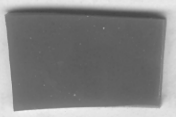
หมายเหตุ σ_b คือ ความทนทานต่อแรงดึง

ε_b คือ ความยืดเมื่อขาด

สรุปผลการทดลอง

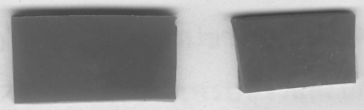
สูตรยางรัดของที่ดีที่สุดจากการทดลองนี้คือ สูตรZA4 โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ Zinc oxide active และ Si และสูตรนี้จัดเป็นประเภทยางแก้วประเภทที่ 1 หรือ 2

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



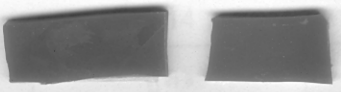
ก่อน aging หลัง aging

สูตร16



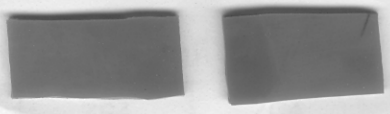
ก่อน aging หลัง aging

สูตร22



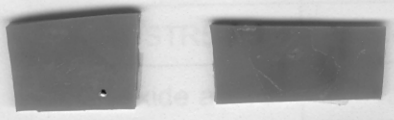
ก่อน aging หลัง aging

สูตรC3'



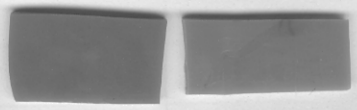
ก่อน aging หลัง aging

สูตรZA8



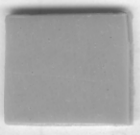
ก่อน aging หลัง aging

สูตรCS5



ก่อน aging หลัง aging

สูตรZA4



EVA

3.3 การทดลองที่ 3 : การเปรียบเทียบชนิดของยางธรรมชาติ

จากการทดลองที่ 3.2 ทำให้ได้สูตรยางรัดของที่ให้สีสดใส คือ สูตรZA4 แต่เนื่องจากยาง ADS มีสีพื้นที่ค่อนข้างคล้ำ จึงทำให้สีของชิ้นงานที่เตรียมขึ้นมามีสีไม่สดใสเท่าที่ควร ดังนั้น จึงทำการทดลองใช้ยางธรรมชาติในรูปแบบของยางแท่ง (STR5L) และยางเครปขาว (crepe) นอกจากนี้ยังได้ทดลองใช้ยางสังเคราะห์ SBR เพื่อเปรียบเทียบสีของชิ้นงาน โดยที่ยางเหล่านี้จะเตรียมขึ้นมาภายใต้สูตรเดียวกัน และสภาวะการขึ้นรูปแบบเดียวกัน ตารางที่ 3.13 แสดงสูตรยางที่ใช้ในการทดลองนี้ จากการพิจารณาสีของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปพบว่า การใช้ยางเครปขาวให้สีดีที่สุด ในขณะที่ยางแท่งSTR5Lให้สีใกล้เคียงกับยางADS ส่วนยางSBRจะให้shadeสีต่างออกไป เนื่องจากยางเครปขาวให้สีสดใสที่สุด ดังนั้น การทดลองต่อไปจะใช้ยางเครปขาวแทนยางADS สมบัติด้านแรงดึงของยางสูตรZC4 ซึ่งเป็นสูตรเดียวกันกับสูตรZA4 แต่ใช้ยางเครปขาวและมีการเติมน้ำมันลงไปเล็กน้อย ยางสูตรZC4จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดเท่ากับ 20.4 $\pm$ 1.9 MPa และ 1037 $\pm$ 23 % ตามลำดับ คาดว่าสอดคล้องกับยางรัดของประเภทที่1-2 ตามมาตรฐาน มอก.886-2532

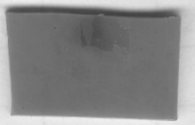
ตารางที่ 3.14 สูตรยางคอมปาวด์สำหรับการทดลองที่ 3.3

สูตร	ZA4	ZS4	ZC4	ZT4
ยาง ADS	100	-	-	-
ยางSBR	-	100	-	
ยางCREPE	-	-	100	-
ยางSTR5L	-	-	-	100
Zinc oxide active	1.25	1.25	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.3	0.30	0.3	0.3
BHT	1	1	1	1
Silica	5	5	5	5
Paraffin oil	-	-	2	2
Sulfer	1.5	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5	1.5	1	1

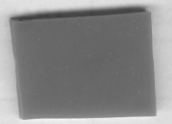
สรุปผลการทดลอง

ยางเครปขาวให้สีสดใสกว่ายางธรรมชาติชนิดอื่นๆ และสูตรZC4มีสมบัติด้านแรงดึงอยู่ในข้อกำหนดของ มอก.886-2532

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



สูตรZA4



สูตรZS4

สูตรZC4

สูตรZT4

3.4 การทดลองที่ 4 : ยางธรรมชาติผสมกับULDPE

เนื่องจากยางธรรมชาติผสมเข้ากันได้ดีกับพอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (ultra-low-density polyethylene, ULDPE) และคาดว่าน่าจะเข้ากันได้ดีกว่าการผสมด้วยEVA เนื่องจากทั้งยางธรรมชาติและULDPEเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ในขณะที่EVAเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ดังนั้น จึงทดลองเตรียมยางผสมในสัดส่วนต่างๆตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.15 มีการเปรียบเทียบชนิดของยางธรรมชาติ คือ ยางADS และ ยางเครปขาว โดยใช้สูตรคอมปาวด์เช่นเดียวกับสูตรZA4

ตารางที่ 3.15 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.4

สูตร	ZAA1	ZAA2	ZAA3	ZAB1	ZAB2	ZAB3
ยาง ADS	90	80	70	-	-	-
ยางCREPE	-	-	-	90	80	70
ULDPE	10	20	30	10	20	30
Zinc oxide active	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BHT	1	1	1	1	1	1
Silica	5	5	5	5	5	5
Paraffin oil	-	-	-	2	2	2
Sulfer	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5,2	1.5,2	1.5,2	1.5,2	1.5,2	1.5,2

สีของยางผสมขึ้นอยู่กับชนิดของยางธรรมชาติ ยางเครปขาวจะให้สีสดใสกว่า สีของยางผสมแสดงลักษณะของสีชมพูมากขึ้นและดูสวยกว่ายางธรรมชาดล้วนๆ แต่อย่างไรก็ตาม การผสม ULDPEไม่ได้ช่วยทำให้ยางมีสดใสตามที่ต้องการ ค่าสมบัติด้านแรงดึงและสมบัติหลังการบ่มเร่งแสดงในตารางที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ สมบัติด้านแรงดึงก่อนการบ่มเร่งของยางผสมมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อทำการบ่มเร่งค่าสมบัตินี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากในสูตรZAA1 และ สูตรZAA3

ตารางที่ 3.16 สมบัติด้านแรงดึงของยางก่อนการบ่มเร่งจากสูตรคอมปาวด์ในตารางที่ 3.15

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตรZAA1 สีชมพู1.5 phr	19.4 ± 2.9	946 ± 46.4
สูตรZAA1 สีชมพู 2 phr	18.0 ± 1.2	958 ± 25.4
สูตรZAA2 สีชมพู 1.5 phr	21.4 ± 1.7	933 ± 28.3
สูตรZAA2 สีชมพู 2 phr	18.3 ± 1.6	917 ± 20.8
สูตรZAA3 สีชมพู1.5 phr	18.6 ± 2.2	930 ± 17.1
สูตรZAA3 สีชมพู 2 phr	19.7 ± 1.6	936 ± 33.1
สูตรZAB1 สีชมพู 1.5 phr	20.5 ± 3.0	940 ± 27.4
สูตรZAB2 สีชมพู 1.5 phr	19.9 ± 1.1	1029 ± 24.4
สูตรZAB3 สีชมพู 1.5 phr	16.4 ± 1.7	882 ± 17.0

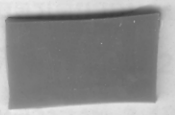
ตารางที่ 3.17 สมบัติด้านแรงดึงหลังการบ่มเร่งของยางจากสูตรคอมปาวด์ในตารางที่ 3.15

