

การทดสอบสมบัติด้านแรงดึงของสูตรต่างๆ ค่าสมบัติดังกล่าวมีค่าตามมาตรฐาน มอก. ดังแสดงในตารางที่ 3.9 สังเกตว่าค่าความต้านแรงดึงจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 3.8 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการซีมออกมาของสารเคมี

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
Sulfur	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

ชั้นตัวอย่างยางจากสูตรต่างๆได้แสดงไว้ข้างล่างนี้ สังเกตสีของEVAที่มีความสดใสมาก ชั้นตัวอย่างสีเหลืองไม่มีความสดใส 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(สี่1.5phr)



NR/EVA(ZA4 สี่1.5phr)



EVA(สี่1.5phr)



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. โดยสูตรที่ให้สีสดใสได้แก่ สูตร12 สูตร 13 สูตรZA1 และสูตรZA4 ในระยะแรกๆของการทดลองใช้ผงสีแดงในการศึกษา ซึ่งมีสีไม่ค่อยสดใสมากนัก ทำให้แยกความแตกต่างความสดใสของสีระหว่างสูตรแต่ละสูตรได้ค่อนข้างยาก จึงเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีชมพูสดทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสูตรต่างๆได้ จากการใช้ผงสีแดงได้ข้อสรุปว่า สูตร12 และสูตร13 ให้สีสดใสใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้ผงสีชมพูทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของสูตรทั้งสอง พบว่าสูตร13ซึ่งใช้ Zinc oxide ให้สีสดใสกว่าสูตร13ที่ใช้ Zinc carbonate และสูตรZA4 ให้สีสดใสมากที่สุด ดังนั้น การทดลองต่อไปจะใช้สีชมพู การเกิดปัญหาการซีมออกมาของสารเคมีสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงสูตรเล็กน้อยโดยการลดปริมาณ TMTD และปรับปรุงเทคนิคการผสมยางและการขึ้นรูปยางให้เหมาะสม

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

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

3.2 การทดลองที่ 2 : การพัฒนาสูตรยาง

จากการทดลองที่ 3.1 ทำให้สามารถคัดเลือกสูตรที่จะนำมาพัฒนาเพื่อปรับปรุงให้มีสีสดใสมากขึ้นได้ ในการทดลองที่ 3.2 นี้ จะไม่มีการใช้ CaCO_3 และ TiO_2 แต่จะเลือกใช้ Si ในปริมาณเล็กน้อย เพราะการเติม Si จะช่วยให้ยางมีสีสดใสขึ้น ในการศึกษาตอนนี้ยังคงมีการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเคมีและปริมาณผงสี โดยจะใช้ความสดใสของสีชิ้นงานเป็นตัวกำหนดสูตรที่ดี เนื่องจากสมบัติต้านแรงดึงของสูตรต่างๆอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 886-2532 วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของตัวกระตุ้น โดยจะคัดเลือกเพียง 1 ตัวที่ให้สีสดใสที่สุดในบรรดาตัวกระตุ้นที่ใช้อยู่ทั้งสามตัว 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 สูตร ZA4 ให้สีดีที่สุด คือ สีสวย สะท้อนแสง และสดใสกว่าสูตรอื่นๆ ขอให้สังเกตว่าการทดลองที่ 3.2 นี้ ใช้ผงสีสีชมพูสด ซึ่งสีที่ได้ควรจะเป็นสีชมพูเช่นเดียวกับสีของ EVA แต่ปรากฏว่ายางให้สีเพี้ยนไปจากสีเดิม ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ยางมีสีเหลืองอยู่ในตัวเองอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบสียางที่ได้จากการทดลองนี้ จะมีสีสดใสกว่าสีแดงที่ปรากฏอยู่ในการทดลองที่ 3.1 สูตรที่ให้สีดีรองลงมา คือ สูตร ZA8 สูตร 16 สูตร 22 และสูตร C3' ตามลำดับ นั่นคือ การใช้ Zinc oxide active จะให้สีสดใสที่สุด รองลงมาคือ Zinc oxide นอกจากนี้ใช้ BHT จะให้สีสดใสกว่าการใช้ Wingstay - L เล็กน้อย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการวัล

ค่าในซีกก็ยังคงเป็น 150°C ที่ 155°C จะทำให้สีคล้ำขึ้น สมบัติด้านแรงดึงและความยืดถาวร (tension set) แสดงในตารางที่ 3.11 และ ตารางที่ 3.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.11 สมบัติด้านแรงดึงของสูตรยางในตารางที่ 3.10

