

บทที่ 2

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 กรดสเตียริก (stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.2 กำมะถัน (sulfur) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.3 จีซี้ง (wax) ชื่อทางการค้า Antilux ทำหน้าที่เป็นสาร antiozonant จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.4 เขม่าดำ (carbon black) เกรด N 330 หมายถึงเขม่าดำชนิด HAF (high abrasion furnace) มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 240-280 Å มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 8.0-9.0 ทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรง จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.5 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ผลิตโดยบริษัท May & Baker ประเทศอังกฤษ เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 wt% สำหรับเป็นสารช่วยจับตัวน้ำยาง
- 2.1.6 ซิงค์ ออกไซด์ (zinc oxide: ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.7 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate) ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 wt% ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในการเตรียม SNR
- 2.1.8 โซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) ผลิตโดยบริษัท Mallinckrodt Chemical Works ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้กำจัดน้ำออกจากสไตรีนมอนอเมอร์
- 2.1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ผลิตโดยบริษัท Labscan Asia ประเทศไทย เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 wt% สำหรับใช้กำจัดสารยับยั้งปฏิกิริยาออกจากสไตรีนมอนอเมอร์
- 2.1.10 น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia concentrated natural rubber

- latex) ผลิตโดยบริษัทจะนะน้ำยางชั้น มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60.08% ปริมาณของแข็งทั้งหมด 61.56%
- 2.1.11 พอลิโพรพิลีน (polypropylene) ผลิตโดยบริษัทโกลบอลคอนเนคชั่น จำกัด มหาชน melt flow index เท่ากับ 12 กรัมต่อ 10 นาที 3
- 2.1.12 ยางแท่ง (block rubber) เกรด STR 20 ผลิตโดยบริษัทจะนะน้ำยางชั้น -
- 2.1.13 ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene modified natural rubber: SNR) ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เนื้อสารหลักมีความเข้ากันได้ดี เตรียมในห้องปฏิบัติการ
- 2.1.14 ยางรีเคลม (reclaimed rubber) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ผลิตโดยบริษัทยู-เนี่ยนพัฒนา จำกัด มีลักษณะเป็น master batch ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้คือ มี 55% rubber hydrocarbon, 14% acetone extractable, 25% carbon black และ 6% ash
- 2.1.15 สไตรีนมอนอเมอร์ (styrene monomer) ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 104.14 ความหนาแน่นเท่ากับ 0.906 g/cm^3
- 2.1.16 แอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ (ammonium peroxide) ผลิตโดยบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals ประเทศออสเตรเลีย เตรียมในรูปสารละลาย 2 wt% ทำหน้าที่เป็นสารตัวริเริ่ม
- 2.1.17 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) ผลิตโดยบริษัท Mallinckrodt Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมในรูปสารละลายความเข้มข้น 10 V%
- 2.1.18 DPPD (N,N'-diphenyl-p-phenylene diamine) ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 260.33
- 2.1.19 MBTS (2,2'-dibenzothiazyl disulfide) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมขวาง จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด
- 2.1.20 TMTD (tetramethylthiuram disulphide) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมขวาง ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 204.43

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.2.1 เครื่องมือผสมแบบปิด brabender plasticoder รุ่น Docking station mixer 350E ประเทศเยอรมัน

- 2.2.2 เครื่องมือบดสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว จำหน่ายโดย บริษัท Yong Fong Machinery Co. Ltd.
- 2.2.3 เครื่องมือการขึ้นรูปแบบอัด (compression molding) จำหน่ายโดยบริษัทถัง-มาสเตอร์(ประเทศไทย) จำกัด
- 2.2.4 เครื่องมือการหาค่าเวลาคงรูป Oscillating Disk Rheometer รุ่น MDR 2000 (Alpha technologies) ทดสอบการวัลคาไนซ์ของของผสมเพื่อหาค่า cure time และ scorch time
- 2.2.5 ชุดเครื่องมือตัดขึ้นทดสอบ (die cut) รูปดัมเบลล์ (dumbbell) และรูป angle type C
- 2.2.6 เครื่องมือทดสอบแรงดึง universal testing machine รุ่น 1000S (LLOYD) สำหรับทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึง และทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อแรงฉีกขาด
- 2.2.7 เครื่องทดสอบการกระเดื่องตัว รุ่น SRI บริษัท Resiliometer Shore Instrument & MFG. Co.
- 2.2.8 เครื่องมือทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ชนิด Shore A รุ่น 3100 (ZWICK)
- 2.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-5800LV (JEOL)
- 2.2.10 เครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการหักงอ (flex cracking resistance) รุ่น De Mattia type DM-01 บริษัท Toyoseiki ประเทศญี่ปุ่น
- 2.2.11 เครื่องมือทดสอบด้วยสภาวะอากาศ (weathering test) บริษัท Kunhwa engineering
- 2.2.12 เครื่องมือทดสอบด้วยสภาวะโอโซน (ozone test) รุ่น pphm-s บริษัท Toyoseiki ประเทศญี่ปุ่น

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การสกัดสารยับยั้งออกจากสไตรีนมอนอเมอร์

เนื่องจากสไตรีนมอนอเมอร์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า มักมีการเติมสารยับยั้งเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของสไตรีนมอนอเมอร์เอง การนำสไตรีนมอนอเมอร์มาใช้จึงต้องมีการสกัดสารยับยั้งออก โดยนำสไตรีนมอนอเมอร์ทางการค้าประมาณ 200 ml ใส่ในกรวยแยก สารมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี จากนั้น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 wt% ปริมาณ 200 ml ลงไปในกรวยแยกที่มีสไตรีนมอนอเมอร์อยู่แล้ว เมื่อทำการสกัดแล้ว ตั้งทิ้งไว้สักครู่ จะเกิดการแยกชั้นของสาร สารยับยั้งจะแยกออกมาละลายอยู่ในเฟสเดียวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวมีสีชมพูอมส้มอยู่ในเฟสด้านล่าง ส่วนสไตรีน

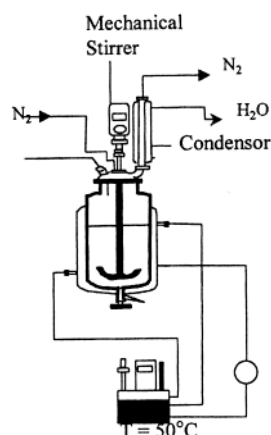
มอนอเมอร์มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอยู่ในเฟสด้านบน ปล่อยให้สารละลายส่วนล่างออก จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 ml ลงไป แล้วสกัดซ้ำอีกครั้ง หรือสกัดจนกว่าสารละลายชั้นล่างเปลี่ยนเป็นของเหลวใสไม่มีสี ปล่อยให้สารละลายส่วนล่างออก แล้วเทสไตรีนมอนอเมอร์ออกทางด้านบนลงในขวดรูปชมพู่ เติมโซเดียมซัลเฟต (ของแข็งสีขาว) ปริมาณ 20 g ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสไตรีนมอนอเมอร์ วางทิ้งไว้พร้อมกับแกว่งเป็นครั้งคราว กรองสไตรีนมอนอเมอร์ผ่านกรวยแก้วนุสาลี จะได้สไตรีนมอนอเมอร์ที่ไม่มีสารยับยั้งปฏิกิริยา และจัดเก็บสไตรีนมอนอเมอร์ที่ได้ที่อุณหภูมิ 4°C

2.3.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (SNR) เตรียมสารเคมีดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม SNR (มีแนวคิดจาก เสาวนีย์และทวีศักดิ์, 2544)

สารเคมีส่วนที่ 1	
น้ำยางข้น	75 wt%
10 wt% สารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟต	0.1 wt% ของสไตรีน
10 wt% สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	0.5 wt% ของสไตรีน
สารเคมีส่วนที่ 2	
สไตรีนมอนอเมอร์	25 wt%
2 wt% สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์	0.02 wt% ของสไตรีน
เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content) ให้ได้ประมาณ 40%	

ติดตั้งปฏิกรณ์ดังภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 ปฏิกรณ์สำหรับเตรียม SNR

ที่มา: Nakason et al., 2003

เติมสารส่วนที่ 1 ลงในปฏิกรณ์ กวนด้วยอัตราเร็ว 120 rpm ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 50°C เป็นเวลา 20 min จากนั้นเติมสารเคมีส่วนที่ 2 ที่ผสมเข้ากันดีแล้ว หยดลงในปฏิกรณ์ ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 hrs หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด ลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 30°C และเก็บสารลงในบีกเกอร์ จับตัว SNR ด้วยสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 wt% แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด ริดยางให้เป็นแผ่น อบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 hrs ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และจัดเก็บในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) ที่อุณหภูมิห้อง

2.3.3 การออกสูตรเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณเนื้อสารที่เหมาะสม

2.3.3.1 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณเนื้อสารหลักที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณยางธรรมชาติในช่วง 30-100 phr และแปรผันปริมาณพอลิโพรพิลีนในช่วง 0-70 phr แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การออกสูตร โดยการแปรผันปริมาณเนื้อสารหลัก

component	phr
สารส่วนที่ 1	
NR	30, 40, 50, 60, 70, 80, 100
PP	70, 60, 50, 40, 30, 20, 0
SNR	10

สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	50
carbon black	50
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	1
Wax	1
Sulphur	3

สำหรับการผสมแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกทำการผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิโพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เติมน้ำมันที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมน้ำมันลงไปในผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพันลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 6 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการคอมพาวด์ยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งจะเรียกของผสมที่ได้ใหม่นี้ว่า ยางคอมพาวด์ จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-6 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.3.2 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณยางรีเคลมที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณยางรีเคลมในช่วง 0-50 phr ซึ่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การออกสูตร โดยการแปรผันปริมาณยางรีเคลม

component	phr
สารส่วนที่ 1	

NR	80
PP	20
SNR	10
สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	0, 10, 20, 30, 40, 50
carbon black	50
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	1
Wax	1
Sulphur	3

ผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิโพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เติมน้ำมันที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 min ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมน้ำมันรีเคลมลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพ่นลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 7 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการผสมยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-6 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.3.3 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณเคมีที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณเคมีค่าใน ช่วง 0-50 phr ซึ่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การออกสูตร โดยการแปรผันปริมาณเคมีค่า

component	phr
-----------	-----

สารส่วนที่ 1	
NR	80
PP	20
SNR	10
สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	40
carbon black	0, 10, 20, 30, 40, 50
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	1
Wax	1
Sulphur	3

ผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิโพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เดินเครื่องที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 min ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมยางรีเคลมลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพ่นลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 8 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการผสมยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-6 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.3.4 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณ SNR ที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณ SNR ในช่วง 0-20 phr ซึ่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การออกสูตร โดยการแปรผันปริมาณ SNR

component	phr
สารส่วนที่ 1	
NR	80
PP	20
SNR	0, 5, 10, 15, 20
สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	40
carbon black	40
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	1
Wax	1
Sulphur	3

ผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิโพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เดินเครื่องที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 min ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมยางรีเคลมลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพันลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 9 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการผสมยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-7 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.3.5 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณกำมะถันที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณกำมะถันในช่วง 0-4 phr ซึ่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การออกสูตรโดยการแปรผันปริมาณกำมะถัน

component	phr
สารส่วนที่ 1	
NR	80
PP	20
SNR	5
สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	40
carbon black	40
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	1
Wax	1
Sulphur	0, 1, 2, 2.5, 3, 4

ผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เติมน้ำมันที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 min ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมน้ำมันรีดลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพันลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 10 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการผสมยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-6 และการทดสอบที่ 8 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.3.6 การออกสูตรเพื่อหาปริมาณ DPPD ที่เหมาะสม โดยแปรผันปริมาณ DPPD

ในช่วง 0-2 phr ซึ่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผสมดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การออกสูตรโดยการแปรผันปริมาณ DPPD

component	phr
สารส่วนที่ 1	
NR	80
PP	20
SNR	5
สารส่วนที่ 2	
Reclaimed rubber	40
carbon black	40
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
MBTS	2.5
TMTD	1.5
DPPD	0, 0.5, 1, 2
Wax	1
Sulphur	1

ผสมเนื้อสารหลัก (NR/PP) กับสารที่ทำให้ของผสมเข้ากันได้ (SNR) ในเครื่องผสมแบบปิด brabender plasticorder โดยเติมพอลิพรพิลีนลงไปหลอมก่อนเป็นเวลา 4 min ใช้อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 rpm เดินเครื่องที่อุณหภูมิ 160°C แล้วเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนลงไปผสมหนึ่งนาที จากนั้นเติมยางแท่งลงไปผสมอีกหนึ่งนาที ทำการผสมต่อไปอีก 2 min ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เติมยางรีเคลมลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อยางเริ่มพันลูกกลิ้งจึงเติมสารเคมีส่วนที่สองที่แสดงในตารางที่ 11 ลงไปผสมตามขั้นตอนมาตรฐานการผสมยาง เมื่อผสมสารเคมีกับยางเรียบร้อยแล้ว จัดเก็บของผสมที่ได้ในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccator) เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้สาร

เคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง จากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมโยงและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามการทดสอบที่ 1-6 และการทดสอบที่ 9 (ดูรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2.3.4)

2.3.4 การทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวางและคุณสมบัติเชิงกลของของผสม

การทดสอบที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการเชื่อมขวาง (การหาค่า cure time และค่า scorch time) ทดสอบโดย ชั่งยางคอมพาวด์ประมาณ 4.5 g ทดสอบด้วยเครื่องวัดความคงรูปของยาง (Oscillating disk rheometer) ที่อุณหภูมิ 140°C อ่านค่าเวลาที่ทำให้ยางสุก (cure time) และเวลาที่ยางสุกก่อนกำหนด (scorch time)

การทดสอบที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อแรงฉีกขาด (tear strength) ทำการทดสอบโดย ขึ้นรูปยางคอมพาวด์ด้วยเครื่องมือ compression molding ที่อุณหภูมิ 140°C ให้แรงอัด 200 kg/cm² และใช้เวลาตามเวลา cure time ที่ได้จากการทดสอบที่ 1 จากนั้น ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูป angle type C เพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงฉีกขาดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 624 โดยให้แรงขนาด 2.5 kN ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min จนชิ้นทดสอบขาด ทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น บันทึกค่าแรงและระยะยืดเพื่อคำนวณค่า tear strength ดังนี้

$$\text{tear strength} = \frac{\text{force at maximum value (N)}}{\text{thickness (mm)}} \quad (1)$$

การทดสอบที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติความกระด้างตัว (resilience test)

ทดสอบความกระด้างตัวโดยใช้เครื่องทดสอบแบบแบชชอร์ (Bashore Resiliometer) ตามมาตรฐาน ASTM D 2632 ซึ่งจะปล่อยให้ตัวกระแทก (Plunger) ที่สวมบนแกนให้ตกอิสระกระทบชิ้นทดสอบภายในแนวตั้ง อ่านค่าความกระด้างตัวของยางจากความสูงของการกระดอน โดยทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

การทดสอบที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติความแข็ง (hardness test)

ทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ชนิด Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 โดยเตรียมชิ้นทดสอบให้มีความหนาประมาณ 8 mm กดเป็นเวลา 5 วินาที ที่ตำแหน่งต่างกัน 5 ตำแหน่ง อ่านค่าความแข็งจากเครื่องทดสอบ โดยทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตร

การทดสอบที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ทำการทดสอบโดย ขึ้นรูปยางคอมพาวด์ด้วยเครื่องมือ compression molding ที่อุณหภูมิ 140°C ให้แรงอัด 200 kg/cm² และใช้เวลาตามเวลา cure time ที่ได้จากการทดสอบที่ 1 จากนั้น ตัดชิ้นทดสอบเป็น

รูป dumbbell เพื่อทดสอบความทนทานต่อแรงดึงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412 โดยให้แรงขนาด 2.5 kN ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min จนขึ้นทดสอบขาด ทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น บันทึกค่าแรงและระยะยืดเพื่อคำนวณค่า stress, strain และ strength ดังสมการที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนี้

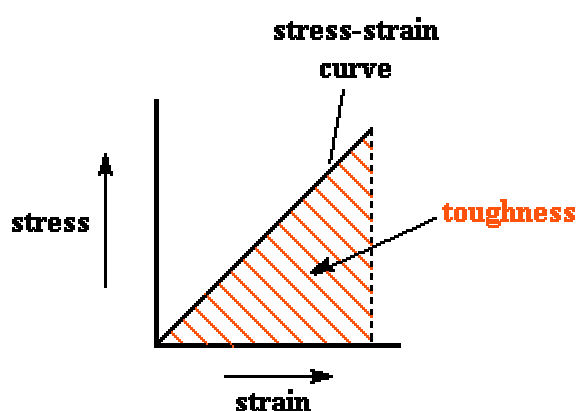
$$\text{stress} = \frac{\text{force at break (N)}}{\text{original area (mm}^2\text{)}} \quad (2)$$

$$\text{strain} = \left(\frac{\text{length at break} - \text{original length}}{\text{original length}} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{strength} = \frac{\text{force at maximum value (N)}}{\text{original area (mm}^2\text{)}} \quad (4)$$

การทดสอบที่ 6 การคำนวณความสามารถในการรับพลังงาน (toughness)

คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง stress กับ strain (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ) แสดงดังภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบที่ 16 พื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่า stress กับ strain

ที่มา: Polymer Science Learning Center, 2548

การทดสอบที่ 7 การทดสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา (morphology test)

ศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของของผสมในสูตรที่มีการแปรผันปริมาณ SNR ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของของผสม โดยการตรวจดูความเข้ากันจากผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่ผ่านการดึงยืดจนขาด จุ่มในพาราไซลีน (p-xylene) ที่อุณหภูมิ 135°C เป็นเวลา 5 seconds เพื่อสกัดวัสดุภาคที่

เป็นพลาสติกออก และนำไปอบด้วยเครื่องอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 4 hrs เคลือบขึ้น ทดสอบด้วยทองคำ แล้วนำไปทดสอบดูผิวหน้าที่แตกหักด้วยเครื่องมือ SEM

การทดสอบที่ 8 การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อการหักงอ (flex cracking resistance) ทำการทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อการหักงอในสูตรที่มีการแปรผันปริมาณ กำมะถัน ด้วยเครื่องมือ De Mattia Flexing Machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 813 เตรียม ชิ้นงานโดยการวัลคาไนซ์ในแม่แบบโดยตรง เพื่อให้ได้รูปร่างตามมาตรฐาน ทำการทดสอบด้วยความเร็ว 300 rpm หยุดเครื่องเป็นระยะ เพื่อตรวจสอบรอยแตกด้วยแว่นขยาย บันทึกจำนวนรอบที่ทำให้เกิดรอยแตกและลักษณะของรอยแตก ทำการทดสอบขึ้นทดสอบสามขึ้นต่อหนึ่งสูตรตัวอย่าง

การทดสอบที่ 9 การทดสอบการเสื่อมสภาพของยางในสภาวะอากาศและโอโซน ในสูตรที่มีการแปรผันปริมาณ DPPD

ก. การทดสอบด้วยสภาวะอากาศ (weathering test)

การทดสอบการเสื่อมสภาพของของผสมด้วยสภาวะอากาศ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอัน ได้แก่ ความชื้น รังสีอัลตราไวโอเล็ต และอากาศ โดยเริ่มการทดลองจากการเตรียมชิ้นทดสอบเป็น รูป dumbbell ชนิด die C จำนวนสูตรละ 5 ชิ้น นำชิ้นทดสอบมาวางในห้องทดสอบที่ประกอบด้วย พัดลมทำหน้าที่ให้อากาศไหลเวียน ควบคุมสภาวะทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C ควบคุมความชื้น โดยการเติมน้ำกลั่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% และให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากหลอด UV lamp ขนาด 40 W ซึ่งกำเนิดแสงในช่วง 300-400 nm ดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 72 hrs จากนั้น นำชิ้น ทดสอบที่ผ่านการสัมผัสสภาวะอากาศที่กำหนด มาทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึง เพื่อ เปรียบเทียบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงหลังการทดสอบด้วยสภาวะอากาศ

ข. การทดสอบด้วยสภาวะโอโซน (ozone test)

เตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 cm × 6 cm ตามมาตรฐาน ASTM D 1149 เตรียมสภาวะการทดสอบโดยยึดชิ้นทดสอบที่ 20% เป็นเวลา 48 hrs จากนั้น นำชิ้นทดสอบ ไปวางในเครื่อง Auto ozone tester ควบคุมให้โอโซนมีความเข้มข้น 25 part per hundred million (pphm) ที่อุณหภูมิ 40°C ทำการทดสอบเป็นเวลา 72 hrs เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ นำชิ้นงานมา ตรวจสอบลักษณะรอยแตกที่ผิวของชิ้นทดสอบด้วยแว่นขยายกำลังขยาย 10 เท่า