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลง (%)	
			σ_b	ε_b
สูตรZAA1 สีชมพู 1.5 phr	13.6 ± 1.6	850 ± 42	-29.7	-10.2
สูตรZAA1 สีชมพู 2 phr	16.0 ± 1.4	850 ± 42	-9.8	-11.3
สูตรZAA2 สีชมพู 1.5 phr	15.4 ± 0.9	912 ± 25	-28.3	-2.2
สูตรZAA2 สีชมพู 2 phr	20.1 ± 1.8	885 ± 37	9.8	-5.1
สูตรZAA3 สีชมพู 1.5 phr	15.5 ± 0.9	842 ± 25	-16.7	-8.2
สูตรZAA3 สีชมพู 2 phr	22.3 ± 1.0	996 ± 66	12.8	7.1

สรุปผลการทดลอง

ULDPE ช่วยทำให้ยางผสมมีสีสวยขึ้น มีความเป็นสีชมพูมากขึ้น แต่ไม่ได้ให้ลักษณะสดใสแบบสีสะท้อนแสง และยางผสมนี้ไม่เหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นยางรัดของสะท้อนแสง

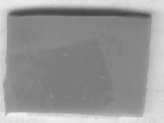
ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



สูตร ZAA1

สูตร ZAA2

สูตร ZAA3



สูตร ZAB1

สูตร ZAB2

สูตร ZAB3

3.5 การทดลองที่ 5 : การศึกษาผลของสารเคมีชนิดต่าง ๆที่มีต่อสูตรยางเครปขาว

อิทธิพลของปริมาณซิลิกาและน้ำมัน

การทดลองนี้ศึกษาอิทธิพลของ Si และ paraffin oil ที่มีต่อสีของชิ้นงาน โดยเลือกใช้สูตร ZC4 ซึ่งเป็นสูตรเดียวกันกับสูตรZA4 แต่ใช้ยางเครปขาว เติม Si ในช่วง 2.5 - 10 phr ส่วน paraffin oil ที่เติมเท่ากับ 2 phr และเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมน้ำมันนี้ สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาแสดงในตารางที่ 3.18 สมบัติด้านแรงดึงของยางเครปขาวมีค่าสูงมากสามารถนำไปทำยางรัดของประเภทยางแก้วได้ สมบัติหลังการบ่มเร่งลดลงน้อย ประมาณ 6 - 11 % เท่านั้น (ตารางที่ 3.19)

ตารางที่ 3.18 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.5 - อิทธิพลของปริมาณซิลิกาและน้ำมัน

สูตร	ZC2	ZC3	ZC4	ZC5	ZC2'	ZC3'	ZC4'	ZC5'
ยางCREPE	100	100	100	100	100	100	100	100
Zinc oxide active	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.3	0.30	0.3	0.3	0.30	0.3	0.30	0.3
BHT	1	1	1	1	1	1	1	1
Silica	0	2.5	5	10	0	2.5	5	10
Paraffin oil	2	2	2	2	-	-	-	-
Sulfer	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

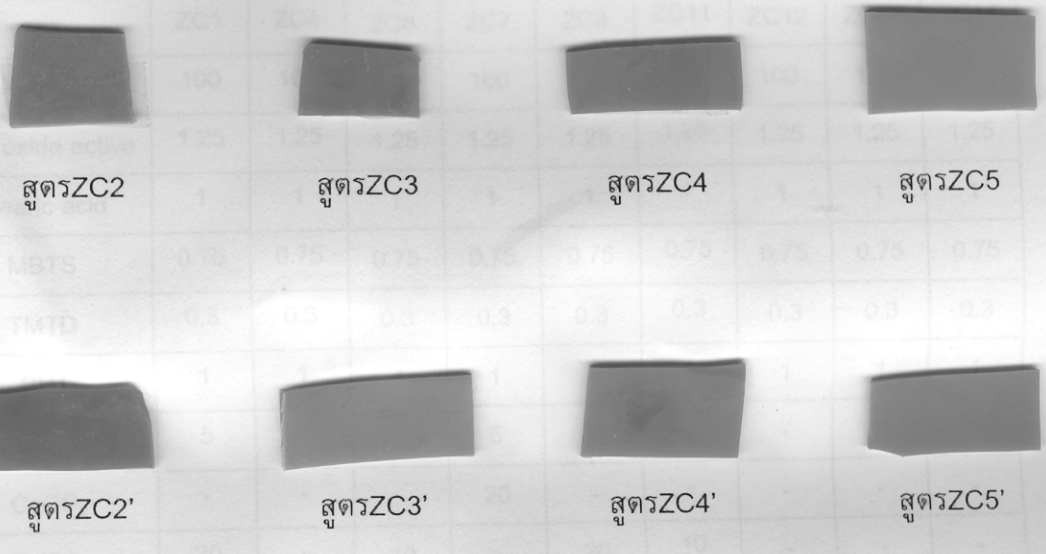
ตารางที่ 3.19 สมบัติด้านแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่งของยางจากตารางที่ 3.18

สูตร	ก่อนการบ่มเร่ง		หลังการบ่มเร่ง		ปริมาณการเปลี่ยนแปลง (%)	
	σ_b (MPa)	ε_b (%)	σ_b (MPa)	ε_b (%)	σ_b (MPa)	ε_b (%)
ZC2	19.6 ± 3.9	1034 ± 61	21.4 ± 1.4	973 ± 27	9.1	-5.9
ZC3	22.3 ± 2.5	1034 ± 54	20.6 ± 1.5	951 ± 31	-7.6	-8.0
ZC4	20.4 ± 1.9	1037 ± 23	20.0 ± 1.7	935 ± 34	-1.9	-9.9
ZC5	19.3 ± 1.2	1029 ± 24	19.7 ± 1.3	923 ± 29	1.9	-11.0

ปริมาณของ Si ในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึง การเติม Si มีผลต่อความสดใสของสีที่ปรากฏ ปริมาณของSi ที่ใช้ (2.5 5 และ 10 phr) ทำให้สีสดใสกว่าชิ้นงานที่ไม่มี Si แต่ไม่แสดงความแตกต่างของสีอย่างเด่นชัดระหว่างสูตรทั้งสามนี้ ข้อพึงระวังในการเติม Si มากๆ คือ จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น เนื่องจากการทดลองนี้ เติม Si ลงไปไม่มากนัก สมบัติด้านแรงดึงจึงไม่เปลี่ยน

แปลงมากนัก การพัฒนาสูตรยางรัดของต่อไปสามารถเลือกใช้ Si ได้ ในช่วง 2.5 - 10 phr การเติมน้ำมันเล็กน้อยจากสูตรที่ทดลองครั้งนี้ไม่ได้ช่วยให้ยางมีสีสดใสมากขึ้น แต่น้ำมันจะช่วยในกระบวนการผสมยางมากกว่า

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



สูตรZC2 สูตรZC3 สูตรZC4 สูตรZC5

สูตรZC2' สูตรZC3' สูตรZC4' สูตรZC5'

อิทธิพลของสารตัวเติม (fillers)

การทดลองนี้ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดต่างๆที่มีต่อสีของชิ้นงานสูตรZC4 สารตัวเติมอื่นๆที่เลือกใช้ ได้แก่ $CaCO_3$, $MgCO_3$ และ Zinc stearate สูตรยางคอมปาวด์แสดงในตารางที่ 3.20 การพิจารณาเบื้องต้นจะเปรียบเทียบสีของชิ้นงาน แล้วสุ่มทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของบางสูตร เพราะคิดว่าสมบัติด้านแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะปริมาณสารตัวเติมมีไม่มากนัก (ไม่เกิน 25 phr) สมบัติด้านแรงดึงแสดงในตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.20 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.5 - อิทธิพลสารตัวเติม

สูตร	ZC1	ZC4	ZC6	ZC7	ZC8	ZC11	ZC12	ZC13	ZC14
ยาง CREPE	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Zinc oxide active	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Stearic acid	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
BHT	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Silica	5	5	5	5	-	-	-	5	-
$CaCO_3$	-	-	-	20	-	-	-	-	-
$MgCO_3$	20	-	10	-	20	10	-	-	-
Zinc stearate	-	-	-	-	-	-	20	5	10
Paraffin Oil	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sulfer	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

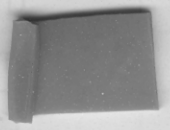
ตารางที่ 3.21 สมบัติด้านแรงดึงของยางจากสูตรยางคอมปาวด์ในตารางที่ 3.20