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตร 16 สีแดง 1 phr	19 ± 1	1091 ± 31
สูตร 16 สีเขียว 1 phr	18 ± 2	1076 ± 28
สูตร 16 สีชมพู 2 phr	19 ± 1	1066 ± 30
สูตร 22 สีชมพู 2 phr	17 ± 2	1080 ± 51
สูตร C'3 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1897 ± 35
สูตร C'3 สีเขียว 2 phr	19 ± 2	1833 ± 41
สูตร C'3 สีแดง 2 phr 155°C	17 ± 1	1913 ± 29
สูตร C'3 สีเขียว 2 phr 155°C	20 ± 1	1913 ± 23
สูตร C'3 สีชมพู 2 phr 155°C	20 ± 1	1019 ± 27
สูตร C5 สีเขียว 1 phr	23 ± 2	1039 ± 35
สูตร C5 สีแดง 1 phr	20 ± 2	1014 ± 25
สูตร C5 สีชมพู 1.5 phr	22 ± 2	996 ± 18
สูตร C5 สีชมพู 2 phr	19 ± 4	972 ± 64
สูตร CS5 สีเขียว 1 phr	23 ± 2	1076 ± 32
สูตร CS5 สีแดง 1 phr	22 ± 3	1042 ± 38
สูตร ZA4 สีแดง 1 phr	21 ± 0	1027 ± 23
สูตร ZA4 สีแดง 1.5 phr	21 ± 2	1043 ± 30
สูตร ZA4 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1008 ± 40
สูตร ZA4 สีเขียว 1 phr	21 ± 2	1044 ± 37
สูตร ZA4 สีเขียว 1.5 phr	20 ± 2	1061 ± 67
สูตร ZA4 สีเขียว 2 phr	20 ± 1	1041 ± 42
สูตร ZA4 สีชมพู 1.5 phr	21 ± 2	1043 ± 37
สูตร ZA8 สีแดง 2 phr	20 ± 1	1011 ± 41
สูตร ZA8 สีเขียว 2 phr	20 ± 1	1859 ± 36
สูตร ZA8 สีชมพู 1.5 phr	21 ± 2	1020 ± 22
สูตร ZA8 สีชมพู 2 phr	16 ± 2	986 ± 50
สูตร ZA8 สีแดง 2 phr 155°C	17 ± 2	1909 ± 57
สูตร ZA8 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 ส่วนการดึงยืดมากๆจะทำให้ค่าความยืดถาวรเพิ่มมากขึ้นและไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของมอก. 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 (%)
สีชมพู 1.5 phr	21.4 ± 2.0	1043 ± 37	22.3 ± 1.3	910 ± 47	4.2	-14.6
สีชมพู 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

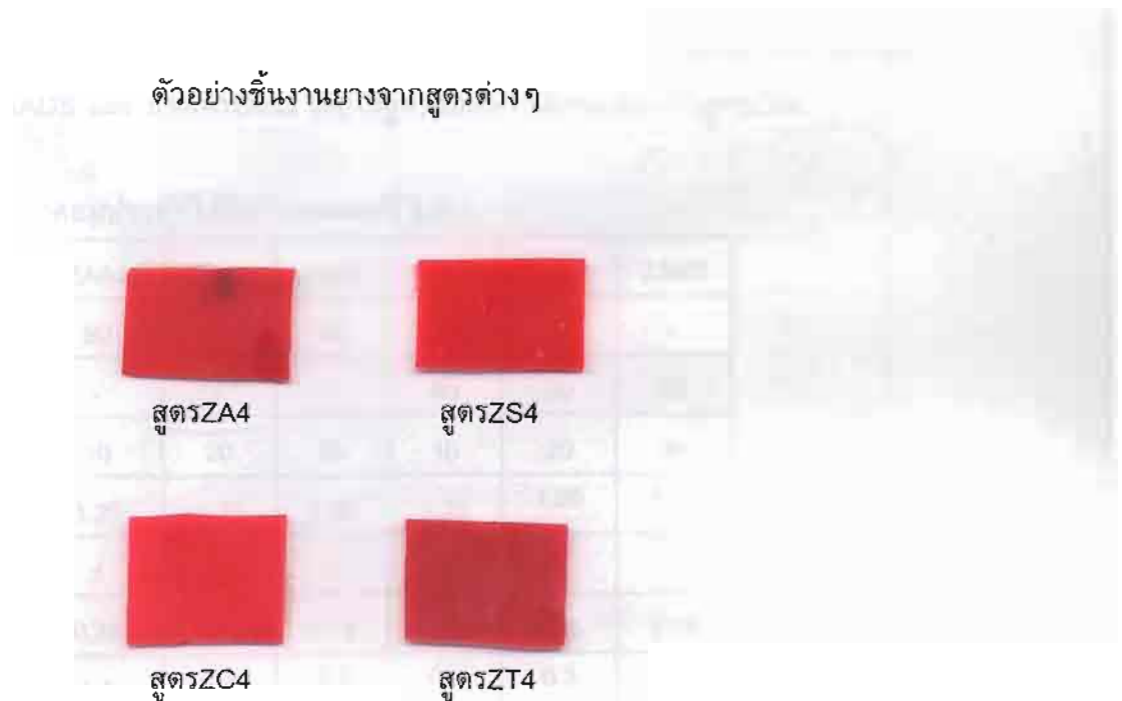
จากการทดลองที่ 3.2 ทำให้ได้สูตรยางรัตของที่ให้สีสดใส คือ สูตรZA4 แต่เนื่องจากยาง ADS มีสีพื้นที่ค่อนข้างคล้ำ จึงทำให้สีของชิ้นงานที่เตรียมขึ้นมามีสีไม่สดใสเท่าที่ควร ดังนั้น จึงทำการทดลองใช้ยางธรรมชาติในรูปแบบของยางแท่ง (STR5L) และยางเครปขาว (crepe) นอกจากนี้ยังได้ทดลองใช้ยางสังเคราะห์ SBR เพื่อเปรียบเทียบสีของชิ้นงาน โดยที่ยางเหล่านี้จะเตรียมขึ้นมาภายใต้สูตรเดียวกัน และสภาวะการขึ้นรูปแบบเดียวกัน ตารางที่ 3.13 แสดงสูตรยางที่ใช้ในการทดลองนี้ จากการพิจารณาสีของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปพบว่า การใช้ยางเครปขาวให้สีดีที่สุด ในขณะที่ยางแท่งSTR5Lให้สีใกล้เคียงกับยางADS ส่วนยางSBRจะให้shadeสีต่างออกไป เนื่องจากยางเครปขาวให้สีสดใสที่สุด ดังนั้น การทดลองต่อไปจะใช้ยางเครปขาวแทนยางADS สมบัติด้านแรงดึงของยางสูตรZC4 ซึ่งเป็นสูตรเดียวกันกับสูตรZA4 แต่ใช้ยางเครปขาวและมีการเติมน้ำมันลงไปเล็กน้อย ยางสูตรZC4จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาดเท่ากับ 20.4 ± 1.9 MPa และ 1037 ± 23 % ตามลำดับ คาดว่าสอดคล้องกับยางรัตของประเภทที่1-2 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
Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5
Pigment	1.5	1.5	1	1

