บทที่ 2
วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

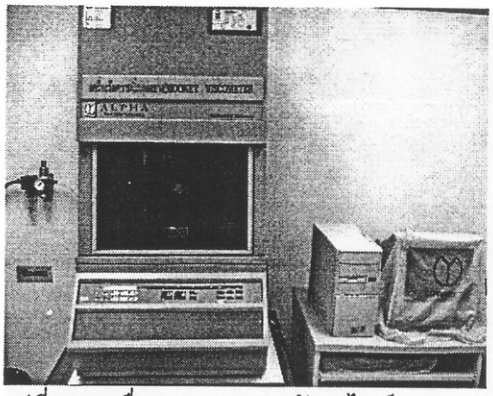
1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) เกรดที่ใช้คือ ยางแท่งชนิด STR 5L
2. คลอโรซัลโฟเนตเดดพอลิเอททิลีน (Chlorosulfonated polyethylene, CSM) คือ เกรดที่ใช้คือ Hypalon® 40
3. เขม่าดำ (Carbon black) ชนิดที่ใช้เป็น Masterbatch carbon black ใช้เป็นสารตัวเติมเพิ่มความแข็งแรง
4. ซิงก์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ใช้เป็นตัวกระตุ้น
5. กรดสเตียริก (Stearic Acid) ใช้เป็นตัวกระตุ้นร่วมกับซิงก์ออกไซด์
6. วิงค์สเตแอล (Wingstay L®) ใช้เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนซ์
7. แอนตี้ลักส์ (Antilux®) ใช้เป็นสารแอนตี้โอโซแนนท์
8. ไดเบนโซไทรอะซิล ไดซัลไฟด์ (2,2-Dibenzothiazyl disulphide, MBTS) ใช้เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์
9. เททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuramdisulphide, TMTD) ใช้เป็นตัวเร่งการวัลคาไนซ์
10. นอมอลไซโคเฮกซิล-2-เบนโซไทอะซิลซัลฟินาไมด์ (N-cyclohexyl-2-benzothiazylsulphen amine, CBS) ใช้เป็นตัวเร่งการวัลคาไนซ์
11. กำมะถัน (Sulphur, S) ใช้เป็นผงวัลคาไนซ์ในยาง
12. แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide, MgO) ใช้เป็นสารที่ไปจับกับกรดไฮโดรคลอริกที่ออกมาในการวัลคาไนซ์ CSM (Acid Acceptor) และใช้ในการวัลคาไนซ์ CSM
13. เพนตระอิริคไทรทอล (Pentaerythritol, PER® 200) ใช้เป็นตัวกระตุ้นที่ใช้กับแมกนีเซียม-ออกไซด์
14. เตตระเอทิลีน (Tetraethylene, Tetron®A) ใช้เป็นสารที่ให้ซัลเฟอร์ในการวัลคาไนซ์ ยางCSM

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

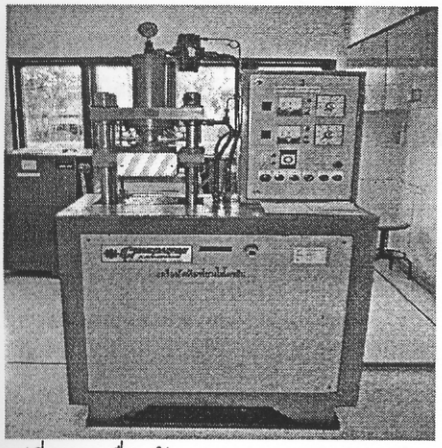
2.2.1 เครื่องมือ

1. เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ยี่ห้อ Yasuda Seiki รุ่น 191TM ใช้ในการบดและผสมยางคอมเปาวด์
2. เครื่องทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของยาง (Rheometeter, MDR) ยี่ห้อ Monsanto รุ่น Rheometeter 2000 เป็นเครื่องหาระยะเวลาการสุกของยาง (cure time)
3. เครื่องอัดพิมพ์ยาง (Compression molding machine) ยี่ห้อ Kao Tich รุ่น KT-7104 เป็นเครื่องที่ใช้อัดยางให้เป็นแผ่นและทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์
4. เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึงและทนต่อการฉีกขาด (Universal Testing machine) ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR10K
5. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ (Flex cracking tester) ยี่ห้อ TOYOSEIKI รุ่น DM-01
6. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Ozone Aging Tester) ยี่ห้อ TOYOSEIKI รุ่น PPHM-S
7. เครื่องวัดความสึกหรอของยางแบบแอคครอน (Akron Abrasion Tester) ยี่ห้อ YASUDA รุ่น BS 902
8. ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Mammert เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบการบ่มเร่งของยาง