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตรZC6	18.2 ± 1.8	861 ± 26
สูตรZC8	20.3 ± 1.7	853 ± 20
สูตรZC12	25.4 ± 0.9	897 ± 15
สูตรZC13	18.9 ± 3.6	980 ± 57
สูตรZC14	25.3 ± 1.5	923 ± 30

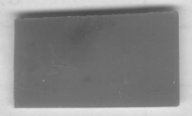
จากการเปรียบเทียบสีของชิ้นงานที่ติดในหน้าถัดไป จะเห็นว่ามีสีแตกต่างกันไป ถึงแม้ผงสีที่ใช้คือสีชมพูสด แต่สีของชิ้นงานที่ได้ยังคงเพี้ยนไปจากสีชมพูสด บางสูตรให้สีออกสีแดง หรือใกล้

เดียงสีส้ม เห็นได้ชัดเจนในสูตรที่มีส่วนผสมของ Zinc stearate ในขณะที่ $MgCO_3$ ทำให้ชิ้นงานมีสีชมพูมากกว่า สูตรZC14ที่มี Zinc stearate 10 phr เท่านั้น ให้สีสดใสมาก แต่จะมีการซึมออกมาของสารเคมีจากการทดลสอบการบ่มเร่ง และพบในสูตรZC12และสูตรZC13เช่นเดียวกัน การใช้ $CaCO_3$ ยังคงทำให้ชิ้นงานมีสีด้านเช่นเดิมถึงแม้จะผสม Si อยู่ด้วยก็ตาม เนื่องจากชิ้นงานมี shade สีเปลี่ยนไป จากการใช้สารตัวเติมต่างชนิดและใช้ในปริมาณต่างๆกัน ดังนั้น การเปรียบเทียบความสดใสของสีจึงทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ การเปรียบเทียบความสดใสด้วยสายตาภายใต้แสงแดดหรือแสงจากหลอดไฟฟ้าทั่วไป ผลการเปรียบเทียบจะมีความแตกต่างหากกระทำด้วยผู้อื่น ความพึงพอใจของสีที่ปรากฏจึงขึ้นอยู่กับปัจเจกบุคคล ยกเว้นแต่ว่าจะมีการใช้เครื่องวัดความเข้มและความเงามันของสีในการเปรียบเทียบ เป็นการตัดปัญหาความเบี่ยงเบนที่เกิดจากผู้ดูและแสงที่ใช้ดู

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



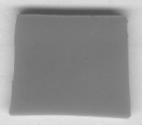
สูตร ZC1



สูตร ZC4

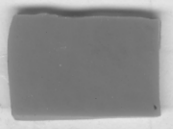
สูตร ZC6

สูตร ZC8

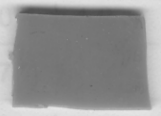


สูตร ZC11

สูตร ZC12



สูตร ZC13



สูตร ZC14

อิทธิพลปริมาณ Zinc oxide active

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา สูตรที่ดีที่สุดน่าจะเป็นสูตร ZC4 ซึ่งเป็นสูตรเดียวกันกับสูตร ZA4 แต่ต่างกันตรงที่ชนิดของยางธรรมชาติ ยางเครปขาวจะให้สีสดใสที่สุด เนื่องจากยางเครปขาวมีสีขีดที่สุด การทดลองนี้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ Zinc oxide active ที่มีต่อสีของชิ้นงาน โดยการเพิ่มปริมาณเป็น 2.5 และ 4 phr ตามสูตรที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองที่ 3.5 - อิทธิพลปริมาณ Zinc oxide active

สูตร	ZC4	ZC9	ZC10
ยางCREPE	100	100	100
Zinc oxide active	1.25	4	2.5
Stearic acid	1	1	1
MBTS	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.3	0.3	0.30
BHT	1	1	1
Silica	5	5	5
Paraffin oil	2	2	2
Sulfer	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3.23 สมบัติด้านแรงดึงของยางจากสูตรยางคอมปาวด์ในตารางที่ 3.22

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตรZC4 สีชมพู	20.4 $\pm$ 1.9	1037 $\pm$ 23
สูตรZC9 สีชมพู	17.0 $\pm$ 1.2	941 $\pm$ 77
สูตรZC9 สีเขียว	15.5 $\pm$ 0.7	596 $\pm$ 42

เนื่องจาก Zinc oxide active มีสีขาว การเติมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้shadeสีเปลี่ยนไป สังเกตได้จากตัวอย่างที่ติดไว้ในหน้าถัดไป ดังนั้น หากพิจารณาจากความเป็นสีชมพูแล้ว ก็อาจกล่าวได้ว่า ควรจะเติม Zinc oxide active ในปริมาณมาก

สรุปผลการทดลอง

1. การพัฒนาสูตรยางรัดของสะท้อนแสงควรจะเติม Si ลงไปด้วย และ paraffin oil ไม่มีผลต่อความสดใสของสีอย่างเด่นชัด
2. สารเพิ่มเนื้อที่ใช้จะทำให้สีของชิ้นงานเปลี่ยนไปในทิศทางที่เป็นอิสระแก่กัน ขึ้นอยู่กับสูตรยาง Zinc stearate ทำให้สีเข้มขึ้นและสดใสมากขึ้น แต่มีการซึมออกมาของสารเคมีหลังทำการบ่มเร่ง
3. ปริมาณของ Zinc oxide active มากขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีสีชมพูมากขึ้น และshadeสีจะต่างกันตามปริมาณสารเคมีดังกล่าว

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ

สูตร ZC4 สูตร ZC9 สูตร ZC10

ตอนที่ 2 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางSTR5Lและยางเครปขาว

3.6 การทดลองที่ 6 : การปรับปรุงสูตรพื้นฐาน

การทดลองนี้ได้นำสูตรยางรัดของที่เผยแพร่ในเอกสารต่างๆ นำมาดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมสำหรับยางรัดของสีสะท้อนแสง โดยได้ศึกษาผลของสารตัวเติม ชนิดของซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสง และผลของปริมาณ น้ำมันพาราฟิน โดยศึกษาลักษณะของสี และสมบัติการทนต่อแรงดึง เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรัดของ (มอก.886-2532)

ผลของการใส่สารตัวเติมที่มีต่อความใสและสมบัติการทนต่อแรงดึงของยางเครป (ไม่ใส่สี)

เลือกใช้ยางเครปเพราะเป็นยางที่มีสีขาวเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับยางรัดของสีสะท้อนแสง ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของสารตัวเติม ($CaCO_3$ และ Si) ที่มีต่อยางเครป โดยทำการทดลอง 3 สูตรประกอบด้วยสูตรที่ใส่$CaCO_3$ (สูตรA) ใส่ Si (สูตรB) ไม่ใส่สารตัวเติม (สูตรC) สารเคมีที่ใช้แสดงตามตารางที่ 3.24 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.25 ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่าลักษณะทางกายภาพเมื่อใส่ $CaCO_3$ จะทำให้ยางไม่ติดกันและยางจะมีสีขุ่น เมื่อใส่Si จะทำให้ยางติดกันและได้ยางที่ใสกว่า และเมื่อไม่ใส่สารตัวเติมจะให้สีเหมือนที่ใส่Si แต่จะทำให้ยางติดกันมากที่สุด เมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางสุกได้ผลดังนี้ สูตรที่ใส่Siใช้เวลานานที่สุดคือ 6.19 นาที รองลงมาคือสูตรที่ใส่$CaCO_3$ใช้เวลา 4.15 นาที สูตรที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือสูตรที่ไม่ได้เติมสารตัวเติมใช้เวลา 3.57 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากSiเป็นตัวเสริมแรงทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางนิ่มลงด้วยความร้อนจะสูงขึ้นและใช้เวลามากกว่า $CaCO_3$ ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ มอก. พบว่ายางที่ใส่$CaCO_3$มีค่าผ่าน มอก.คือ 17.84 MPa และสูตรที่ใส่Siมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 15.05 MPa ซึ่งก็ผ่านค่า มอก. และให้ความใสมากกว่าการใส่$CaCO_3$ จึงเหมาะสำหรับการทำยางวงสะท้อนแสง

ผลของชนิดซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และความใสของยางเครป (ไม่ใส่สี)