สรุปผลการทดลอง

ยางเครปขาวให้สีสดใสกว่ายางธรรมชาติชนิดอื่นๆ และสูตรZC4มีสมบัติต้านแรงดึงอยู่ในข้อกำหนดของ มอก.886-2532



ชื่อ.....
เลขที่.....
คณะ.....
ภาควิชา.....
ทำด้วย.....

3.4 การทดลองที่ 4 : ยางธรรมชาติผสมกับULDPE

เนื่องจากยางธรรมชาติผสมเข้ากันได้ดีกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (ultra-low-density polyethylene, ULDPE) และคาดว่าจะเข้ากันได้ดีกว่าการผสมด้วยEVA เนื่องจากทั้งยางธรรมชาติและULDPEเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ในขณะที่EVAเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว ดังนั้น จึงทดลองเตรียมยางผสมในสัดส่วนต่างๆตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.15 มีการเปรียบเทียบชนิดของยางธรรมชาติ คือ ยางADS และ ยางครีปขาว โดยใช้สูตรคอมพาวด์เช่นเดียวกับสูตรZA4

ตารางที่ 3.15 สูตรยางคอมพาวด์ที่ใช้ในการทดลองที่ 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
Sulfur	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 ยางครีปขาวจะให้สีสดใสกว่า สีของยางผสมแสดงลักษณะของสีชมพูมากขึ้นและดูสวยกว่ายางธรรมชาติล้วนๆ แต่อย่างไรก็ตาม การผสม ULDPEไม่ได้ช่วยให้ยางมีสีสดใสตามที่ต้องการ ค่าสมบัติด้านแรงดึงและสมบัติหลังการบ่มเร่งแสดงในตารางที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ สมบัติด้านแรงดึงก่อนการบ่มเร่งของยางผสมมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อทำการบ่มเร่งค่าสมบัตินี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมากในสูตรZAA1 และ สูตรZAA3

ตารางที่ 3.16 สมบัติด้านแรงดึงของยางก่อนการบ่มเร่งจากสูตรคอมปาวด์ในตารางที่ 3.15

สูตร	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)
สูตรZAA1 สีชมพู 1.5 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 สีชมพู 1.5 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

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่าง ๆ



สูตร ZAA1



สูตร ZAA2



สูตร ZAA3



สูตร ZAB1



สูตร ZAB2



สูตร ZAB3

3.5 การทดลองที่ 5 : การศึกษาผลของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อสูตรยางเครปขาว

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 สมบัติหลังการบ่มแรงลดลงน้อย 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	-	-	-	-
Sulfur	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 สมบัติด้านแรงดึงก่อนและหลังการบ่มแรงของยางจากตารางที่ 3.18