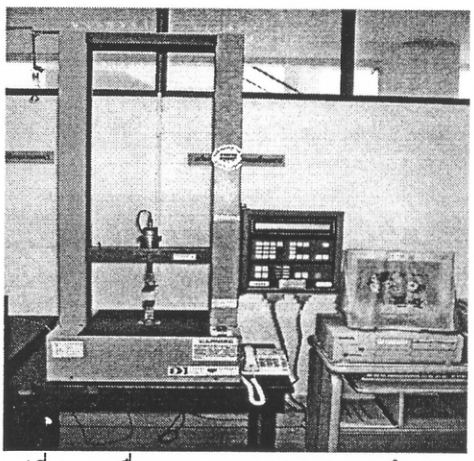
รูปที่ 2.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของยาง

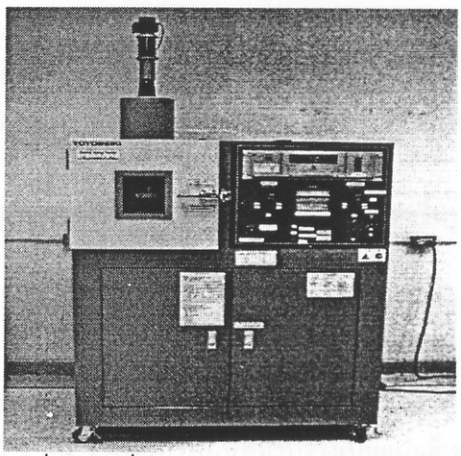


รูปที่ 2.3 เครื่องอัด

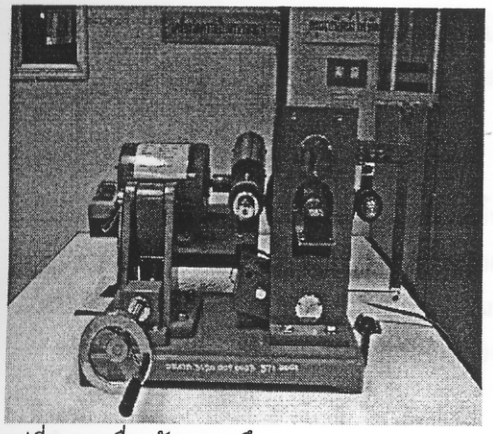


รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึงและทนต่อการฉีกขาด

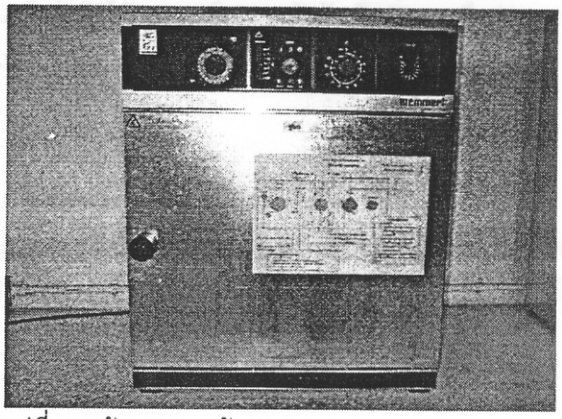
รูปที่ 2.5 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อโอโซน



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดความสึกหรอ



รูปที่ 2.8 ตู้อบอากาศร้อน

2.2.2 อุปกรณ์

1. มีดสำหรับตัดยาง
2. เครื่องชั่งสารเคมีทศนิยม 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง
3. กระดาษชั่งสาร
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ถุงมือผ้า
6. ผ้าปิดจมูก