ชนิดของซิงค์ออกไซด์มีอยู่หลายเกรด เช่นเกรดที่เรียกว่า Zinc Oxide Active, Zinc Oxide Transparent ซึ่งทั้ง 2 เกรดนี้จะให้ลักษณะยางที่โปร่งใสหรือโปร่งแสงมากกว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา ในการทดลองนี้ใช้ซิงค์ออกไซด์ 2 ชนิดได้แก่ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา (สูตรD) Zinc Oxide Active (สูตรB) โดยจะเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสียางคอมปาวด์ และค่าความต้านทานแรงดึงซึ่งใช้สารเคมีตามตารางที่ 3.24 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.25 จากการทดลองจะพบว่าความใสของยางเครปที่ใส่ซิงค์ออกไซด์ธรรมดากับ Zinc Oxide Active ไม่แตกต่างกัน และการผสมยางโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดาจะผสมง่ายกว่า ซึ่งซิงค์ออกไซด์ธรรมดาจะไม่ติดลูกกลิ้งขณะทำการคอมปาวด์ และจากค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่ได้ไม่แตกต่างกันมากคือซิงค์ออกไซด์ธรรมดามีค่าความต้านทานแรงดึง 17.35 MPa และ Zinc Oxide Active มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 15.05 MPa ซึ่งการที่ซิงค์ออกไซด์ Active มีค่าน้อยกว่าและ Zinc Oxide Active ไม่ได้ให้ลักษณะ

ยางที่โปร่งใสมากกว่าซิงค์ออกไซด์ธรรมดา และยังมีราคาแพงกว่ากว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา ดังนั้นจึงเลือกใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา

ผลของอุณหภูมิการขึ้นรูปที่มีต่อสีของยางเครป

เนื่องจากการแปรรูปต้องใช้ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งการทดลองนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสีของยางเพื่อให้ได้ยางที่ใสและให้สีสะท้อนแสงที่ดีโดยใช้สูตรและสารเคมีตามตารางที่ 3.24 ซึ่งสูตรในแต่ละอุณหภูมิจะเหมือนกัน (สูตรD) โดยใช้อุณหภูมิ 100 110 120 130 140 และ 150 ^{o}C ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.25 จากการศึกษาจะพบว่าค่าที่ได้จากเครื่อง MDR ที่อุณหภูมิ 100-130 ^{o}C ยางจะไม่เกิดการสุกและที่อุณหภูมิ 140 ^{o}C ยางคอมปาวด์จะใช้เวลาในการทำให้สุกนานกว่าที่อุณหภูมิ150^{o}C โดยดูจากค่า t_{c90} ที่อุณหภูมิ 140^{o}C ใช้เวลา 12.12 นาที และ t_{c90} ที่อุณหภูมิ 150^{o}C ใช้เวลา 6.19 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการสุกของยาง การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ใช้เวลาในการสุกของยางลดลง และจากลักษณะทางกายภาพพบว่าสีของยางที่อุณหภูมิต่ำจะใสกว่า แต่เมื่อนำมาอัดเบ้าที่ 140^{o}C และ 150 ^{o}C สีที่ได้ไม่ต่างกัน แต่ใช้เวลาที่ต่างกัน และเมื่อศึกษาค่า สมบัติทางฟิสิกส์พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้ยางสุก จะให้ความแข็งแรงที่สูงกว่าคือที่อุณหภูมิ 150^{o}C และ140^{o}C ค่าความต้านทานแรงดึง 17.35 MPa และ 14.99 MPa ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 150^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับยางธรรมชาติเพราะใช้เวลาเหมาะสมไม่นานจนเกินไปซึ่งจะเป็นผลดีต่อการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม และให้ค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดี

ตารางที่ 3.24 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของสารตัวเติม ชนิดของซิงค์ออกไซด์ และผลของอุณหภูมิต่อยางเครป

สูตร	สูตรอ้างอิง	A	B	C	D
Crepe	-	100	100	100	100
STR5L	100	-	-	-	-
Paraffin Oil	-	5	5	5	5
$CaCO_3$	-	5	-	-	-
Silica	-	-	5	-	5
ZnO	-	-	-	-	1
ZnO Active	1	1	1	1	-
Stearic Acid	1	1	1	1	1
Sulfur	2	1.25	1.25	1.25	1.25
MBTS	1	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	-	0.375	0.375	0.375	0.375
TMTM	1	-	-	-	-
Wingstay L	1	1	1	1	1

ตารางที่ 3.25 ผลการทดสอบยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลสารตัวเติม ชนิดของซิงค์ออกไซด์ และผลของอุณภูมิต่อยางเครป

สูตร	t_{s1} min.	t_{s2} min.	t_{c90} min.	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
A	2.55	3.16	4.15	17.8 $\pm$ 1.7	1114 $\pm$ 35	0.860
B	4.33	5.1	6.19	15.1 $\pm$ 1.5	1167 $\pm$ 21	0.851
C	2.45	3.54	3.57	4.5 $\pm$ 1.2	1111 $\pm$ 77	0.172
D(150°C)	4.4	5.15	6.3	17.4 $\pm$ 3.4	1076 $\pm$ 11	0.986
D(140°C)	8.53	10	12.12	15.0 $\pm$ 1.8	1160 $\pm$ 56	0.751

ผลของลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสงที่มีต่อสีของยาง ADS

เลือกใช้ยาง ADS แทนยางเครปเพราะยาง ADS เป็นยางที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดและใช้กันทั่วไปในการผลิตยางรัดของ ศึกษาลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสงต่อการคอมปาวด์ยางว่ามีผลต่อสมบัติและสีหรือไม่ โดยเพิ่มผงสีสะท้อนแสงในสูตร D และเรียกสูตรที่เพิ่มผงสีนี้ว่าสูตร E โดยทำการทดลองใส่ผงสีสะท้อนแสงก่อนสารเคมีอื่นและใส่ผงสีสะท้อนแสงหลังสารเคมีตัวสุดท้ายก่อน

กำมะถัน ดังแสดงตามตารางที่ 3.26 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.27 จากการทดลองพบว่าสีของยางไม่แตกต่างกัน แต่ใส่ผงสีสะท้อนแสงหลังสารเคมีจะใช้เวลาในการคอมปาวด์นานขึ้น เนื่องจากต้องใช้เวลาในการทำให้ผงสีสะท้อนแสงเข้ากับยาง และจากค่าสมบัติทางฟิสิกส์พบว่าการใส่ผงสีสะท้อนแสงก่อนสารเคมีอื่นมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 20.1 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่าการใส่ผงสีสะท้อนแสงหลังสารเคมีที่มีค่าเท่ากับ 18.28 MPa เนื่องจากใส่ผงสีสะท้อนแสงก่อนมีการกระจายตัวในเนื้อยางได้ดีกว่าทำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่า ดังนั้นจึงเลือกใส่ ผงสีสะท้อนแสงก่อนสารเคมีอื่นเพื่อความสะดวกในการผสมและให้สีที่เหมาะสม

ผลของปริมาณน้ำมันพาราฟินที่มีต่อสีของยาง ADS

น้ำมันพาราฟินที่ปริมาณต่างกันก็มีหน้าที่ต่างกันไปเช่นทำหน้าที่เป็น processing aid หรือsoftener หรือ extender เพื่อต้องการหาปริมาณน้ำมันพาราฟินที่เหมาะสมสำหรับการผลิตยางรัดของจึงทำการทดลองแบ่งปริมาณน้ำมันพาราฟินออกเป็น 5 สูตร ได้แก่ ปริมาณน้ำมันพาราฟิน 4 phr (สูตร F) 3 phr (สูตร G) 2 phr (สูตร H) 1 phr (สูตร I) 0 phr (สูตร J) ตามตารางที่ 3.26 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.27 จากการทดลองพบว่าสีที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก แต่ความมันเงาต่างกันเมื่อเทียบกับไม่ใส่น้ำมันพาราฟิน เนื่องจากน้ำมันพาราฟินจะซึมไปที่ผิวของยางทำให้ความเงามันและจากการทดสอบลักษณะการทำให้ยางคงรูป (Cure Characteristics) พบว่าเมื่อใส่น้ำมันพาราฟินมากขึ้นยางใช้เวลาในการทำให้สุกนานขึ้น โดยเรียงลำดับเวลาที่ทำให้ยางสุกจากปริมาณพาราฟินมากไปหาน้อยดังนี้ 6.01 นาที 6.06 นาที 5.01 นาที 4.4 นาที 4.57 นาที และจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของยางพบว่าเมื่อมีน้ำมันพาราฟินมากขึ้นค่าจะต่ำลงโดยเรียงลำดับค่าความต้านทานแรงดึงจากปริมาณพาราฟินมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 12.81 MPa 14.01 MPa 17.34 MPa 17.16 MPa 20.16 MPa จากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำให้ยางสุกและค่าความต้านทานแรงดึงค่าปริมาณน้ำมันพาราฟินที่เหมาะสมคือ 2 phr เนื่องจากใช้เวลาในการทำให้ยางสุกสั้นและให้ค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมและผ่านมาตรฐาน มอก.