สูตร	ก่อนการบ่มแรง		หลังการบ่มแรง		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 ปริมาณของ Si ที่ใช้ (2.5 5 และ 10 phr) ทำให้สีสดใสกว่าชิ้นงานที่ไม่มี Si แต่ไม่แสดงความแตกต่างของสีอย่างเด่นชัดระหว่างสูตรทั้งสามนี้ ข้อพึงระวังในการเติม Si มากๆ คือ จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น เนื่องจากการทดลองนี้ เติม Si ลงไปไม่มากนัก สมบัติด้านแรงดึงจึงไม่เปลี่ยน

แปลงมากนัก การพัฒนาสูตรยางรถของต่อไปสามารถเลือกใช้ Si ได้ ในช่วง 2.5 - 10 phr การเติมน้ำมันเล็กน้อยจากสูตรที่ทดลองครั้งนี้ไม่ได้ช่วยให้ยางมีสีสดใสมากขึ้น แต่น้ำมันจะช่วยในกระบวนการผสมยางมากกว่า

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



อิทธิพลของสารตัวเติม (fillers)

การทดลองนี้ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดต่างๆที่มีต่อสีของชิ้นงานสูตร ZC4 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 (%)
สูตร ZC6	18.2 ± 1.8	861 ± 26
สูตร ZC8	20.3 ± 1.7	853 ± 20
สูตร ZC12	25.4 ± 0.9	897 ± 15
สูตร ZC13	18.9 ± 3.6	980 ± 57
สูตร ZC14	25.3 ± 1.5	923 ± 30

จากการเปรียบเทียบสีของชิ้นงานที่ติดในหน้าถัดไป จะเห็นว่าสีแตกต่างกันไป ถึงแม้ผลที่ได้คือสีชมพูสด แต่สีของชิ้นงานที่ได้ยังคงเพี้ยนไปจากสีชมพูสด บางสูตรให้สีออกสีแดง หรือใกล้

เคียงสีส้ม เห็นได้ชัดเจนในสูตรที่มีส่วนผสมของ Zinc stearate ในขณะที่ $MgCO_3$ ทำให้ชิ้นงานมีสีชมพูมากกว่า สูตร ZC14 ที่มี Zinc stearate 10 phr เท่านั้น ให้สีสดใสมาก แต่จะมีการซีดออกมาของสารเคมีจากการทดสอบการบ่มเร่ง และพบในสูตร ZC12 และสูตร ZC13 เช่นเดียวกัน การใช้ $CaCO_3$ ยังคงทำให้ชิ้นงานมีสีดำนเช่นเดิมถึงแม้จะผสม Si อยู่ด้วยก็ตาม เนื่องจากชิ้นงานมี shade สีเปลี่ยนไป จากการใช้สารตัวเติมต่างชนิดและใช้ในปริมาณต่าง ๆ กัน 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 เนื่องจากยางเครปขาวมีสีซีดที่สุด 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
Sulfur	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 ± 1.9	1037 ± 23
สูตรZC9 สีชมพู	17.0 ± 1.2	941 ± 77
สูตรZC9 สีเขียว	15.5 ± 0.7	596 ± 42

เนื่องจาก Zinc oxide active มีสีขาว การเติมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้shadeสีเปลี่ยนไปสังเกตได้จากตัวอย่างที่ติดไว้ในหน้าถัดไป ดังนั้น หากพิจารณาจากความเป็นสีชมพูแล้ว ก็อาจกล่าวได้ว่า ควรจะเติม Zinc oxide active ในปริมาณมาก

สรุปผลการทดลอง

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

ตัวอย่างชิ้นงานยางจากสูตรต่างๆ



สูตร ZC4

สูตร ZC9

สูตร ZC10

ตอนที่ 2 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางSTR5Lและยางเครปขาว

