บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ชนิดยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS No.3) จำหน่ายโดยตลาดกลางยางพาราหาดใหญ่

2. ยางอีพีดีเอ็ม (Ethylene-Propylene Diene Rubber, EPDM) เกรด Buna EPT 2450 มีลักษณะเป็นยางแท่ง ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd.

3. เขม่าดำ (Carbon Black) เกรด N220 และ N330 ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing Filler) มีลักษณะเป็นผงสีดำ ผลิตโดยบริษัท Thai Carbon Black Public Co., Ltd จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

4. ซิลิกา (Silica) เกรด Hi-Sil 233 เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing Filler) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ผลิตโดยบริษัท PPG-Siam Silica Co., Ltd จัดจำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

5. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ชนิด White seal ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จัดจำหน่ายโดยบริษัทยูนิเวนเตอร์ จำกัด (มหาชน)

6. กรดสเตียริค (Stearic Acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) สำหรับสารตัวเร่งในยาง มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

7. กำมะถัน (Sulphur) เกรด 325 (Mesh) ทำหน้าที่เป็น Vulcanizing agent มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จัดจำหน่ายโดยบริษัทสยามเคมี จำกัด

8. Cyclohexyl benzothiayl sulphenamide (CBS) ทำหน้าที่เป็นสารเร่ง (Accelelator) มีลักษณะเป็นเม็ดสีเทา จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

9. Tetramethylthiuram monosulfide (TMTM) ทำหน้าที่เป็นสารเร่ง (Accelelator) มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

10. N-phenyl-N'-1,3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine (6PPD) ทำหน้าที่ป้องกันยางเสื่อม มีลักษณะเป็นเม็ดสีน้ำตาลดำ ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

11. 2,2'-Methylene-bis(4-methyl-6-tert-butylphenol) (AO 2246) หรือ Vulkanox BKF ทำหน้าที่ป้องกันยางเสื่อม มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

12. 2,2,4-trimethy1-1,2-dihydroquinoline (TMQ) ทำหน้าที่ป้องกันยางเสื่อม มีลักษณะเป็นเม็ดสีน้ำตาล ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

13. 3-(3-tert-butyl-4-hydroxy-5-methylphenyl) propionate (Wingstay L) ทำหน้าที่ป้องกันยางเสื่อม มีลักษณะเป็นผง ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

14. Spindle oil ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลืองอ่อน จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

15. Silane coupling agent ชนิด Si-69 ทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างยางกับซิลิกา มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง ผลิตโดยบริษัท JJ-Degussa C0., Ltd จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

16. Polyethylene glycol (PEG) เกรด PEG4000 ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น (Activator) สำหรับยางที่ใช้ซิลิกา มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

17. Paraffin wax ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

18. Wood rosin ทำหน้าที่เพิ่มความเหนียว (Tack) ให้กับยางคอมปาวด์ Nippon Steel Chemical Co., LTD จัดจำหน่ายโดยบริษัทเพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด

19. Coumarone-indene resin เกรด G-90 ทำหน้าที่เพิ่มความเหนียว (Tack) ให้กับยางคอมปาวด์ ผลิตโดยบริษัท Nippon Steel Chemical Co., LTD

20. ผ้าฝ้าย ทำหน้าที่เสริแรงให้กับผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทแบนโดแมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด.

21. ผ้าใบไนลอน ทำหน้าที่เสริแรงให้กับผลิตภัณฑ์ถุงเก็บน้ำ

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบดผสมยางและสารเคมีต่างๆ เข้าด้วยกัน ลูกกลิ้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 inch ความยาว 15 inch จำนวน 2 ลูก หมุนเข้าหากันด้วยอัตราความเร็วลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction Ratio) เท่ากับ 1:1.22 ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery Co., LTD. ประเทศไต้หวัน รุ่น YFM 160 B

2. เครื่องผสมยางแบบปิด (Kneader) ใช้ในการเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ (Master Batch) ของเขม่าดำและซิลิกา โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับ 970 rpm ความจุของห้องผสม 3 L ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery Co., LTD.

3. เครื่องอัดเบ้า (Compression moulding) เป็นเครื่องมือสำหรับอัดยางเข้าเบ้าพิมพ์ โดยใช้ระบบไฮโดรลิก ความดันสูงสุด 200 kg/cm^2 ที่ยึดเบ้าพิมพ์ขนาดขนาด 18x18 inch ให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า ผลิตโดยบริษัท TANG-MASTER Co., LTD. ประเทศไต้หวัน รุ่น LCC 140

4. เครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง (Calendar) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรีดยางกับผ้าใบให้ติดประสานกัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 8 inch ยาว 25 inch จำนวน 3 ลูก อัตราความเร็วของลูกกลิ้งบนต่อลูกกลิ้งกลางต่อลูกกลิ้งล่าง (Friction Ratio) เท่ากับ 1:1.1:1 ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery CO., LTD. ประเทศไต้หวัน

5. หม้ออบไอน้ำ (Autoclave) เป็นเครื่องมือสำหรับ วัลคาไนซ์ยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.98 m ยาว 3 m ให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ ความดันใช้งานปกติ 5 bar สูงสุด 10 bar ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนธนพลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

6. เตาอบอากาศร้อน (Hot air oven) เป็นเครื่องมือสำหรับ วัลคาไนซ์ยาง มีขนาดภายนอก 70×54×74 cm และขนาดช่องอบภายใน 58×40×50 cm มีระบบพัดลมเพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุด 250 ^{o}C ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมันนี รุ่น ULM 500