ตารางที่ 3.26 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของการใส่ผงสีสะท้อนแสงและปริมาณน้ำมันพาราฟินต่อยาง ADS

สูตร	E	F	G	H	I	J
ADS	100	100	100	100	100	100
Paraffin Oil	-	4	3	2	1	0
$CaCO_3$	5	-	-	-	-	-
Silica	-	5	5	5	5	5
ZnO	1	1	1	1	1	1
Stearic Acid	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Wingstay L	1	1	1	1	1	1
Pigment	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625	0.625

ตารางที่ 3.27 ผลการทดสอบยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของการใส่ผงสีสะท้อนแสงและปริมาณน้ำมันพาราฟินต่อยาง ADS

สูตร	t_{s1} min.	t_{s2} min.	t_{c90} min.	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
E (ก่อน)	-	-	-	18.3 $\pm$ 0.8	1100 $\pm$ 33	-
E (หลัง)	-	-	-	20.1 $\pm$ 1.1	1093 $\pm$ 37	-
F	4.18	4.54	6.01	12.8 $\pm$ 1.3	1015 $\pm$ 25	0.923
G	4.15	4.51	6.06	14.0 $\pm$ 2.3	983 $\pm$ 58	0.913
H	3.4	4.06	5.01	17.3 $\pm$ 1.1	1032 $\pm$ 38	1.083
I	3.3	3.51	4.4	17.2 $\pm$ 1.4	1030 $\pm$ 27	1.103
J	3.39	4.01	4.57	20.2 $\pm$ 2.3	1033 $\pm$ 25	1.179

3.7 การทดลองที่ 7 : ชนิดของยางที่มีผลต่อสีและสมบัติต่าง ๆ

ผลของชนิดของยางที่มีต่อสีและสมบัติความต้านทานแรงดึง

ยางธรรมชาติใช้เป็นวัตถุดิบที่อยู่ในรูปยางแผ่นและยางแท่งเช่น ยางแท่ง STR5L ยางแท่งเครปและยางแผ่น ADS ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบสมบัติและสีของยางชนิดต่าง ๆเพื่อให้เหมาะสมกับสูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงโดยใช้ยาง 3 ชนิดได้แก่ ยาง ADS (สูตร K) ยางเครป (สูตร L) และยาง STR5L (สูตร M) ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 ซึ่งผลการทดสอบพบว่าลักษณะทางกายภาพของทั้ง 3 สูตรได้ยาง คอมปาวด์ ที่มีความเข้มของสีเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือยาง STR5L มีสีใกล้เคียงกับยาง ADS คือมีสีชมพูเข้มส่วนยางเครปมีสีชมพูอ่อนส่วนยางที่ได้หลังจากการอัดเบ้า (รูปที่ 1 2 3 ตามลำดับ) พบว่าความเข้มของสีเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ยางADSมีสีเข้มมากที่สุดรองลงมาคือยางเครปและยาง STR 5L มีสีเข้มน้อยที่สุดเนื่องจากยาง ADS มีสีของยางดิบก่อนการเติมผงสีสะท้อนแสงมากกว่าทำให้ยางที่ได้มีความเข้มของสีสูงทั้งก่อนและหลังการอัดเบ้าและจากการค่าความต้านทานการดึงของยางชนิดต่าง ๆพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ยาง STR5L มีค่ามากที่สุดเท่ากับ19.59 MPa รองลงมาคือยางเครปเท่ากับ16.92 MPa และยาง ADS มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 16.40 MPa พบว่าความแข็งแรงของยางธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดไม่เท่ากันอาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตยางแต่ละชนิดต่างกันดังนั้นจึงเลือกใช้ยาง STR5L เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูกรวมทั้งให้ความใสใกล้เคียงกับยางเครปและให้ค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีเหมาะสำหรับยางรัดของสะท้อนแสง

ผลของชนิดซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และความใสของยาง ADS

เป็นการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา(สูตร K) Zinc Oxide Acitive (สูตรN) Zinc Oxide Transparent (สูตร O) ที่มีต่อยางADS ซึ่งเป็นยางที่ใช้กันในการผลิตยางรัดของ โดยดูการเปลี่ยนแปลงของสียางคอมปาวด์ที่เกิดจากผสมซิงค์ออกไซด์ชนิดต่าง ๆ ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 จากการทดลองพบว่ายางที่ใส่ซิงค์ออกไซด์ชนิดต่าง ๆเรียงตามลำดับความเข้มของสียางที่ได้ดังนี้ซิงค์ออกไซด์มีสีเข้มที่สุด รองลงมาคือ Zinc Oxide Acitive และ Zinc Oxide Transparent มีสีเข้มน้อยที่สุด แต่ก็แตกต่างกันไม่มาก และจากการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของยางพบว่ายางที่ใส่ Zinc Oxide Acitive มีค่าความต้านทานแรงดึง 16.94 MPa รองลงมาคือยางที่ใส่ซิงค์ออกไซด์ธรรมดามีค่าความต้านทานแรงดึง 16.4 MPa และยางที่ใส่ Zinc Oxide Transparent มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดคือ 14.14 MPa ซึ่งสาเหตุที่ Zinc Oxide Acitive มีค่าความต้านทานแรงดึง มากที่สุดเป็นเพราะมีอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยางได้ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ธรรมดาแต่ผสมยากกว่ายางที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา ซึ่งการผสมซิงค์ออกไซด์ธรรมดาจะไม่ติดลูกกลิ้ง และยางที่ใช้ Zinc Oxide Transparent มีค่าไม่ผ่านมอก. ดังนั้นจึงเลือกใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดากับยาง ADS

ผลของชนิดซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์และความใสของยาง STR5L

เป็นการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ได้แก่ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา (สูตร P) Zinc Oxide Acitive (สูตรQ) Zinc Oxide Transparent (สูตร R) ที่มีต่อยาง STR5L ซึ่งให้ความแข็งแรงสูงและหาได้ง่ายในท้องตลาด โดยดูการเปลี่ยนแปลงของสียางคอมปาวด์ที่เกิดจากซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆ ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 จากการทดสอบพบว่าลักษณะสีของยางเรียงตามความเข้มของสีจากน้อยไปหามากดังนี้คือ Zinc Oxide Transparent มีสีเข้มที่สุดรองลงมาคือซิงค์ออกไซด์ธรรมดาและ Zinc Oxide Acitive มีสีเข้มน้อยที่สุดแต่ก็มีความแตกต่างกันไม่มาก และจากการทดสอบค่าความด้านทานแรงดึงของยางพบว่าค่าความด้านทานแรงดึงของยางที่ใส่ Zinc Oxide Acitive มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 21.75 MPa รองลงมาคือซิงค์ออกไซด์ธรรมดา มีค่าความด้านทานแรงดึงเท่ากับ 19.28 MPa และยางที่ใส่ Zinc Oxide Transparent มีค่าต่ำที่สุดคือ 17.89 MPa ซึ่งผลที่ได้มีความคล้ายกันกับยาง ADS และยางเครปดังนั้นจึงเลือกใช้ยาง STR5L ที่ให้ค่าความด้านทานแรงดึงสูงสุดระหว่างยางทั้ง 3 ชนิดและเลือกใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดาแทนการใช้ Zinc Oxide Acitive ที่ให้ค่าความด้านทานแรงดึงสูงแต่การผสมทำได้ยากและราคาแพงกว่า

ตารางที่ 3.28 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษายางและซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆ

สูตร	K	L	M	N	O	P	Q	R
ADS	100	-	-	100	100	-	-	-
STR5L	-	-	100	-	-	100	100	100
Crepe	-	100	-	-	-	-	-	-
Paraffin Oil	2	2	2	2	2	2	2	2
Silica	5	5	5	5	5	5	5	5
ZnO	1	1	1	-	-	1	-	-
ZnO Active	-	-	-	1	-	-	1	-
ZnO Transparent	-	-	-	-	1	-	-	1
Stearic Acid	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Wingstay L	1	1	1	1	1	1	1	1
Pigment	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 3.29 ผลการทดสอบยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษายางและซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆ

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
K	16.4 ± 1.0	1025 ± 46	1.072
L	16.9 ± 1.6	1080 ± 35	0.9925
M	19.6 ± 1.5	1029 ± 52	1.246
N	16.9 ± 1.8	982 ± 43	1.144
O	14.1 ± 3.0	1079 ± 59	0.875
P	19.3 ± 1.3	1062 ± 38	1.226
Q	21.8 ± 1.2	1022 ± 19	1.404
R	17.9 ± 1.0	1015 ± 33	1.161

ผลการใส่และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสงของยาง 3 ชนิดคือ STR5L ยางเครป ยาง ADS

เป็นการเปรียบเทียบสีของยาง STR5L ยางเครปและยาง ADS ทั้งแบบที่ใส่ผงสีสะท้อนแสง (สูตร S T U ตามลำดับ) และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสง (สูตร V W X ตามลำดับ) เนื่องจากยางที่ไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสงของยางแต่ละชนิดให้สียางที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อสีของยางที่ใช้ผงสีสะท้อนแสง ว่าจะให้ความสว่างและความใสแตกต่างกันอย่างไรในยางแต่ละชนิด โดยทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 6 สูตรดามตารางที่ 3.30 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.31 จากการทดสอบลักษณะทางกายภาพของยางทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่ได้ใส่ผงสีสะท้อนแสงพบว่าสีของยางคอมปาวด์เรียงลำดับความเข้มมากไปน้อยคือยาง ADS มีสีเข้มที่สุดรองลงมาคือยาง STR5L และยางเครปมีสีเข้มน้อยที่สุด และสีของยางหลังจากการอัดเบ้า (ตามรูปที่ 4 5 6 ตามลำดับ) เรียงลำดับความเข้มมากไปน้อยคือยาง ADS มีสีเข้มที่สุดเช่นกันรองลงมาคือยาง STR5L ที่มีสีใกล้เคียงกับยางเครปส่วนลักษณะของยางทั้ง3ชนิดที่ใส่ผงสีสะท้อนแสงพบว่าสียางคอมปาวด์ทั้ง 3 ชนิดไม่ต่างกัน และสีของยางหลังจากการอัดเบ้า (ตามรูปที่ 7 8 9 ตามลำดับ) เรียงลำดับความเข้มมากไปน้อยคือยาง ADS มีสีเข้มที่สุดรองลงมาคือยาง STR5L ที่มีสีใกล้เคียงกับยางเครปและจากการทดลองเรื่องสีของยางทั้งแบบที่ใส่ผงสีสะท้อนแสงและไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสงโดยสีของยางขึ้นอยู่กับชนิดและสีพื้นของยางที่นำมาใช้ โดยสีของยาง ADS เข้มกว่าสีของยาง STR5L และยางเครปตามลำดับ ดังนั้นยาง ADS ที่ได้จะมีสีของยางหลังการอัดเบ้าเข้มมากที่สุด รองลงมาคือยาง STR5L และยางเครป และจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของยางพบว่ายาง STR5L ให้ค่าสูงสุดคือ 16.09 MPa รองลงมาคือยางเครป 15.41 MPa และยาง ADS 14.47 MPa ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้ยาง STR5L เพราะยางเครปมีราคาแพงกว่าและหาซื้อได้ยากตามท้องตลาด

ตารางที่ 3.30 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษายางชนิดต่างๆ ที่ใส่และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสง

สูตร	S	T	U	V	W	X
ADS	-	-	100	-	-	100
STR5L	100	-	-	100	-	-
Crepe	-	100	-	-	100	-
Paraffin Oil	2	2	2	2	2	2
Silica	5	5	5	5	5	5
ZnO	1	1	1	1	1	1
Stearic Acid	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Wingstay L	1	1	1	1	1	1
Pigment	1.5	1.5	1.5	-	-	-

ตารางที่ 3.31 แสดงผลของยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของยางชนิดต่างๆที่ใส่และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสง

สูตร	t_{s1} min.	t_{c90} min.	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
S	3.04	4.13	16.1 ± 1.1	1076 ± 26	0.842 ± 0.031
T	3.20	4.37	15.4 ± 0.9	1072 ± 20	0.889 ± 0.022
U	3.08	4.16	14.5 ± 1.3	1077 ± 19	0.858 ± 0.023
V	2.59	4.15	12.5 ± 3.3	999 ± 82	0.786 ± 0.044
W	3.22	4.40	18.4 ± 1.8	1106 ± 30	0.844 ± 0.017
X	2.58	4.07	15. ± 1.8	1058 ± 32	0.862 ± 0.033

3.8 การทดลองที่ 8 : สารเคมีที่เหมาะสมสำหรับสูตรยาง

ผลของชนิดแอนติออกซิแดนท์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และสีของยาง STR5L

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของแอนติออกซิแดนท์ 3 ชนิดได้แก่ WingstayL (สูตร Y) Antate MB (สูตรZ) A/O HB (สูตรAA) ที่มีผลต่อสีของยาง โดยทำการทดสอบ 3 สูตรตามตารางที่ 3.32 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.33 ซึ่งสารเคมีที่ใช้มีลักษณะดังนี้ A/O HB เม็ดกลมสีเขียวเข้มขนาดเท่าเม็ดถั่วเขียว WingstayL และ Antage MB มีลักษณะเป็นผง อนุภาคของ WingstayL มีขนาดเล็กกว่า Antage MB และจากการคอมปาวด์ยางพบว่าสีของยางที่ใส่ A/O HB จะมีสีเข้มที่สุดรองลงมาคือ WingstayL และที่มีสียางอ่อนที่สุดคือ Antage MB และเมื่อนำยางคอมปาวด์มาทำอัดเบ้าพบว่าสีของยางที่ใส่ A/O HB มีสีเข้มมากที่สุด (รูปที่ 10) รองลงมาคือ WingstayL (รูปที่ 11) และ Antage MB (รูปที่ 12) ตามลำดับ จากการทดสอบเรื่องชนิดของแอนติออกซิแดนท์ที่มีต่อสีของยางทั้ง 2 ชนิดได้แก่ยางคอมปาวด์และยางที่ได้หลังจากการอัดเบ้า พบว่าขึ้นอยู่กับสีของสารเคมีที่ใส่ลงไปเช่น A/O HB มีสีเขียวจะให้ยางที่มีสีเข้มมากกว่า WingstayL ที่มีสีเหลืองและ Antage MB ที่มีสีขาว จากค่าความต้านทานแรงดึงที่ใส่ A/O HB มีค่า20.3 MPa รองลงมาคือ WingstayL มีค่า19.28 MPa และ Antage MB มีค่าต่ำสุดคือ 13.77 MPa โดยสาเหตุที่เลือกใช้ WingstayL เพราะยางที่ได้มีสีดีกว่าการใส่ A/O HB และมีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าการใส่ Antage MB ซึ่งไม่ผ่านมอก.