3.6 การทดลองที่ 6 : การปรับปรุงสูตรพื้นฐาน

การทดลองนี้ได้นำสูตรยางรัดของที่เคยเผยแพร่ในเอกสารต่างๆ นำมาดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมสำหรับยางรัดของสีสะท้อนแสง โดยได้ศึกษาผลของสารตัวเติม ชนิดของซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิ ลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสง 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 เมื่อใส่ Si จะทำให้ยางติดกันและได้ยางที่ใสกว่า และเมื่อไม่ใส่สารตัวเติมจะให้สีเหมือนที่ใส่ Si แต่จะทำให้ยางติดกันมากที่สุด เมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางสุกได้ผลดังนี้ สูตรที่ใส่ Si ใช้เวลานานที่สุดคือ 6.19 นาที รองลงมาคือสูตรที่ใส่ CaCO_3 ใช้เวลา 4.15 นาที สูตรที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือสูตรที่ไม่ได้เติมสารตัวเติมใช้เวลา 3.57 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Si เป็นตัวเสริมแรงทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางนิ่มลงด้วยความร้อนจะสูงขึ้นและใช้เวลามากกว่า CaCO_3 ค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ มอก. พบว่ายางที่ใส่ CaCO_3 มีค่าผ่าน มอก. คือ 17.84 MPa และสูตรที่ใส่ Si มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 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 °C ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.25 จากการศึกษาจะพบว่าค่าที่ได้จากเครื่อง MDR ที่อุณหภูมิ 100-130 °C ยางจะไม่เกิดการสุกและที่อุณหภูมิ 140 °C ยางคอมปาวด์จะใช้เวลาในการทำให้สุกนานกว่าที่อุณหภูมิ 150°C โดยดูจากค่า t_{90} ที่อุณหภูมิ 140°C ใช้เวลา 12.12 นาที และ t_{90} ที่อุณหภูมิ 150°C ใช้เวลา 6.19 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิมียผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการสุกของยาง การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ใช้เวลาในการสุกของยางลดลง และจากลักษณะทางกายภาพพบว่าสีของยางที่อุณหภูมิต่ำจะใสกว่า แต่เมื่อนำมาอัดเบ้าที่ 140°C และ 150 °C สีที่ได้ไม่ต่างกัน แต่ใช้เวลาที่ต่างกัน และเมื่อศึกษาค่า สมบัติทางฟิสิกส์พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้ยางสุก จะให้ความแข็งแรงที่สูงกว่าคือที่อุณหภูมิ 150°C และ 140°C ค่าความต้านทานแรงดึง 17.35 MPa และ 14.99 MPa ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 150°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 และผลของอุณหภูมิต่อยางเครป

สูตร	t _{s1} min.	t _{s2} min.	t ₉₀ min.	ความทนทานต่อ แรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
A	2.55	3.16	4.15	17.8 ± 1.7	1114 ± 35	0.860
B	4.33	5.1	6.19	15.1 ± 1.5	1167 ± 21	0.851
C	2.45	3.54	3.57	4.5 ± 1.2	1111 ± 77	0.172
D(150°C)	4.4	5.15	6.3	17.4 ± 3.4	1076 ± 11	0.986
D(140°C)	8.53	10	12.12	15.0 ± 1.8	1160 ± 56	0.751

ผลของลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสงที่มีต่อสีของยาง ADS

เลือกใช้ยาง ADS แทนยางเครปเพราะยาง ADS เป็นยางที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดและใช้กันทั่วไปในการผลิตยางรัดของ ศึกษาลำดับการใส่ผงสีสะท้อนแสงต่อการคอมปาวด์ยางว่ามีผลต่อสมบัติและสีหรือไม่ โดยเพิ่มผงสีสะท้อนแสงในสูตร D และเรียกสูตรที่เพิ่มผงสีนี้ว่าสูตร E โดยทำการทดลองใส่ผงสีสะท้อนแสงก่อนสารเคมีอื่นและใส่ผงสีสะท้อนแสงหลังสารเคมีตัวสุดท้ายก่อน

ตารางที่ 3.26 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของการใส่ผงสีสะท้อนแสงและปริมาณน้ำมันพาราฟิน
ตัวอย่าง 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 ผลการทดสอบยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของการใส่ผงสีสะท้อนแสงและปริมาณน้ำมันพาราฟินตัวอย่าง ADS

สูตร	t _{s1} min.	t _{s2} min.	t ₉₀ min.	ความทนทานต่อ แรงดึง (MPa)	ความยืดเมื่อขาด (%)	โมดูลัสที่ 300% (MPa)
E (ก่อน)	-	-	-	18.3 ± 0.8	1100 ± 33	-
E (หลัง)	-	-	-	20.1 ± 1.1	1093 ± 37	-
F	4.18	4.54	6.01	12.8 ± 1.3	1015 ± 25	0.923
G	4.15	4.51	6.06	14.0 ± 2.3	983 ± 58	0.913
H	3.4	4.06	5.01	17.3 ± 1.1	1032 ± 38	1.083
I	3.3	3.51	4.4	17.2 ± 1.4	1030 ± 27	1.103
J	3.39	4.01	4.57	20.2 ± 2.3	1033 ± 25	1.179