7. เครื่องรีโอมิเตอร์ (Moving die rheometer, MDR 2000) ใช้สำหรับหาเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) และเวลายางคอมปาวด์สุกก่อนกำหนด (Scorch time) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies Services Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น ALPHA TM 36 AIG 2953

8. เครื่องทดสอบความหนืด (Mooney viscometer, MV2000) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความหนืดของยางดิบ และยางผสมสารเคมี วัดความหนืดจากแรงบิด (Torque) ที่เกิดขึ้นบนจานโลหะที่หมุนอยู่ในเนื้อยางด้วยความเร็ว 2 rpm หน่วยความหนืดที่วัดได้คือ Mooney viscosity (MV) ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies Services Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น ALPHA TM 24 SIE 2338

9. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) เป็นเครื่องที่ใช้วัดแรงดึงชิ้นทดสอบ จำหน่ายโดยบริษัทอินโทรเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด รุ่น LLOYD TM LR 10 K ผลิตโดยบริษัท Lloyd Instruments Crop.

10. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ (De mattia flexing machine) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความต้านทานต่อการหักงอ และความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตก เครื่องทดสอบประกอบด้วยที่จับบนล่าง ด้านหนึ่งอยู่กับที่ อีกด้านหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งด้วยความถี่ 300 rpm โดยมีระยะชักสูงสุด (ระยะห่างระหว่างที่จับบนล่าง) เท่ากับ 100 mm ผลิตโดยบริษัท Toyoseiki ประเทศญี่ปุ่น รุ่น Toyoseiki TM DM.01

11. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Ozone aging tester) เป็นเครื่อง มือสำหรับทดสอบความต้านทานการแตกด้วยโอโซน ผลิตโดยบริษัท Toyoseiki ประเทศญี่ปุ่น รุ่น Toyoseiki TM PPHM-S

12. ตู้อบบ่มเร่ง (Gear oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 300 ^{o}C ใช้ในการบ่มเร่งยางเพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ ผลิตโดยบริษัท Tabai Espec Corp. ประเทศญี่ปุ่น รุ่น GPHH-100

13. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion tester) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความสึกหรอของยาง ตามมาตรฐาน B.S 903 (Akron Abrasion) โดยที่ลูกกลิ้งยางตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm ถูกขับด้วยมอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 250 rpm ทำมุมไถล 15^{o} กับล้อหินขัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm หน้ากว้าง 2.5 cm โดยมีน้ำหนัก 4.5 kg กดให้ติดกับชิ้นทดสอบ ผลิตโดยบริษัท Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

14. เครื่องวัดความแข็ง (Hardness tester) ใช้แบบ Shore durometer รุ่น PTC TM 408 ความแข็งที่ทดสอบได้มีหน่วยเป็น Shore A ผลิตโดยบริษัท Pacific Transducer Crop.

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ (Master batch) ของเขม่าดำและซิลิกา

ในงานวิจัยนี้มีการใช้สารเสริมแรงเขม่าดำและซิลิกาในปริมาณสูงถึง 40 phr เพื่อความสะดวกในการผสมยางกับเขม่าดำและซิลิกา จึงได้เตรียมเขม่าดำและซิลิกาให้อยู่ในรูปของมาสเตอร์แบทช์ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเขม่าดำและซิลิกา และลดเวลาในการผสม

การผสมยางมาสเตอร์แบทช์จะผสมในเครื่องผสมแบบปิดชนิด Kneader เนื่องจากเครื่องผสมแบบปิดมีความจุห้องผสมจำเพาะค่าหนึ่ง การผสมจะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักรวมเพียงอย่างเดียวไม่ได้ จะต้องคำนึงถึงค่าความถ่วงจำเพาะของยางและสารเคมีด้วย จึงจะหาขนาดของ Batch

Size ที่เหมาะสมที่จะทำให้การผสมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจะต้องคำนวณหาน้ำหนักขององค์ประกอบของสูตรยางแต่ละตัวที่ใช้เตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ สูตรยางมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำ แสดงในตารางที่ 3.1 มีวิธีการคำนวณและเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมยางกับเข่าดำในเครื่องผสมแบบปิด ชนิด kneader ที่มีปริมาตร 3 L หรือ 3,000 cm^3 ในการผสมจะใช้ปริมาตร (fill factor) คือ 0.85 เท่าของห้องผสม ดังนั้นปริมาตรทั้งหมดในการผสม คือ $3,000 \times 0.85 = 2,550\ cm^3$

2. หาปริมาตรของสารแต่ละตัว โดยนำปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวของสูตรยางหารด้วยความหนาแน่นของสารแต่ละตัว ดังสมการที่ 3.1 เช่น การคำนวณหาปริมาตรของยางธรรมชาติ

$$V = \frac{M}{D} \tag{3.1}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรขององค์ประกอบของสูตรยาง (cm^3)

M คือ (g)

D คือ ความหนาแน่นขององค์ประกอบของสูตรยาง (g/cm^3)

$$V = \frac{57.6}{0.93} = 61.93\ cm^3$$

ทำการคำนวณหาปริมาตรของสารเคมีทุกตัวที่ต้องใช้ตามสูตรยางมาสเตอร์แบทช์ในตารางที่ 3.1

3. นำปริมาณขององค์ประกอบของสูตรยางรวม (M_{total}) และปริมาตรขององค์ประกอบของสูตรยางรวม (V_{total}) มาหาค่าความหนาแน่นรวมของสูตรยางมาสเตอร์แบทช์ ดังสมการที่ 3.2

$$D = \frac{M_{total}}{V_{total}} \tag{3.2}$$

$$D = \frac{100}{86.94} = 1.15\ g/cm^3$$

4. นำค่าความหนาแน่นรวมของสูตรยางมาสเตอร์แบทช์ หาน้ำหนักของสูตรยางที่ใช้ผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด คำนวณดังนี้