ผลของปริมาณ WingstayL ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณของแอนติออกซิแดนท์ที่ใส่ลงไปในยางเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีของยางคอมปาวด์และสีที่ได้หลังจากการอัดเบ้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยทำการทดลอง 4 สูตรได้แก่ WingstayL 1 2 3 4 phr (รหัส Y AB AC AD ตามลำดับ) ตามตารางที่ 3.32 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.33 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสีของยางทั้ง 4 สูตรคือใส่ WingstayL 1 2 3 4 phr ตามลำดับให้สีของยางคอมปาวด์และสีของยางหลังการอัดเบ้าไม่ต่างกัน เนื่องจากปริมาณแอนติออกซิแดนท์(ในช่วงที่ทำการศึกษาตั้งแต่ 1-4 phr) ไม่มีผลต่อสีของยางแต่จะขึ้นกับชนิดของแอนติออกซิแดนท์ และจากค่าความต้านทานแรงดึงของยางที่เติม WingstayL 1 phr ให้ค่าสูงสุด คือ 19.28 MPa

ตารางที่ 3.32 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาชนิดและปริมาณของแอนติออกซิแดนท์

สูตร	Y	Z	AA	AB	AC	AD
STR5L	100	100	100	100	100	100
Paraffin Oil	2	2	2	2	2	2
Silica	5	5	5	5	5	5
ZnO	1	1	1	1	1	1
Stearic Acid	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
WingstayL	1	-	-	2	3	4
Antage MB	-	1	-	-	-	-
A/O HB	-	-	1	-	-	-
Pigment	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3.33 ผลการทดลองที่ใช้ศึกษาชนิดและปริมาณของ แอนติออกซิแดนท์

สูตร	t_{s1} min.	t_{c90} min.	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
Y	-	-	19.3 $\pm$ 1.3	1062 $\pm$ 38	1.226
Z	-	-	13.8 $\pm$ 2.5	971.5 $\pm$ 24	1.054
AA	-	-	20.3 $\pm$ 1.3	995.3 $\pm$ 31	1.398
AB	3.09	4.19	10.1 $\pm$ 2.7	1001 $\pm$ 86	0.809
AC	3.14	4.26	13.3 $\pm$ 1.3	1043 $\pm$ 42	0.862
AD	3.15	4.30	12.3 $\pm$ 1.1	1023 $\pm$ 36	0.876

ผลของการบ่มเร่ง (Aging) ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาความทนทานต่อการใช้งานเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงดึงและการเปลี่ยนแปลงการยืดเมื่อขาด (% Elongation at break) ของยาง STR5L ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยเป็นการศึกษาการเปรียบเทียบยางก่อนอบและหลังอบ ใช้สูตรตามตารางที่ 3.34 รหัส AE ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของยางก่อนอบมีค่า 16.09 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงของยางหลังอบมีค่า 19.33 MPa มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานแรงดึงหลังบ่มเร่งเท่ากับ 20.14 % และค่าความยืดเมื่อขาดก่อนอบมีค่า 1076% และค่าความยืดเมื่อขาดหลังอบมีค่า 1092% มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความยืดเมื่อขาดเท่ากับ 1.44% ซึ่ง

ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของแรงดึงและค่าการยืดเมื่อขาดเนื่องจากการบ่มเร่งมีค่าผ่าน มอก. คือไม่เกิน 25 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม

1. ผลของปริมาณการเติมซิงค์สเตียเรตที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และสีของยาง STR5L

ซิงค์สเตียเรตทำให้ยางโปร่งใสและเป็นตัวหล่อลื่นป้องกันไม่ให้ยางติดกันโดยใช้ ซิงค์สเตียเรตปริมาณ 0 1 2 3 4 phr ตามลำดับ และศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงของยางโดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.34 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.35 (รหัส AE AF AG AH AI) จากการทดลองพบว่าสีของยางไม่แตกต่างกันยางที่ใส่ซิงค์สเตียเรต 0 1 2 3 4 phr ให้ค่าความต้านทานแรงดึง 16.09 17.91 13.64 18.75 18.36 MPa ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณซิงค์สเตียเรตจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

2. ผลของชนิดของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการศึกษาผลของสารตัวเติม 3 ชนิดในปริมาณ 20 phr ได้แก่ซิงค์สเตียเรต(รหัสAL) Si(รหัสAK) $MgCO_3$(รหัสAM) ที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงโดยทำการทดสอบ 3 สูตรตามตารางที่ 3.34 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.35 จากการทดลองพบว่าการใช้ซิงค์สเตียเรตให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 20.31 MPa รองลงมาคือSi 18.93 MPa และ $MgCO_3$ 17.55 MPa แต่เมื่อศึกษาการบ่มเร่งพบว่ายางที่ใช้ ซิงค์สเตียเรตเกิดการบลูมส่วน $MgCO_3$ เป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมประสิทธิภาพจะให้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงและรักษารูปทรงได้ดีในยางที่ผ่านการอัดยางผ่านดาย (พรพรรณ นิธิอุทัย, สารเคมีสำหรับยาง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540) การผสม $MgCO_3$ ในยางทำได้ยากดังนั้นจึงเลือกใช้Siแต่ใช้ในปริมาณที่ต่ำลงเพื่อให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

3. ผลของปริมาณSiที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการศึกษาปริมาณการใช้Siที่ส่งผลต่อยาง โดยใช้Siเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงในปริมาณSi 5 15 20 phr (รหัส AE AJ AK) เพื่อศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงและลดการการเกิด die swell โดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.34 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.35 จากการทดลองพบว่าสีของยางไม่ต่างกันและค่าความต้านทานแรงดึง ของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณSiที่เพิ่มคือ 5 และ15 phr เท่ากับ16.09 MPa และ19.01MPa เพราะSiจะช่วยเสริมแรงแต่เมื่อใส่Si 20 phr ค่าความต้านทานแรงดึงของยางคือ 18.93 MPa ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไปทำให้การผสมเข้ากันได้ยากและจะต้องผสมนานกว่าปกติ ทำให้คุณสมบัติของยางลดต่ำลงดังนั้นปริมาณที่ใช้คือ 15 phr การเกิด die swell ได้ทำการทดลองเบื้องต้นด้วยเครื่อง Brabender ผลการทดลองที่ได้คือ ปริมาณซิลิกาไม่มีผลต่อปริมาณการบวมดังกล่าว แต่เนื่องจากชุดเครื่องมือนี้เหมาะกับพลาสติกเท่านั้น เมื่อนำมาประยุกต์ใช้

กับยางธรรมชาติ จะทดลองได้ในระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น ภายหลังจึงยกเลิกการทดลองด้วยเครื่องมือนี้

ตารางที่ 3.34 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาการเติมซิงค์สเตียเรต ชนิดและปริมาณสารตัวเติม

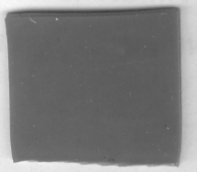
สูตร	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
STR5L	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Paraffin Oil	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Silica	5	5	5	5	5	15	20	0	0
$MgCO_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Zinc Stearate	0	1	2	3	4	0	0	20	0
ZnO	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Stearic Acid	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
TMTD	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
MBTS	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
WingstayL	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pigment	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3.35 ผลการทดลองที่ใช้ศึกษาการเติมซิงค์สเตียเรต ชนิดและปริมาณสารตัวเติม

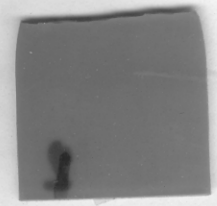
สูตร	t_{s1} min.	t_{c90} min.	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
AE	3.04	4.13	16.1 ±1.1	1076 ± 26	0.083 ± 0.031
AF	3.09	5.33	17.9 ± 1.3	1010 ± 33	1.38 ± 0.03
AG	2.5	4.3	13.6 ± 2.3	939 ± 57	1.29 ± 0.031
AH	3.09	4.38	18.8 ± 1.3	990 ± 45	1.24 ± 0.012
AI	5.05	7.49	18.4 ± 1.0	1080 ± 14	0.99 ± 0.029
AJ	5.17	8.19	19.0 ± 0.7	1046 ± 37	1.12 ± 0.04
AK	5.32	8.45	18.9 ± 0.4	1031 ± 21	1.15 ± 0.017
AL	5.30	8.56	20.3 ± 1.3	886 ±19	1.66 ± 0.043
AM	2.03	3.02	17.6 ± 3.0	896 ± 59	1.88 ± 0.101

ชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ

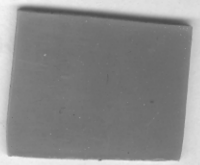
- ผลของชนิดของยางรัดของที่มีต่อสีและสมบัติความต้านทานแรงดึง



รูปที่1 สูตร K

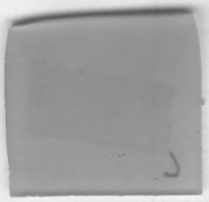


รูปที่2 สูตร L



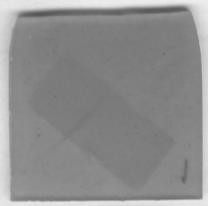
รูปที่3 สูตร M

- ผลของการใส่และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสงของยาง 3 ชนิด คือ STR, CREPE,ADS