3.7 การทดลองที่ 7 : ชนิดของยางที่มีผลต่อสีและสมบัติต่าง ๆ

ผลของชนิดของยางที่มีต่อสีและสมบัติความต้านทานแรงดึง

ยางธรรมชาติใช้เป็นวัตถุดิบที่อยู่ในรูปยางแผ่นและยางแท่งเช่น ยางแท่ง STR5L ยางแท่ง เกรปและยางแผ่น ADS ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบสมบัติและสีของยางชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับสูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงโดยใช้ยาง 3 ชนิดได้แก่ ยาง ADS (สูตร K) ยางเกรป (สูตร L) และยาง STR5L (สูตร M) ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 ซึ่งผลการทดสอบพบว่าลักษณะทางกายภาพของทั้ง 3 สูตรได้ยาง คอมปาวด์ ที่มีความเข้มของสีเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือยาง STR5L มีสีใกล้เคียงกับยาง ADS คือมีสีชมพูเข้มส่วนยางเกรปมีสีชมพูอ่อนส่วนยางที่ได้หลังจากการอัดเบ้า (รูปที่ 1 2 3 ตามลำดับ) พบว่าความเข้มของสีเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ยาง ADS มีสีเข้มมากที่สุดรองลงมาคือยางเกรปและยาง STR 5L มีสีเข้มน้อยที่สุดเนื่องจากยาง ADS มีสีของยางดิบก่อนการเติมผงสีสะท้อนแสงมากกว่าทำให้ยางที่ได้มีความเข้มของสีสูงทั้งก่อนและหลังการอัดเบ้าและจากการค่าความต้านทานการดึงของยางชนิดต่างๆพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ยาง STR5L มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 19.59 MPa รองลงมาคือยางเกรปเท่ากับ 16.92 MPa และยาง ADS มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 16.40 MPa พบว่าความแข็งแรงของยางธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดไม่เท่ากันอาจเนื่องมาจากกระบวนการผลิตยางแต่ละชนิดต่างกันดังนั้นจึงเลือกใช้ยาง STR5L เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูกรวมทั้งให้ความใสใกล้เคียงกับยางเกรปและให้ค่าสมบัติทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมสำหรับยางรัดของสะท้อนแสง

ผลของชนิดซิงค์ออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และความใสของยาง ADS

เป็นการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา(สูตร K) Zinc Oxide Active (สูตร N) Zinc Oxide Transparent (สูตร O) ที่มีต่อยาง ADS ซึ่งเป็นยางที่ใช้กันในการผลิตยางรัดของ โดยดูการเปลี่ยนแปลงของสียางคอมปาวด์ที่เกิดจากผสมซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆ ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 จากการทดลองพบว่ายางที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆเรียงตามลำดับความเข้มของสียางที่ได้ดังนี้ซิงค์ออกไซด์มีสีเข้มที่สุด รองลงมาคือ Zinc Oxide Active และ Zinc Oxide Transparent มีสีเข้มน้อยที่สุด แต่ก็แตกต่างกันไม่มากและจากการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของยางพบว่ายางที่ใช้ Zinc Oxide Active มีค่าความต้านทานแรงดึง 16.94 MPa รองลงมาคือยางที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดามีค่าความต้านทานแรงดึง 16.4 MPa และยางที่ใช้ Zinc Oxide Transparent มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดคือ 14.14 MPa ซึ่งสาเหตุที่ Zinc Oxide Active มีค่าความต้านทานแรงดึง มากที่สุดเป็นเพราะมีอนุภาคนาขนาดเล็ก ทำให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยางได้ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ธรรมดาแต่ผสมยากกว่ายางที่ใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา ซึ่งการผสมซิงค์ออกไซด์ธรรมดาคงจะไม่ติดลูกกลิ้ง และยางที่ใช้ Zinc Oxide Transparent มีค่าไม่ผ่านมอก. ดังนั้นจึงเลือกใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดากับยาง ADS

ผลของชนิดซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์และความใสของยาง STR5L

เป็นการศึกษาผลของซิงค์ออกไซด์ได้แก่ซิงค์ออกไซด์ธรรมดา (สูตร P) Zinc Oxide Active (สูตร Q) Zinc Oxide Transparent (สูตร R) ที่มีต่อยาง STR5L ซึ่งให้ความแข็งแรงสูงและหาได้ง่ายในท้องตลาด โดยดูการเปลี่ยนแปลงของสียางคอมปาวด์ที่เกิดจากซิงค์ออกไซด์ชนิดต่างๆ ใช้สูตรตามตารางที่ 3.28 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.29 จากการทดสอบพบว่าลักษณะสีของยางเรียงตามความเข้มของสีจากน้อยไปหามากดังนี้คือ Zinc Oxide Transparent มีสีเข้มที่สุทธองลงมาคือซิงค์ออกไซด์ธรรมดาและ Zinc Oxide Active มีสีเข้มน้อยที่สุดแต่ก็มีความแตกต่างกันไม่มาก และจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของยางพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของยางที่ใช้ Zinc Oxide Active มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 21.75 MPa รองลงมาคือซิงค์ออกไซด์ธรรมดา มีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 19.28 MPa และยางที่ใช้ Zinc Oxide Transparent มีค่าต่ำที่สุดคือ 17.89 MPa ซึ่งผลที่ได้มีความคล้ายกันกับยาง ADS และยางเคปรดงั้นจึงเลือกใช้ยาง STR5L ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดระหว่างยางทั้ง 3 ชนิดและเลือกใช้ซิงค์ออกไซด์ธรรมดาแทนการใช้ Zinc Oxide Active ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงแต่การผสมทำได้ยากและราคาแพงกว่า