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การผสมยางกับสารเคมีด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง

1. เปิดสวิตช์เครื่องบดสองลูกกลิ้ง
2. บดยางธรรมชาติให้นิ่ม ประมาณ 2 นาที บดเขม่าดำให้นิ่มเป็นเวลา 1 นาที และรีดยางCSMให้เป็นแผ่นบาง
3. นำยางธรรมชาติ ยางCSM และเขม่าดำบดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ประมาณ 4-5 นาที
4. ปรับระยะห่างลูกกลิ้งให้แคบลงเพื่อให้ยางผสมพันลูกกลิ้ง
5. หลังจากนั้นผสมสารเคมีตามลำดับดังนี้ MgO, stearic acid, ZnO, Wingstay L, Antilux, PER 200, Tetrone A, สารตัวเร่ง และ sulfur
6. พักยางคอมปาวด์ไว้ 1 คืน ก่อนนำไปทดสอบหาเวลาสุกของยางด้วยเครื่องRheometer และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดต่อไป

2.3.2 วิธีการขึ้นรูปยางด้วยเครื่องอัด

1. เปิดสวิตช์เครื่องอัด ตั้งอุณหภูมิของเครื่องตามที่กำหนด (ใช้อุณหภูมิ150 $^{\circ}$C)
2. นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้จากข้อที่ 2.3.1 ที่พักไว้ 1 คืน วางในเบ้าพิมพ์ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา 2 mm หรือรูปร่างทรงกลมสำหรับการทดสอบความต้านทานต่อการขัด
3. ใส่เบ้าพิมพ์ในเครื่องอัด ใช้ความดัน 600 kg/cm^2 ใช้เวลาในการอัดตามเวลาที่ได้จากการทดสอบจากเครื่อง MDR 2000 (t_{90})

4. เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำแผ่นยางที่ได้ออกมาผึ่งตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วตัดเป็นชิ้นงานมีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

2.3.3 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 ตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 จำนวน 8 ชิ้น
2. วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง ในช่วง gauge length และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้
3. ทดสอบการทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดของยางด้วยอัตราเร็ว 500 mm/min รายงานผลเป็นความเค้น (stress) และความเครียด (strain)

การคำนวณ

$$\text{Stress at break} = F/A$$

โดย

F = แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm^2)

$$\text{Strain at break} = 100 \times (L-L_0)/L_0$$

โดย

L = ระยะที่ชิ้นทดสอบถูกยืดตัวจนขาด (mm)

L_0 = ระยะก่อนทำการทดสอบ (mm)

2.3.4 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 นำมาตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624 จำนวน 8 ชิ้น
2. วัดความหนาของชิ้นทดสอบบริเวณช่วงมุม 90° 3 ตำแหน่ง และหาค่าเฉลี่ย
3. ทดสอบด้วยเครื่อง LLOYD INSTRUMENT ดึงในอัตราเร็ว 500 mm/min วัดค่าแรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด รายงานผลเป็นแรงดึง/ความหนา (N/mm)

การคำนวณ

$$\text{Tear strength} = F/d$$

โดย

F = แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N)

d = ความหนาของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm)

2.3.5 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการบ่มเร่ง

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 นำมาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 จำนวน 8 ชิ้น
2. อบชิ้นทดสอบในตู้อบแบบอากาศร้อน (Hot air oven) โดยใช้อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 2 วันตามมาตรฐาน ASTM D573 หรือที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C เป็นเวลา 7 วัน ตามมาตรฐาน ASTM D572
3. เมื่ออบชิ้นทดสอบครบเวลาที่กำหนด นำชิ้นตัวอย่างออกจากตู้อบ วางชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง
4. ทดสอบด้วยเครื่อง LLOYD INSTRUMENT ดึงในอัตราเร็ว 500 mm/min วัดค่าการทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดของยาง นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าการทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดของยางก่อนทำการบ่มเร่ง หาค่าการเปลี่ยนแปลง