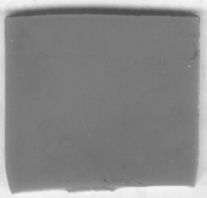


รูปที่4 สูตร X

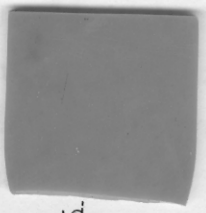
รูปที่5 สูตร V



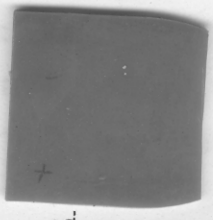
รูปที่6 สูตร W



รูปที่7 สูตร U

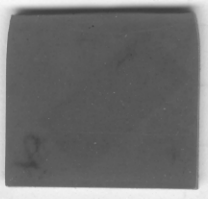


รูปที่8 สูตร S

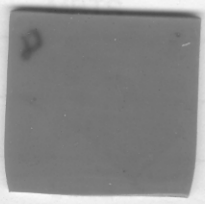


รูปที่9 สูตร T

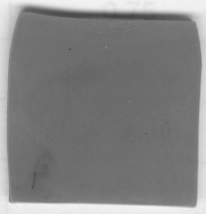
- ผลของแอนตี้ออกซ์แดนท์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และสีของยาง STRSL



รูปที่10 สูตร AA



รูปที่11 สูตร Y



รูปที่12 สูตร Z

4. สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางADSและยางเครปขาว

การทดสอบหาสูตรยางรัดของเพื่อให้มีสีสะท้อนแสงนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นยางโดยการอัดความดัน คือ 150 ^{o}C เวลา 7 นาที ซึ่งจากผลการทดสอบในตอนเริ่มต้นจะทำให้ได้สูตรยางที่ดีในระดับหนึ่ง คือ สูตร ZA4 มีสีสวยกว่ายางรัดของธรรมดาทั่วๆไป โดยมีสูตรดังนี้

ยาง ADS	100
Zinc oxide active	1.25
Stearic acid	1
MBTS	0.75
TMTD	0.3
BHT	1
Silica	5
Sulfer	1.5
Pigment	1.5

แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปด้วยการใช้ยางแท่งSTR5Lและยางเครปขาวแทนที่ยางADS ในสูตรข้างต้น พบว่าการใช้ยางเครปขาวให้สีของยางรัดของที่ดีกว่ายางอื่นๆทั้งหมด และเมื่อผสมน้ำมันเข้าไปเพื่อช่วยในการผสม ส่งผลให้ได้สีของยางแวววาวและเงามันยิ่งขึ้น สะท้อนแสงมากกว่าสูตร ZA4 ซึ่งสูตรยางที่ใช้ (สูตร ZC4) เป็นดังนี้

ยางCREPE	100
Zinc oxide active	1.25
Stearic acid	1
MBTS	0.75
TMTD	0.3
BHT	1
Silica	5
Paraffin oil	2
Sulfer	1.5
Pigment	1.5

ต่อมาเมื่อทดลองนำยางเครปขาว (สูตรZC4) ผสมกับ ULDPE ผลคือ จะได้สีของยางรัดของที่มีสีชมพูมากขึ้น โดยอัตราส่วนในการผสม CREPE/ULDPE อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 70:30 ซึ่งในกรณีนี้ ULDPE จะมีราคาแพงและสมบัติหลังการบ่มไม่ดีมากนัก และสีของยางผสมยังไม่สดใสเท่าที่ต้องการ

จึงค้นคว้าพัฒนาสูตรต่อไปโดยการเพิ่มสารตัวเติมชนิดต่างๆลงในสูตรยางต่างๆตามที่ได้ทำการทดลอง แต่พบว่าการใช้ $CaCO_3$ จะทำให้สีของยางมีสีคล้ำ และการใช้ $MgCO_3$, Zn-Stearate ที่มากเกินไป จะทำให้ได้สียางที่ไม่สดใส สีซีดลง แต่ดีกว่าการใช้ $CaCO_3$ มาก ส่วนการใช้ Silica ในปริมาณที่เหมาะสม คือ 5 phr จะทำให้ได้ยางที่มีสีสวยกว่าการใช้ Filler ชนิดอื่นๆ ปริมาณของ Zinc oxide active มีผลต่อสีของชิ้นงาน การเพิ่มปริมาณขึ้นเป็น 2.5 และ 4 phr จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีสีชมพูมากขึ้น ดังนั้น สูตรที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองตอนที่ 1 ได้จากการใช้ยางเครปขาวและใช้สูตร ZC4 โดยที่สามารถเพิ่มปริมาณ Zinc oxide active ให้สูงขึ้นได้ตามสีที่ต้องการ และการใช้ยางผสม CREPE/ULDPE มีโอกาสพัฒนาสูตรให้ดียิ่งขึ้น ส่วนยางผสมที่มีEVAเป็นองค์ประกอบไม่ควรนำไปใช้ต่อไป

สูตรยางรัดของที่ควรพัฒนาต่อไปคือ

ยางCREPE	100
Zinc oxide active	1.25 - 4
Stearic acid	1
MBTS	0.75
TMTD	0.3
BHT	1
Silica	5
Paraffin oil	2
Sulfer	1.5
Pigment	1.5

ตอนที่ 2 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางSTR5L

สูตรยางรัดของที่ดีที่สุด ที่ได้ทำการทดสอบ คือ

ยางSTR5L	100
ZnO	1
Stearic acid	1
MBTS	0.75
TMTD	0.375
Wingstay-L	1
Silica	15
Paraffin oil	2
Sulfer	1.25
Pigment	1.5

บทสรุป

โครงการวิจัยได้แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ตอน เพื่อมุ่งเน้นหาสูตรยางรัดของให้มีความหลากหลาย และสามารถหาสูตรยางที่มีความเหมาะสมต่อยางADS ยางเครปขาว และ ยางแท่ง STR5L การนำสูตรยางเหล่านี้ไปประยุกต์ในสเกลใหญ่ขึ้นหรือในระดับอุตสาหกรรม ย่อมต้องมีการปรับปรุงสูตรเพื่อความเหมาะสม การที่ยางธรรมชาติไม่สามารถให้สีสะท้อนแสงได้เช่นเดียวกับพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ และมีสีเพี้ยนไปจากสีเดิมของผงสี ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากยางธรรมชาติมี carotenoid ซึ่งเป็นเม็ดสีที่ก่อให้เกิดสีเหลือง อย่างไรก็ตามผลการทดลองอยู่ในระดับน่าพอใจและบรรลุวัตถุประสงค์ คือ สามารถออกสูตรยางรัดของที่สามารถให้สีสะท้อนแสง สดใส และสวยงามกว่าสีของยางรัดของที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โครงการวิจัยนี้ไม่สามารถดำเนินการทดลองอบยางคอมปาวด์ด้วยไอน้ำเช่นเดียวกับที่ใช้กันจริงในโรงงานผลิตยางรัดของ เนื่องจากมีปัญหาด้านเครื่องมือในช่วงเวลาที่ทำวิจัย การใช้สายตาของนักวิจัยเป็นตัวกำหนดความเข้มและการสะท้อนแสงของชิ้นงานเป็นจุดอ่อนของการวิจัยนี้ เพราะข้อสรุปผลการทดลองจะเปลี่ยนไปตามบุคคลที่ดู ดังนั้น การทำวิจัยเรื่องนี้ต่อไปควรจะใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ด้วย

การนำผลการทดลองเบื้องต้นนี้เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมนั้น จะต้องมีการทดลองนำสูตรต่างๆ ที่ได้นี้ ไปทดลองขึ้นรูปจริงเช่นเดียวกันกับที่ผลิตในโรงงาน เพราะอาจจะต้องมีการปรับสูตรอีกก็ได้ เนื่องจากสีสะท้อนแสงมีราคาแพงมาก คณะวิจัยคิดว่า การพัฒนาสูตรนี้ น่าจะทำเป็นผลิตภัณฑ์อีกระดับหนึ่งที่มิใช่ยางรัดของราคาถูกที่ใช้กันทั่วไป หรือในที่สุด อาจจะเป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มิใช่ยางรัดของก็ได้