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) เนื่องจากยางที่ไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสงของยางแต่ละชนิดให้สีที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อสีของยางที่ใช้ผงสีสะท้อนแสง ว่าจะให้ความสว่างและความใสแตกต่างกันอย่างไรในยางแต่ละชนิด โดยทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 6 สูตรตามตารางที่ 3.30 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.31 จากการทดสอบลักษณะทางกายภาพของยางทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่ได้ใส่ผงสีสะท้อนแสงพบว่าสีของยางคอมปาวด์เรียงลำดับความเข้มมากไปน้อยคือยาง ADS มีสีเข้มที่สุดรองลงมาคือยาง STR5L และยางเครปมีสีเข้มน้อยที่สุด และสีของยางหลังจากการอัดเบ้า (ตามรูปที่ 4 5 6 ตามลำดับ) เรียงลำดับความเข้มมากไปน้อยคือยาง ADS มีสีเข้มที่สุดเช่นกันรองลงมาคือยาง STR5L ที่มีสีใกล้เคียงกับยางเครปส่วนลักษณะของยางทั้ง 3 ชนิดที่ใส่ผงสีสะท้อนแสงพบว่าสียางคอมปาวด์ทั้ง 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 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาอย่างชนิดต่างๆ 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 แสดงผลของยางคอมปาวด์ที่ใช้ศึกษาผลของยางชนิดต่างๆ ที่ใส่และไม่ใส่ผงสีสะท้อนแสง

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	$15. \pm 1.8$	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 มีค่า 20.3 MPa รองลงมาคือ WingstayL มีค่า 19.28 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(ในช่วงที่ทำการศึกษาดังแต่ 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	-	-	-	-
AO 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 ± 1.3	1062 ± 38	1.226
Z	-	-	13.8 ± 2.5	971.5 ± 24	1.054
AA	-	-	20.3 ± 1.3	995.3 ± 31	1.398
AB	3.09	4.19	10.1 ± 2.7	1001 ± 86	0.809
AC	3.14	4.26	13.3 ± 1.3	1043 ± 42	0.862
AD	3.15	4.30	12.3 ± 1.1	1023 ± 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

ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของแรงดึงและค่าการยืดเมื่อขาดเนื่องจากการบ่มแรงมีค่าผ่าน มอก. คือไม่เกิน 25 และ 20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติม

1. ผลของปริมาณการเติมซิงค์สเต็มเตียเรตที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และสีของยาง STR5L

ซิงค์สเต็มเตียเรตทำให้ยางโปร่งใสและเป็นตัวหล่อลื่นป้องกันไม่ให้ยางติดกันโดยใช้ ซิงค์สเต็มเตียเรตปริมาณ 0 1 2 3 4 phr ตามลำดับ และศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงของยางโดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.34 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.35 (รหัส AE AF AG AH AI) จากการทดลองพบว่าสีของยางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ใส่ซิงค์สเต็มเตียเรต 0 1 2 3 4 phr ให้ค่าความต้านทานแรงดึง 16.09 17.91 13.64 18.75 18.36 MPa ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณซิงค์สเต็มเตียเรตจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

2. ผลของชนิดของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการศึกษาผลของสารตัวเติม 3 ชนิดในปริมาณ 20 phr ได้แก่ซิงค์สเต็มเตียเรต(รหัสAL) Si(รหัสAK) $MgCO_3$ (รหัสAM) ที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงโดยทำการทดสอบ 3 สูตรตามตารางที่ 3.34 และผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3.35 จากการทดลองพบว่าการใช้ซิงค์สเต็มเตียเรตให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 20.31 MPa รองลงมาคือSi 18.93 MPa และ $MgCO_3$ 17.55 MPa แต่เมื่อศึกษาการบ่มแรงพบว่ายางที่ใช้ ซิงค์สเต็มเตียเรตเกิดการบวมส่วน $MgCO_3$ เป็นสารตัวเติมที่เสริมประสิทธิภาพจะให้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงและรักษารูปร่างได้ดีในยางที่ผ่านการอัดอย่างผ่านตาย (พรพรรณ นิธิอุทัย, สารเคมีสำหรับยาง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540) การผสม $MgCO_3$ ในยางทำได้ยากดังนั้นจึงเลือกใช้Siแต่ใช้ในปริมาณที่ต่ำลงเพื่อให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น

3. ผลของปริมาณSiที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง STR5L

เป็นการศึกษาปริมาณการใช้Siที่ส่งผลต่อยาง โดยใช้Siเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงในปริมาณSi 5 15 20 phr (รหัส AE AJ AK) เพื่อศึกษาค่าความต้านทานแรงดึงและลดการเกิด 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.	ความทนทานต่อ แรงดึง (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

- ผลของชนิดของยางวัลติงที่มีต่อสีและสมบัติความต้านทานแรงดึง



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

- ผลของแอนติออกไซด์แดนท์ที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์และสีของยาง STRSL