การคำนวณ

$$\text{การเปลี่ยนแปลง (\%)} = \frac{\text{ค่าหลังบ่มเร่ง} - \text{ค่าก่อนบ่มเร่ง}}{\text{ค่าก่อนบ่มเร่ง}} \times 100$$

2.3.6 วิธีการวัดค่าความแข็ง

1. นำชิ้นทดสอบที่มีความหนา ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบ shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ในที่นี้ใช้ชิ้นงานหลายชิ้นวางซ้อนกันเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการตามมาตรฐาน (8 – 10 mm)
2. ปรับเทียบเครื่องวัดตามคู่มือการใช้เครื่อง
3. ใช้หัวกดกดยางค้างไว้ 30 วินาทีแล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้

2.3.7 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อโอโซน

วิธีที่ 1

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 ตัดให้มีขนาดความกว้าง 10 mm และความยาว 7 mm
2. ดึงชิ้นทดสอบให้ยืดออก 20 % และขึงไว้ให้ระยะยืดคงที่ และเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบโอโซนที่มีความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 50 pphm และมีอุณหภูมิ 40^{o}C
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบทุก 2, 4, 6, 8, 16, 24, 36, 48, 60, 72, 84 และ 96 ชั่วโมง บันทึกเวลาที่ชิ้นทดสอบเริ่มแตกและบันทึกลักษณะของรอยแตก

วิธีที่ 2

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 ตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D416 จำนวน 4 ชิ้น
2. ดึงชิ้นทดสอบให้ยืดออก 20 % และขึงไว้ให้ระยะยืดคงที่ และเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบโอโซนที่มีความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 50 pphm และมีอุณหภูมิ 40^{o}C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. นำชิ้นตัวอย่างทดสอบการทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดด้วยอัตราเร็ว 500 mm/min
5. คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการทดสอบความต้านทานต่อการบ่มเร่ง

2.3.8 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.1 นำมาอัดขึ้นรูปเป็นวงกลมกลวงตามมาตรฐาน ASTM D5963
2. เปิดผิวหน้ายางโดยให้ชิ้นทดสอบผ่านการขัดถูเป็นจำนวน 500 รอบ และชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักก่อนการขัดถู
3. ทดสอบการสึกหรอโดยบันทึกน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังการขัดถูที่จำนวน 2,500 รอบ และ 4,500 รอบ
4. นำน้ำหนักก่อนการขัดถูจากข้อที่ 2 ลบด้วยน้ำหนักที่บันทึกได้จากข้อ 3 จะได้ค่าน้ำหนักที่หายไป

2.3.9 วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ

1. นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.1 ขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามมาตรฐาน ASTM D430
2. ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความหักงอ
3. สังเกตรอยแตกเริ่มต้นโดยดูจากชิ้นทดสอบทุกๆ 5,000 รอบ
4. บันทึกจำนวนรอบที่ชิ้นทดสอบเริ่มเกิดรอยแตก

2.3.10 วิธีการทดสอบการบวมในน้ำมัน

นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 ตัดให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm แช่ในน้ำมันASTMเบอร์1 และน้ำมันIRM903 (เทียบเท่ากับน้ำมันASTMเบอร์ ที่อุณหภูมิห้อง (27-30°C) เป็นเวลา 7 วัน บันทึกปริมาตรก่อนและหลังการแช่ในน้ำมัน คำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามสมการการทดสอบการบ่มเร่ง

2.3.11 การวิเคราะห์ยางผสมด้วยเครื่อง SEM

นำผิวหน้าด้านขาดของยางผสมที่ได้จากการทดสอบการต้านทานแรงดึง ย้อมด้วยออสเมียมเตตรอ็อกไซด์และเคลือบด้วยทอง ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (JEOL® JSM5800LV)

2.3.12 การวิเคราะห์ยางผสมด้วยเครื่อง DMTA

นำยางที่ได้จากข้อ 2.3.2 ตัดให้มีขนาดความกว้าง 10 mm และความยาว 25 mm วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rheometric Scientific® DMTA V ที่ความถี่ 3.5 Hz ดึงให้มีความเครียด 0.16 % ใช้อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 2°C/min ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -120°C ถึง 50°C