ถ้ายางมาสเตอร์แบทช์ 1 cm^3 มีน้ำหนัก 1.15 g

ถ้ายางมาสเตอร์แบทช์ 2,550 cm^3 มีน้ำหนัก $2,550 \times 1.15 = 2,932.5$ g

เพราะฉะนั้น น้ำหนักของยางมาสเตอร์แบทช์ คือ 2,932.5 g

5. นำน้ำหนักที่ใช้ทั้งหมดในเครื่องผสมแบบปิด หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของสูตรยางมาสเตอร์แบทช์ (Multiplying factor) คือ $\frac{2,932.5}{100} = 29.32$ คูณกับปริมาณสารทุกตัวของสูตรยางมาสเตอร์แบทช์ เช่น $29.32 \times 57.6 = 1,688.83$ g ได้เป็นน้ำหนักของสารเคมีแต่ละตัวที่จะใช้ในการเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณยางและสารเคมีที่ใช้เตรียมมาสเตอร์แบทช์ (Master batch) ของเขม่าดำ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (g)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ปริมาตร (cm^3)	น้ำหนัก (g)
ยางแผ่นรมควันชั้น 3	57.60	0.93	61.93	1,688.83
เขม่าดำ	40.00	1.80	22.22	1,280
น้ำมันสปินเดิล	2.40	0.86	2.79	70.37
รวม	**100.00**		**86.94**	**3,039.20**

หมายเหตุ การคำนวณมาสเตอร์แบทช์ของซิลิกา ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

6. ทำการชั่งยางและสารเคมีตามตารางที่ 1 เพื่อผสมในเครื่องผสมแบบปิด

7. เปิดเครื่องผสมแบบปิด ล้างห้องผสมด้วยยาง

8. ทำการผสมยางและสารเคมีในเครื่องผสมแบบปิด โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของการผสมประมาณ 80 ^{o}C โดยขั้นแรกเป็นการใส่ยางลงไปบดจนนิ่ม แล้วเติมเขม่าดำโดยแบ่งใส่ครึ่งหนึ่งก่อน ขณะใส่เขม่าดำอุณหภูมิจะลดลงต้องรอจนอุณหภูมิ ≥ 80 ^{o}C จึงเติมน้ำมันสปินเดิลปริมาณครึ่งหนึ่ง รอจนอุณหภูมิ ≥ 80 ^{o}C แล้วจึงเติมเขม่าดำและน้ำมันสปินเดิลที่เหลือจนหมดผสมต่อจนยางกับเขม่าดำเข้ากัน

9. เมื่อผสมเสร็จแล้ว เทยางออกจากเครื่องผสมแบบปิด นำยางผสมที่ได้ไปรีดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง เก็บยางมาสเตอร์แบทช์เพื่อใช้งานต่อไป

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของเขม่าดำ เมื่อนำมาสเตอร์แบทช์ไปใช้ในสูตรยาง ถ้าต้องการเขม่าดำ 10 g จะต้องใช้มาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำ $\frac{10 \times 100}{40} = 25$ g

เนื่องจากน้ำมันสปินเดิล ใส่ปริมาณ 6% ของเขม่าดำ $\frac{10 \times 6}{100}$ = 0.6 g

ดังนั้นมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำ 25 g ประกอบด้วย

1. เขม่าดำ 10 g
2. ยางแผ่นรมควัน 14.4 g
3. น้ำมันสปินเดิล 0.6 g

หมายเหตุ สูตรยางจะกำหนดปริมาณสารต่างๆ ในสัดส่วนต่อยาง 100 ส่วนโดยน้ำหนัก และเรียกเป็น phr (Part per hundred of rubber) เพราะฉะนั้นจะต้องเพิ่มยางแผ่นรมควันอีก 85.6 g รวมกับยางแผ่นรมควันในมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำ 14.4 g เท่ากับ 100 g

3.3.2 การเตรียมยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง

1. สำหรับยางที่ใช้สารเริมแรงชนิดซิลิกา โดยขั้นแรกเป็นการบดยางแผ่นรมควันให้นิ่ม ปล่อยให้ยางพันลูกกลิ้ง 2 min ควบคุมสภาวะการผสมที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C ขนาด Nip เท่ากับ 1.3 mm จากนั้นใส่มาสเตอร์แบทช์ของซิลิกาบดจนเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 5 min แล้วใส่สารเคมีอื่นๆ ตามลำดับดังนี้ ไซเลน-69 ซิงค์ออกไซด์ โพลีเอทิลีนไกลคอล พาราฟินแว็กซ์ กรดสเตียริก สารเพิ่มความเหนียว น้ำมัน สารเร่ง สารป้องกันยางเสื่อม และกำมะถัน ตามลำดับ สารเคมีแต่ละตัวใช้เวลาบดผสมประมาณ 2 min เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนา 3 mm พักยางไว้ 24 hr เพื่อให้สารเคมีกระจายเข้าไปในเนื้อยาง แล้วนำไปหาเวลาการวัลคาไนซ์ ความหนืด และเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ

2. สำหรับยางที่ใช้สารเสริมแรงชนิดเขม่าดำ ขั้นแรกเป็นการบดยางแผ่นรมควันปล่อยให้ยางพันลูกกลิ้ง 2 min ควบคุมสภาวะการผสมที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C ขนาด Nip เท่ากับ 1.3 mm จากนั้นใส่มาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำบดจนเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 5 min แล้วใส่สารเคมีอื่นๆ ตามลำดับดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ พาราฟินแว็กซ์ กรดสเตียริก สารเร่ง สารป้องกันยางเสื่อม และกำมะถัน ตามลำดับ สารเคมีแต่ละตัวใช้เวลาบดผสมประมาณ 2 min เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนา 3 mm พักยางไว้ 24 hr แล้วนำไปหาเวลาการวัลคาไนซ์ ความหนืด และเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ

3. สำหรับยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพีดีเอ็ม โดยขั้นแรกเป็นการบดยางมาสเตอร์แบทช์ของซิลิกาให้พันลูกกลิ้ง 2 min โดยควบคุมสภาวะการผสมที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C ขนาด Nip เท่ากับ 1.3 mm จากนั้นเติมยางอีพีดีเอ็มครั้งละน้อยๆ อย่างต่อเนื่องจนหมด บดต่อจนเป็นเนื้อเดียวกัน 5 min แล้วใส่สารเคมีอื่นๆ ตามลำดับดังนี้ ไซเลน-69 ซิงค์ออกไซด์ น้ำมัน กรดสเตียริก พาราฟินแว็กซ์ โพลีเอทิลีนไกลคอล สารเร่ง สารป้องกันยางเสื่อม และกำมะถัน ตามลำดับ สารเคมี

แต่ละตัวใช้เวลาบดผสมประมาณ 2 min เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนา 3 mm พักยางไว้ 24 hr แล้วนำไปหาเวลาการวัลคาไนซ์ ความหนืด และเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ

3.3.3 การเคลือบยางลงบนผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง

1. เปิดเครื่องแล้วอุ่นลูกกลิ้งให้ได้อุณหภูมิประมาณ 70 °C ทั้ง 3 ลูก

2. จัดให้ระยะช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกลางและลูกกลิ้งล่างให้ชิดกัน ขณะเมื่อรีดยางออกมาเพื่อให้ยางหนา 1 mm

3. อุ่นยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง ให้อุณหภูมิของยางคอมปาวด์เท่ากับอุณหภูมิของลูกกลิ้งเครื่องรีดยาง แล้วผ่านยางคอมปาวด์เข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งบนและกลาง โดยปริมาณยางที่ใส่เข้าไปต้องสม่ำเสมอตลอดแนวลูกกลิ้ง จากนั้นใส่ผ้าใบระหว่างลูกกลิ้งกลางและล่างขณะทำการเคลือบจะต้องอุ่นยางคอมปาวด์ป้อนเข้าเครื่องรีดยางอย่างต่อเนื่อง

4. นำผ้าใบที่เคลือบด้วยยางแล้วกลับด้าน แล้วรีดด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้งอีกครั้ง เพื่อให้ยางเคลือบบนผ้าใบทั้งสองด้าน ความหนาของผ้าใบเคลือบยางแล้วเฉลี่ยประมาณ 0.8 mm

3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

3.4.1 การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2084 (Rubber property-vulcanization using oscillating disk cure meter) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา 20 min เพื่อหาเวลาวัลคาไนซ์ (Cure time, t_{c90}) และเวลาที่ยางสุกก่อนกำหนด (Scorch time, t_{s2}) มีวิธีทดสอบดังนี้นำยางคอมปาวด์ที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 hr ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสน้ำหนักประมาณ 5 g เตรียมการทดสอบโดยอุ่นห้องใส่ยางที่อุณหภูมิ 150 °C เลือกเวลาที่ต้องการทดสอบ หลังจากที่เครื่องพร้อมสำหรับการทำงาน วางยางที่ตัดไว้บนโรเตอร์จากนั้นทำการทดสอบ หลังจากครบเวลาที่ตั้งไว้เครื่องจะบันทึกค่าออกมาในรูปของกราฟและค่าต่างๆ ที่เราต้องการเพื่อนำค่า t_{c90} ไปใช้ในการอัดขึ้นรูปยางโดยที่ชิ้นทดสอบยางหนา 2 mm จะใช้เวลาในการอบเท่ากับ t_{c90}+ 1 min ถ้าชิ้นทดสอบหนาขึ้นเป็น 12 mm จะใช้เวลาในการอบเท่ากับ t_{c90}+ 6 min หรือชิ้นทดสอบที่มีผ้าใบ 1, 2 และ 3 ชั้นจะใช้เวลาในการอบเท่ากับ t_{c90}+ 1, 2 และ 3 min ตามลำดับ

t_{c90} คือ เวลาการวัลคาไนซ์ที่ 90% ของแรงบิดสูงสุด

t_{s2} คือ เวลาเริ่มการวัลคาไนซ์ที่ 2 หน่วย ของแรงบิดที่เหนือจุดแรงบิดต่ำสุด

3.4.2 การทดสอบความหนืดมูนนี

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1646 (Rubber-viscosity, stress relaxation and pre-vulcanization characteristics) มีวิธีการทดสอบดังนี้ ตั้งอุณหภูมิห้องเสื้อของเครื่อง

Mooney viscometer ที่อุณหภูมิ 100 °C อุ่นโรเตอร์ในช่องใส่ยางเป็นเวลา 2 hr แล้วแบ่งยางที่เตรียมไว้ 25 g ออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน โดยแต่ละส่วนมีน้ำหนักประมาณ 12.5 g นำโรเตอร์ออกจากช่องใส่ยางนำยางมาประกบด้านบนและด้านล่างของโรเตอร์ รองด้วยพลาสติกเซลโลเฟนอีกชั้น แล้วใส่กลับลงไปในช่องใส่ยางอุ่นยางเป็นเวลา 1 min จากนั้นเดินเครื่องให้โรเตอร์หมุนเป็นเวลา 4 min บันทึกค่าความหนืดที่เวลา 4 min