รูปที่10 สูตร AA



รูปที่11 สูตร Y



รูปที่12 สูตร Z

4. สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สูตรยางรัดของสีสะท้อนแสงที่เตรียมจากยางADSและยางเครปขาว

การทดสอบหาสูตรยางรัดของเพื่อให้มีสีสะท้อนแสงนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นยางโดยการอัดความดัน คือ 150 °C เวลา 7 นาที ซึ่งจากผลการทดสอบในตอนเริ่มต้นจะทำให้ได้สูตรยางที่ดีในระดับหนึ่ง คือ สูตร ZA4 มีสีสวยกว่ายางรัดของธรรมดาทั่วไป โดยมีสูตรดังนี้

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

แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปด้วยการใช้ยางแท่งSTR5Lและยางเครปขาวแทนที่ยางADS ในสูตรข้างต้น พบว่าการใช้ยางเครปขาวให้สีของยางรัดของที่ดีกว่ายางอื่น ๆ ทั้งหมด 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
Sulfur	1.5
Pigment	1.5

ต่อมาเมื่อทดลองนำยางเครปขาว (สูตรZC4) ผสมกับ ULDPE ผลคือ จะได้สีของยางรัดของที่มีสีชมพูมากขึ้น โดยอัตราส่วนในการผสม CREPE/ULDPE อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 70:30 ซึ่งในกรณีนี้ ULDPE จะมีราคาแพงและสมบัติหลังการปั๊มไม่ดีมากนัก 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
Sulfur	1.25
Pigment	1.5

บทสรุป

โครงการวิจัยได้แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ตอน เพื่อมุ่งเน้นหาสูตรยางรัดของให้มีความหลากหลาย และสามารถหาสูตรยางที่มีความเหมาะสมต่อยางADS ยางเครปขาว และ ยางแท่งSTR5L การนำสูตรยางเหล่านี้ไปประยุกต์ในสเกลใหญ่ขึ้นหรือในระดับอุตสาหกรรม ย่อมต้องมีการปรับปรุงสูตรเพื่อความเหมาะสม การที่ยางธรรมชาติไม่สามารถให้สีสะท้อนแสงได้เช่นเดียวกับพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ และมีสีเพี้ยนไปจากสีเดิมของผงสี ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากยางธรรมชาติมี carotenoid ซึ่งเป็นเม็ดสีที่ก่อให้เกิดสีเหลือง อย่างไรก็ตามผลการทดลองอยู่ในระดับน่าพอใจและบรรลุวัตถุประสงค์ คือ สามารถออกสูตรยางรัดของที่สามารถให้สีสะท้อนแสง สดใส และสวยงามกว่าสีของยางรัดของที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โครงการวิจัยนี้ไม่สามารถดำเนินการทดลองอบยางคอมพาวด์ด้วยไอน้ำเช่นเดียวกับที่ใช้กันจริงในโรงงานผลิตยางรัดของ เนื่องจากมีปัญหาด้านเครื่องมือในช่วงเวลาที่ทำวิจัย การใช้สายตาของนักวิจัยเป็นตัวกำหนดความเข้มและการสะท้อนแสงของชิ้นงานเป็นจุดอ่อนของการวิจัยนี้ เพราะข้อสรุปผลการทดลองจะเปลี่ยนไปตามบุคคลที่ดู ดังนั้นการทำวิจัยเรื่องนี้ต่อไปควรจะใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ด้วย

การนำผลการทดลองเบื้องต้นนี้เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมนั้น จะต้องมีการทดลองนำสูตรต่างๆ ที่ได้นี้ ไปทดลองขึ้นรูปจริงเช่นเดียวกันกับที่ผลิตในโรงงาน เพราะอาจจะต้องมีการปรับสูตรอีกก็ได้ เนื่องจากสีสะท้อนแสงมีราคาแพงมาก คณะวิจัยคิดว่า การพัฒนาสูตรนี้ น่าจะเป็นผลิตภัณฑ์อีกระดับหนึ่งที่มีสียางรัดของราคาถูกที่ใช้กันทั่วไป หรือในที่สุด อาจจะเป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีสียางรัดของก็ได้

ภาคผนวก (บทความสำหรับการเผยแพร่)

เนื่องจากโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุน (สกว.) เท่านั้น เพราะเป็นการทดลองขั้นพื้นฐานในปฏิกิริยาการ ยังมิได้มีภาคอุตสาหกรรมเข้ามาร่วมวิจัยด้วย ดังนั้น บทความสำหรับการเผยแพร่จึงขึ้นอยู่กับ สกว. จะพิจารณา คณะวิจัยมีความเห็นว่า บทความที่ได้อ่านครอบคลุมงานวิจัยทั้งหมดสามารถนำไปเผยแพร่ได้ และหาก สกว. ต้องการให้เผยแพร่รายงานวิจัยนี้ คณะวิจัยก็ไม่มีข้อขัดข้อง