2.4 สูตรยางผสม

2.4.1 การเรียกชื่อสูตรยางผสม

การเรียกชื่อสูตรยางผสมใช้สัญลักษณ์ ดังนี้ Bx(y)z "B" หมายถึงยางผสม "x" เป็นตัวเลขที่ระบุสูตรของยางผสม "y" เป็นปริมาณของเขม่าดำ และ "z" เป็นปริมาณของ CSM ตัวอย่างเช่น

B1(40)30 = ยางผสมสูตร B1 มีเขม่าดำ 40 phr และมี CSM 30% โดยน้ำหนัก

โครงการวิจัยนี้ศึกษายางผสม 4 สูตร โดยมีการใช้สูตรNRจำนวน 3 สูตร (NR1, NR2 และ NR3) และสูตรCSM จำนวน 2 สูตร (C1 และ C2) ดังนี้

B1 = NR1 + C1 B2 = NR1 + C2 B3 = NR2 + C2 B4 = NR3 + C2

ส่วนการเรียกชื่อ NR และ CSM เป็นไปทำนองเดียวกับยางผสม เช่น NR1(0) คือยางธรรมชาติสูตร 1 ไม่มีเขม่าดำ

2.4.2 สูตรยางธรรมชาติ

สูตรยางคอมปาวด์สำหรับ NR ทั้ง 3 สูตร แสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 สูตรยางธรรมชาติ (โดยน้ำหนัก)

สารเคมี	NR1	NR2	NR3
NR	100	100	100
Stearic acid	1	2	2
ZnO	5	10	5
Wing stay L	1	3	1
Antilux	1	1	1
CBS	-	0.6	1.5
MBTS	0.75	-	-
TMTD	0.3	-	-
Sulfur	1.5	2.8	1.5

2.4.3 สูตรคอมปาวด์คลอโรซัลโฟเนตเตดพอลิเอททิลีน

สูตรยางคอมปาวด์สำหรับ CSM ทั้ง 2 สูตร แสดงในตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 สูตรยาง CSM (โดยน้ำหนัก)

สารเคมี	C1	C2
CSM	100	100
Stearic acid	-	1
MBTS	-	1.5
MgO	4	4
PER 200	3	3
Tetrone A	2	2.

2.4.4 เขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch carbon black)

เขม่าดำที่ใช้ในการทดลองสั่งซื้อจากบริษัท จึงมีส่วนผสมของยางและกรดสเตียริก ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนั้น ยางผสมที่มีเขม่าดำจะต้องมีการคำนวณน้ำหนักของยางและกรดสเตียริกที่ได้จากเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ เพื่อลดปริมาณที่

จะต้องเติมลงไป ถึงแม้ว่าในเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์จะมียางเอสบีอาร์ปริมาณ 15%โดยน้ำหนักของส่วนที่เป็นยางทั้งหมด แต่น้ำหนักของส่วนที่เป็นยางทั้งหมดคิดเป็น 39%ของน้ำหนักเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ทั้งหมด แสดงว่าเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ ประกอบด้วยยางเอสบีอาร์เพียง 6% ดังนั้น เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงคิดน้ำหนักของเอสบีอาร์รวมกับน้ำหนักของยางธรรมชาติในการหักลบส่วนของยางธรรมชาติที่ต้องเติมลงไปในยางผสม ในการพิจารณาส่วนผสมที่ต้องแก้ไขจากการเติมเขม่าดำนี้ ได้แยกการพิจารณาเป็น 2 กรณีที่ต่างกันระหว่างยาง NR และยางCSM ดังนี้

ตาราง 2.3 สูตรเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์

สารเคมี	ปริมาณ (น้ำหนัก)
NR	85
SBR	15
carbon black (ISAF)	52.5
carbon black (HAF)	52.5
Paraffin Oil	45
Stearic acid	2
Petroleum resin	6
รวม	258

1) สูตรยางธรรมชาติ (NR1 - NR3) และยางผสม (B1 – B4)