<u>การบันทึกผล</u>

ความหนืด = X ML 1+4 (100°C) (3.3)

เมื่อ X คือ ค่าความหนืดที่อ่านได้

M คือ Mooney

L คือ โรเตอร์ขนาดใหญ่

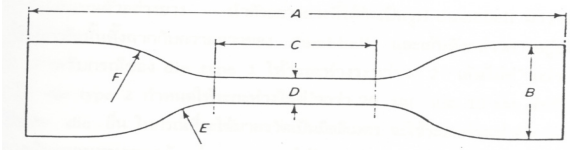
1 คือ อุ่นยางเป็นเวลา 1 min

4 คือ ทดสอบเป็นเวลา 4 min

100°C คือ อุณหภูมิที่ทดสอบ

3.4.3 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D412 (Vulcanized rubber and thermoplastic elastomers-tension) โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลขนาด Die C ตั้งระยะห่างระหว่างที่จับบนล่างเท่ากับ 65 mm ระยะรอยขีดระหว่างกลางชิ้นทดสอบเท่ากับ 1 cm นำตัวอย่างชิ้นทดสอบใส่ระหว่างที่จับ จากนั้นเดินเครื่องด้วยอัตราเร็ว 500 mm/min จดค่าแรงที่ใช้ดึงตามความยืดที่ต้องการ จดค่าแรงที่ขาด และระยะยืดที่ดึงจนขาด



รูปที่ 3.1 ลักษณะตัวอย่างชิ้นทดสอบรูปดัมเบล

การคำนวณ

$$\text{Tensile Strength} = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

เมื่อ Tensile Strength คือ ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)

F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกระทำ (mm^2)

$$\text{Elongation at Break} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ Elongation at Break คือ ระยะยืด ณ จุดขาด (%)

L คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืดจนขาด (cm)

L_o คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางก่อนยืด (cm)

$$\text{300\% Modulus} = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

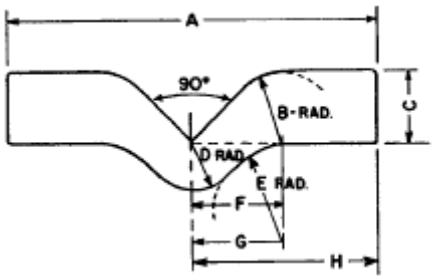
เมื่อ 300% Modulus คือ ความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่ระยะยืด 300% จากระยะเดิม (MPa)

F คือ แรงที่ใช้ดึงยางที่ระยะยืด 300% จากระยะเดิม (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกระทำ (mm^2)

3.4.4 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D624 (Tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomers) โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปมุม (Angle) ดังรูปที่ 3.2 แล้วนำตัวอย่างชิ้นทดสอบใส่ระหว่างที่จับ จากนั้นเดินเครื่องด้วยอัตราเร็ว 500 mm/min จดค่าแรงที่ใช้ดึงจนขาด



DIE C

Dimension	Millimetres		Inches	
	Value	Tolerance	Value	Tolerance
A	102	±0.50	4.0	±0.02
B	19	±0.05	0.75	±0.002
C	19	±0.05	0.75	±0.002
D	12.7	±0.05	0.5	±0.002
E	25	±0.05	1.0	±0.002
F	27	±0.05	1.061	±0.002
G	28	±0.05	1.118	±0.002
H	51	±0.25	2.0	±0.01

รูปที่ 3.2 ลักษณะตัวอย่างชิ้นทดสอบรูปมุม (Angle)

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{Tear Strength} = \frac{F}{d} \tag{3.7}$$

เมื่อ Tear Strength คือ ความต้านทานต่อการฉีกขาด (N/mm)

F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (N)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

3.4.5 ทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน BS 903 (Determination of abrasion resistance) โดยนำลูกกลิ้งยางที่ได้จากการอัดเบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลาง 6.1 cm หนา 1.2 cm ใส่ในเครื่อง Akron machine ทำมุมไถล 15^{o} กับล้อหินขัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm หน้ากว้าง 2.5 cm ถูกขับด้วยมอเตอร์หมุนด้วยอัตราเร็ว 250 rpm โดยมีน้ำหนัก 4.5 kg กดให้ติดกับชิ้นทดสอบ การทดสอบหาความต้านทานการสึกหรอมีวิธีการดังนี้

1. วัดความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางและชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบเพื่อคำนวณหาปริมาตรและความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างดังสมการที่ 3.8 และ 3.9

$$V = \pi r^2 h \tag{3.8}$$

$$D = \frac{m}{V} \tag{3}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง (cm^3)

r คือ ความยาวรัศมีของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่าง (cm)

h คือ ความหนาของชิ้นตัวอย่าง (cm)

D คือ ความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง (g/cm^3)

m คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่าง (g)

2. นำชิ้นตัวอย่างดังกล่าวไปทดสอบด้วยเครื่อง Akron machine โดยขัดให้ครบ 500 รอบ นำตัวอย่างไปชั่งคำนวณหาปริมาตรยางที่หายไปตามสมการที่ 3.9 จากปริมาตรที่หายไปนี้ให้นำยางดังกล่าวไปทดสอบ Running-in โดยให้มีจำนวนรอบเท่ากับที่แสดงในตารางที่ 3.2 หลังจากทดสอบ Running-in แล้วนำยางตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรที่หายไปและปริมาตรที่เหลืออยู่ตามสมการที่ 3.9

3. ทำการทดสอบจริงโดยจะทำการทดสอบเป็นจำนวน 5 ครั้ง ตามมาตรฐานโดยจำนวนรอบที่ทำการทดสอบจะเท่ากับที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 3.2 การทดสอบแต่ละครั้งจะต้องชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณปริมาตรที่หายไป (นำปริมาตรที่หายไป 5 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย) นำค่าเฉลี่ยมาคำนวณหาปริมาตรยางที่สูญหายไปจากการทดสอบต่อ 1,000 รอบ เช่น การทดสอบจริงที่ 125, 250, 500 และ 1,000 รอบ ให้นำค่าเฉลี่ยของปริมาตรที่สูญหายไปคูณ 8, 4, 2 และ 1 ตามลำดับ จะได้ปริมาตรยางที่สูญหายไปจากการทดสอบต่อ 1,000 รอบ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าดัชนีการสึกหรอตามสมการที่ 3.10

ตารางที่ 3.2 ตาราง Running-in และจำนวนรอบที่ต้องทดสอบจริง

ปริมาตรที่หายไปจากทดสอบ 500 รอบแรก (cm^3)	การทดสอบเพิ่มเติมหลังจากทดสอบ 500 รอบแรก	
	จำนวนรอบการ Running-in (รอบ)	จำนวนรอบการทดสอบจริง (รอบต่อครั้ง)
สูงกว่า 0.05 แต่ไม่เกิน 0.10	4,000	1,000
สูงกว่า 0.10 แต่ไม่เกิน 0.20	2,000	500
สูงกว่า 0.20 แต่ไม่เกิน 0.40	750	250
สูงกว่า 0.40	125	125

การคำนวณ

$$\text{Abrasion index} = 100 \times \left(\frac{S}{T} \right) \tag{3.10}$$

เมื่อ Abrasion index คือ ดัชนีการสึกหรอ

S คือ ปริมาตรของยางมาตรฐานที่สูญหายไปเฉลี่ยต่อ 1,000 รอบ สูตรยางมาตรฐานแสดงในตารางที่ 3.3

T คือ ปริมาตรของยางตัวอย่างที่สูญหายไปเฉลี่ยต่อ 1,000 รอบ

ตารางที่ 3.3 สูตรยางมาตรฐานสำหรับทดสอบการสึกหรอ (มาตรฐาน BS 903 Part A9)

Ingredient	Loading (phr[a])
RSS NO.3	100
Sulphur	3
MBTS	1
Stearic acid	3
Zinc Oxide	5
N330	50
6PPD	1

[a]phr: Parts per hundred of rubber

3.4.6 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240 (Rubber property-durometer hardness) เป็นการวัดความแข็งแบบ Shore durometer โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนาอย่างน้อย 6 mm หรือ 0.25 inch ทำการทดสอบโดยใช้หัวกดแบบกรวยปลายตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.79 mm กดยางค้างไว้ 30 s แล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้ ซึ่งค่าความแข็งที่ได้มีหน่วยเป็น Shore A

3.4.7 การทดสอบการบ่มเร่ง

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D573 (Rubber-deterioration in an air oven) โดยใช้ชิ้นทดสอบตาม ASTM D412 รูปดัมเบล ขนาด Die C ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เวลา 72 hr ในตู้บ่มเร่งแบบ Gear oven เมื่อครบกำหนดนำชิ้นทดสอบไปทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง รายงานผลเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากเดิม

การคำนวณ

$$P = \frac{A - O}{O} \times 100 \tag{3.12}$$

เมื่อ P คือ สมบัติที่เปลี่ยนไป (%)

คือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังบ่มเร่ง (MPa)

คือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มเร่ง (MPa)

3.4.8 การทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบดึงลอก

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1876 (Peel. strength) โดยใช้เครื่อง Tensile testing machine ดึงยางให้ปอกออกจากผ้าใบด้วยอัตราเร็ว 254 mm/min ในทิศทางตรงกันข้าม 180° ดังรูปที่ 3.3 เตรียมชิ้นทดสอบโดยการนำยางคอมปาวด์รีดเป็นแผ่นบางหนาประมาณ 1 mm ด้วยเครื่องผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง แล้วตัดแผ่นยางที่ผ่านการรีดจำนวน 3 แผ่น และผ้าใบจำนวน 2 ชิ้น วางแผ่นยางสลับกันกับผ้าใบ (แบบแซนวิทซ์) จากนั้นวัลคาไนซ์ยางที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา t_{c90} + 3 min ความดัน 150 kg/cm^2 ตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 1 × 5 inch แล้วกรีดชิ้นทดสอบตามความหนาเพื่อให้ยางแผ่นกลางแยกออกจากผ้าใบ

การคำนวณ

$$\text{Adhesion Strength} = \frac{F}{d} \tag{3.13}$$

เมื่อ Adhesion Strength คือ ความแข็งแรงของการติดประสาน (lbf /in)

F คือ แรงเฉลี่ยที่ใช้ดึงปอก (lbf)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (inch)

3.4.9 การทดสอบความต้านทานต่อโอโซน

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1149 (Rubber deterioration-surface ozone cracking in a chamber) ชิ้นทดสอบขนาด 1 × 7 cm หนา 2 mm สภาวะการทดสอบอุณหภูมิที่ใช้ 40 ± 2 °C ความเข้มโอโซน 25 ± 5 pphm ก่อนอบยืดชิ้นทดสอบ 20% ทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 hr จากนั้นนำไปอบในตู้อบโอโซนเป็นเวลา 72 hr แล้วนำมาตรวจดูรอยแตกด้วยแว่นขยายรายงานผลเป็นขนาด จำนวนของรอยแตก และถ่ายภาพชิ้นทดสอบ

3.4.10 การทดสอบความต้านทานต่อการหักงอ

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D430 (Rubber deterioration-dynamic fatigue) โดยนำชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm หนา 6.4 mm ตรงกลางแผ่นมีร่องครึ่งวงกลมรัศมี 2.38 mm ติดตั้งชิ้นทดสอบลงในเครื่องเดอแม็ทเทีย (De mattia flexing machines) แล้วทดสอบด้วยความถี่ 300 rpm ต้องหยุดเครื่องเพื่อตรวจสอบรอยแตกเป็นครั้งคราว ขณะตรวจหารอยแตกปรับ

ระยะ ห่างระหว่างที่จับเท่ากับ 65 mm รายงานผลเป็นจำนวนรอบ (Kilocycle) ที่พบรอยแตกเป็นครั้งแรก

3.4.11 การทดสอบความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตก

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D813 (Rubber deterioration-crack growth) โดยนำชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm หนา 6.4 mm ตรงกลางแผ่นมีร่องครึ่งวงกลมรัศมี 2.38 mm แล้วเจาะรูตรงกลางด้วยเครื่องเจาะโดยเจาะให้ทะลุเพียงครั้งเดียว แล้วติดตั้งชิ้นทดสอบลงในเครื่องเดอแม็ทเทีย (De mattia flexing machines) จากนั้นทดสอบด้วยความถี่ 300 rpm ต้องหยุดเครื่องเพื่อตรวจสอบรอยแตกเป็นช่วงๆ เช่น ที่ 1000, 2000, 3000 หรือ 5000 รอบ เป็นต้น ขณะตรวจหารอยแตกปรับระยะห่างระหว่างที่จับเท่ากับ 65 mm บันทึกจำนวนรอบที่รอยแตกขยายตัวจาก 2 เป็น 4 mm, 4 เป็น 8 mm และ 8 เป็น 12 mm ด้วยสายตา หรือแว่นขยาย

3.4.12 การทดสอบการยึดติดระหว่างชั้นผ้าใบ

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D413 (Rubber property-adhesion to flexible substrate) ด้วยเครื่อง Tensile testing machine โดยตัดชิ้นงานเป็นรูปขากางเกงแยกออกจากกันเป็น 2 ชิ้น จากนั้นดึงปอกออกจากกันด้วยอัตราเร็ว 50.8 mm/min ในทิศทางตรงกันข้าม 180° ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดึงให้แยกออกจากกันอย่างน้อย 100 mm คำนวณค่าความแข็งแรงของการติดประสานตามสมการที่ 3.13 วิธีเตรียมชิ้นตัวอย่างเตรียมได้ดังนี้

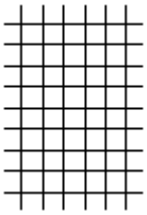
1. เตรียมโดยใช้เครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง เคลือบยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 4.25 ลงบนผ้าใบโดยเคลือบทั้งสองด้านของผ้าใบ ความหนาของผ้าใบเมื่อเคลือบยางแล้วเฉลี่ยประมาณ 0.8 mm ตัดแผ่นผ้าใบที่เคลือบด้วยยางแล้วขนาดประมาณ 150 × 150 mm จำนวน 5 แผ่น นำมาวางซ้อนกัน จากนั้นวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา t_{c90} + 3 min ความดัน 50 kg/cm^2 จากนั้นตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm

2. เตรียมโดยใช้สารละลายกาวยางเคลือบยางคอมปาวด์ลงบนผ้าใบ โดยนำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 4.25 มาละลายในตัวทำละลายโทลูอีน ตั้งทิ้งไว้ให้ยางละลายประมาณ 1 วัน ได้เป็นสารละลายกาวยาง จากนั้นทากาวยางลงบนผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายขนาด 150 × 150 mm โดยทาทั้งสองด้านของผ้าใบความหนาของแผ่นผ้าใบที่เคลือบยางแล้วประมาณ 0.7 mm ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 2 วัน นำผ้าใบที่เคลือบด้วยยางแล้วจำนวน 5 แผ่นนำมาวางซ้อนกัน จากนั้น วัลคาไนซ์ด้วยเครื่องอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 150 °C เวลา t_{c90} + 3 min ความดัน 50 kg/cm^2 จากนั้นตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm

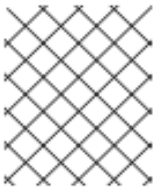
รูปที่ 3.3 ลักษณะการดึงชิ้นทดสอบในทิศทางตรงกันข้าม (180^{o})

3.4.13 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าใบที่เคลือบยางแล้ว

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D5035 (Test method for breaking strength and elongation of textile fabrics) โดยใช้เครื่อง Tensile testing machine ดึงชิ้นทดสอบขนาด 25× 150 mm ระยะห่างระหว่างที่จับ 75 mm ดึงด้วยอัตราเร็ว 300 mm/min ชิ้นทดสอบเตรียมโดยนำยางคอมปาวด์มาเคลือบลงบนผ้าใบด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้งโดยเคลือบทั้งสองด้านของผ้าใบ ความหนาของผ้าใบไนลอนและผ้าฝ้ายประมาณ 0.65 mm และเมื่อเคลือบยางลงบนผ้าใบแล้วจะได้ความหนาเฉลี่ยประมาณ 0.8 mm ตัดแผ่นผ้าใบที่เคลือบด้วยยางแล้วขนาด 150 × 150 mm มาวางซ้อนกันจำนวน 2 และ 3 แผ่น โดยให้ทิศทางการวางตัวของเส้นใยเป็นไปในแนวเดียวกัน จากนั้นทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 ^{o}C เวลา t_{c90} + 3 min ความดัน 50 kg/cm^{2} จากนั้นตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 25×150 mm ตามแนวการวางตัวของเส้นใยในแนว $0^{o}/90^{o}$ ดังรูปที่ 3.4 และแนวการวางตัวของเส้นใยในแนว $\pm 45^{o}$ ดังรูปที่ 3.5 และคำนวณหาค่าความทนต่อแรงดึงของผ้าใบได้จากสมการที่ 3.5



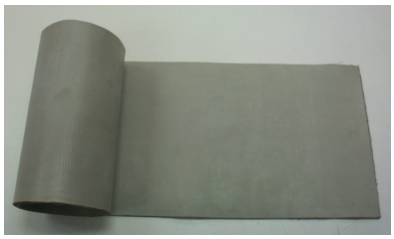
รูปที่ 3.4 ทิศทางการวางตัวของเส้นใยในแนว $0^{o}/90^{o}$



รูปที่ 3.5 ทิศทางการวางตัวของเส้นใยในแนว $\pm 45^{\circ}$

3.4.14 การผลิตถุงบรรจุน้ำ

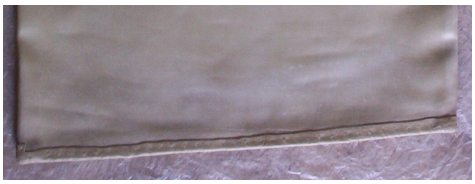
1. ทำการเคลือบยางคอมเปาด์ลงบนผ้าใบไนลอนขนาด 40 × 120 cm ด้วยเครื่องรีดยาง 3 ลูกกลิ้ง โดยเคลือบทั้งสองด้านของผ้าใบ หลังจากเคลือบยางลงบนเสร็จแล้วทา ทัลคัมป้องกันแผ่นยางติดกัน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะแผ่นผ้าใบที่เคลือบด้วยยางแล้ว

2. พับแผ่นยางด้านหัวท้ายประกบเข้าหากัน แล้วกำจัดทัลคัมบริเวณตะเข็บด้านข้างด้วยโทลูอีนเพื่อให้ยางคอมปาวด์มีสมบัติเหนียวติด แล้วทำการเย็บด้านข้างทั้งสองด้วยด้ายไนลอน ยกเว้นด้านท้ายไม่ต้องเย็บแล้วเจาะรูด้านบน จากนั้นเอาแผ่นยางคอมปาวด์ปะทับรอยเย็บ เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

รูปที่ 3.7 พับแผ่นยางเข้าหากันแล้วเย็บด้านข้างด้วยด้ายไนลอน



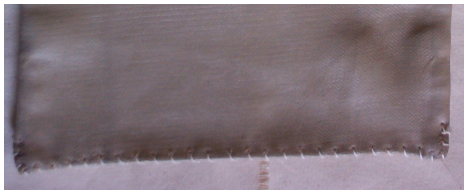
รูปที่ 3.8 ซีลรอยเย็บด้วยยางคอมปาวด์

3. กลับด้านให้ตะเข็บรอยเย็บอยู่ด้านใน ประกอบชุดฝาเข้ากับรูที่เจาะด้านบน โดยสวมแกนเกลียวจากด้านท้ายเข้ากับรูที่เจาะด้านบน ใส่แหวนรอง จากนั้นขันน๊อตยึดแกนเกลียวให้ติดกับแผ่นยางแล้วปิดฝาเกลียวดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

รูปที่ 3.9 ชุดฝาปิดประกอบด้วย ฝาเกลียว น๊อต แกนเกลียว และ แหวน

รูปที่ 3.10 กลับด้านให้ตะเข็บอยู่ด้านในแล้วประกอบชุดฝา

4. ทำความสะอาดบริเวณตะเข็บด้านท้ายด้วยโทลูอีน ใช้ยางคอมปาวด์ซีลด้านในระหว่างแผ่นยางบน-ล่าง เย็บด้านท้ายด้วยด้ายไนลอน จากนั้นใช้ยางคอมปาวด์ปะทับรอยเย็บดังรูปที่ 3.11 และ 3.12

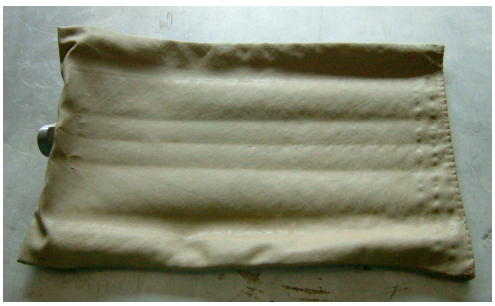


รูปที่ 3.11 เย็บด้านท้ายด้วยด้ายไนลอน

รูปที่ 3.12 ปะทับรอยเย็บด้านท้ายด้วยยางคอมปาวด์

5. วัลคาไนซ์ถุงบรรจุน้ำด้วยหม้ออบไอน้ำที่ความดัน 3 bar เวลา 20 min (ที่ความดัน 3 bar อุณหภูมิประมาณ 145 ^{o}C) ลักษณะของถุงบรรจุน้ำก่อนอบและหลังอบ ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14

รูปที่ 3.13 ลักษณะของถุงเก็บน้ำก่อนอบ



รูปที่ 3.14 ลักษณะของถุงเก็บน้ำหลังอบ