ตัวอย่างในการคำนวณปริมาณยางและสารเคมี สำหรับการเตรียมยาง NR ที่มีเขม่าดำ 10 phr

มีเขม่าดำ 105 g จากมาสเตอร์แบทช์ 258 g

มีเขม่าดำ 10 g จากมาสเตอร์แบทช์ (10 x 258)/105 = 24.57 g

ดังนั้น ถ้าต้องการเขม่าดำ 10 phr ต้องใช้เขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ 24.57 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 258 g มียาง 100 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 24.57 g มียาง (24.57 x 100)/258 = 9.52 g

ดังนั้นต้องเติม NR อีก 100 - 9.52 = 90.48 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 258 g มีกรดสเตียริก 2 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 24.57 g มีกรดสเตียริก (24.57 x 2)/258 = 0.2 g

ดังนั้นต้องเติมกรดสเตียริกอีก 1 - 0.2 = 0.8 g

สำหรับยางผสมจะหักปริมาณส่วนที่เป็นยางและกรดสเตียริกที่ได้จากมาสเตอร์แบทช์นี้ ออกจากส่วนของNR

ปริมาณยางเอสบีอาร์ในยางคอมปาวด์ที่ได้จากการเติมเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ ในปริมาณสูงสุดนั้น ได้จากสูตรที่มีการเติมเขม่าดำมากที่สุด คือ 4o phr สามารถคำนวณปริมาณที่ผสมอยู่จริงได้ดังนี้

มีเขม่าดำ 105 g จากมาสเตอร์แบทช์ 258 g

มีเขม่าดำ 40 g จากมาสเตอร์แบทช์ (40 x 258)/105 = 98.28 g

ดังนั้น ถ้าต้องการเขม่าดำ 40 phr ต้องใช้เขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ 98.28 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 258 g มียางเอสบีอาร์ 15 g

ในมาสเตอร์แบทช์ 98.28 g มียางเอสบีอาร์ (98.28 x 15)/258 = 5.71 g

จะเห็นได้ว่ามีปริมาณยางเอสบีอาร์ในยางคอมปาวด์ไม่มากนัก คือ 5.71 % ของยางที่ใช้ทั้งหมด

2) สูตรยาง CSM (C1 และ C2)

การเติมเขม่าดำในยาง CSM จะมีปริมาณของNRและSBRผสมอยู่ด้วย และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณเขม่าดำ ดังนั้นจำเป็นต้องวัลคาไนซ์ยางทั้งสองชนิดนี้ด้วยโดยใช้สูตรNR3ในการวัลคาไนซ์ ตัวอย่างการคำนวณสูตรที่ต้องการเขม่าดำ 40 phr มีดังนี้ จากการคำนวณที่ผ่านมาจะได้ว่า ต้องใช้เขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ 98.28 g และในปริมาณนี้จะมียางNR และSBRรวมเป็น 38.1 g ดังนั้นจะต้องเติมสารเคมีที่เหลือตามสูตร NR3 เพื่อทำการวัลคาไนซ์ยางปริมาณ 38.1 g นี้ด้วย

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางที่มาจากเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ ตามสูตร NR3

ปริมาณเขม่าดำ ที่ต้องการ (phr)	ปริมาณยางจากเขม่าดำ มาสเตอร์แบทช์ (g)	ปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมตามสูตร NR3		
		ZnO (g)	CBS (g)	S (g)
10	9.52	0.48	0.14	0.14
20	19.05	0.95	0.29	0.29
30	28.57	1.45	0.44	0.44
40	38.10	1.90	0.57	0.57

หมายเหตุ ไม่ต้องเติมกรดสเตียริกเพราะมีปริมาณเท่ากับสูตรNR3

2.4.5 การคำนวณปริมาณสารเคมีสูตรยางผสม

การคำนวณปริมาณสารเคมีสูตรยางผสมคิดตามสูตรของยางNRและยางCSM สารเคมีที่ใช้ซ้ำกันคิดตามน้ำหนักรวมของยางทั้งหมด และคิดน้ำหนักของยางและสารเคมีที่ปนมากับเขม่าดำมาสเตอร์แบทช์ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว