

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ถาดสแตนเลสขนาด 40x50x2 เซนติเมตร
2. ชุดเครื่องกวนใบพัดทะเลลอนปรับอัตราเร็วรอบได้
3. เครื่องมือทดสอบสมบัติยางดิบ ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยยาง
4. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง Universal testing machine LLOYD LR 5K
5. เครื่อง Gel permeation chromatography (GPC) Shimadzu class VP
6. เครื่องบดผสมแบบเปิด ชนิด 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x ความยาวลูกกลิ้งเป็น 8 x 12 นิ้ว
7. เครื่องอัดยางคงรูป (Hydrolic Press) ขนาดของแท่นอัด 20 x 20 นิ้ว แรงอัด 0.175 ตันต่อตารางนิ้ว

#### 3.2 ตัวอย่างและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำยางสด จาก จ.ระยอง
2. น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ มีเนื้อยาง 60% จากบริษัท ไทยรับเบอร์แอนดราเทค จำกัด (องค์ประกอบแสดงในภาคผนวก ก)
3. ไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) (Univar)
4. โพรพิลีน ไกลคอล (บริษัท กิมฮวด จำกัด)
5. ออกาซาน DP300 (ชื่อการค้า) (บริษัท กิมฮวด จำกัด)

#### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสูตรผลิตยางแผ่นชนิดใหม่ที่มีคุณภาพ โดยนำน้ำยางชั้นเข้ามาผสมกับน้ำยางสด ศึกษาผลของปริมาณน้ำยางชั้นและสารควบคุมความหนืดต่อสมบัติของยางแผ่นดิบที่ได้ ศึกษาสมบัติกายภาพ และการกระจายตัวของมวลโมเลกุล ทั้งนี้ศึกษาตัวแปร 3 ตัว คือ

- (1) อัตราส่วนน้ำยางชั้นต่อน้ำยางสด คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 phr (parts per hundred of rubber)
- (2) ปริมาณสารควบคุมความหนืด 1 (ไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์) คือ 0, 0.1 phr
- (3) ปริมาณสารควบคุมความหนืด 2 (โพรพิลีน ไกลคอล) คือ 0, 0.1 phr

โดยการกำหนดสัญลักษณ์ของตัวอย่างยางแห้ง จะแสดงเป็นตัวย่อเช่น NR 10 หมายถึง ตัวอย่างยางแห้งไม่ได้ใส่สารเคมี มีปริมาณน้ำยางชั้น 10 phr และ ปริมาณน้ำยางสด 90 phr รายละเอียดของสัญลักษณ์แสดงดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 การกำหนดสัญลักษณ์ของสารเคมีที่ผสมในตัวอย่างยางแห้ง

สัญลักษณ์	ตัวอย่างยางแห้ง
NR	ตัวอย่างยางแห้งไม่ได้ใส่สารเคมี
CV-NR	ตัวอย่างยางแห้งเติมสารไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์
NR-P	ตัวอย่างยางแห้งเติมสาร โพรพิลีน ไกลคอล
CV-NR-P	ตัวอย่างยางแห้งเติมสารสองชนิด

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการกำหนดสัญลักษณ์ของอัตราส่วนผสมน้ำยางชั้นกับน้ำยางสด

สัญลักษณ์	ตัวอย่างยางแห้ง	ปริมาณน้ำยางชั้น	ปริมาณน้ำยางสด
NR 0	ไม่ได้ใส่สารเคมี	0	100
NR 10	ไม่ได้ใส่สารเคมี	10	90
NR 20	ไม่ได้ใส่สารเคมี	20	80
NR 30	ไม่ได้ใส่สารเคมี	30	70
NR 40	ไม่ได้ใส่สารเคมี	40	60
NR 50	ไม่ได้ใส่สารเคมี	50	50
NR 60	ไม่ได้ใส่สารเคมี	60	40
NR 70	ไม่ได้ใส่สารเคมี	70	30
NR 80	ไม่ได้ใส่สารเคมี	80	20
NR 90	ไม่ได้ใส่สารเคมี	90	10
NR 100	ไม่ได้ใส่สารเคมี	100	0

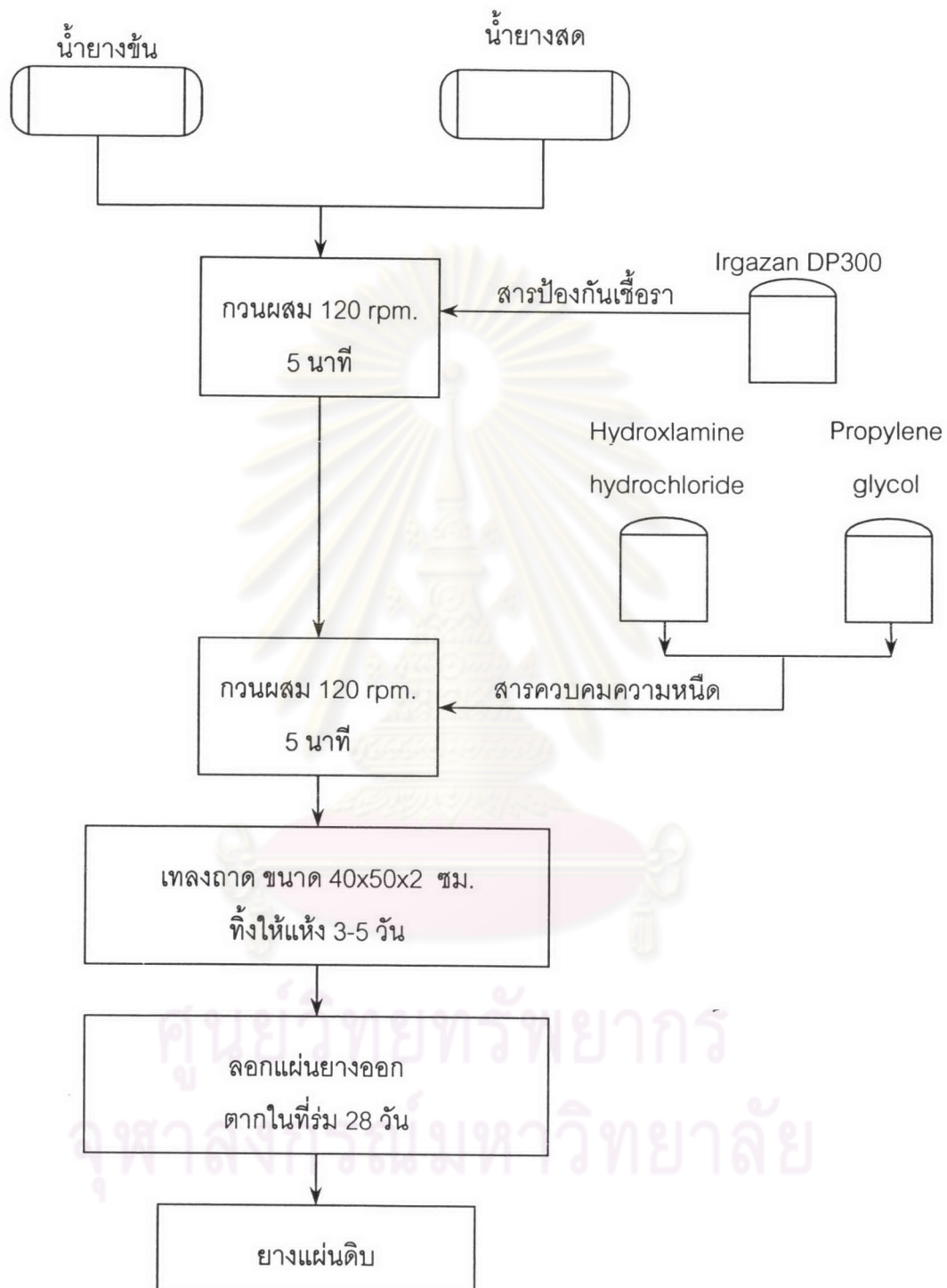
### 3.4 ขั้นตอนการวิจัย

#### การเตรียมน้ำยางและสารเคมี

1. กรองน้ำยางข้นและน้ำยางสดด้วยตะแกรงถี่ เพื่อแยกตะกอนและสิ่งสกปรก แยกเก็บไว้ในภาชนะปิดสนิท แช่น้ำยางในตู้เย็นรักษาอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส
2. ละลายสารไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1% น้ำหนักต่อปริมาตร
3. ละลายสารเออกาซาน DP300 ด้วยเอทานอล อัตราส่วน 1% น้ำหนักต่อปริมาตร
4. ละลายสารโพพิลีน ไกลคอล ด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1% ปริมาตรต่อปริมาตร

#### การเตรียมตัวอย่างยางแห้ง

1. ชั่งน้ำยางข้นและน้ำยางสดตามอัตราส่วน (การคำนวณอัตราส่วนผสมแสดงในภาคผนวก ข) เทลงในภาชนะขนาด 4 ลิตร กวนด้วยเครื่องกวน ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
2. เติมสารละลายเออกาซาน DP300 ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรขณะกวน
3. หากต้องการเตรียมตัวอย่างยาง CV-NR ให้เติมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรขณะกวน
4. หากต้องการเตรียมตัวอย่างยาง NR-P ให้เติมสารละลายโพพิลีน ไกลคอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตรขณะกวน
5. หากต้องการเตรียมตัวอย่างยาง CV-NR-P ให้เติมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรและสารละลายโพพิลีน ไกลคอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตรขณะกวน
6. กวนด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไปอีก 5 นาที เทน้ำยางลงบนถาด ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (20-30 องศาเซลเซียส) เริ่มจับเวลาอย่างแห้ง
7. เมื่อยางแห้งสามารถลอกออกเป็นแผ่นได้ บันทึกเวลาอย่างแห้ง จากนั้นนำยางตากในที่ร่มเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เก็บยางชั้นทับเป็นชั้นคั่นตัวอย่างยางด้วยแผ่นพลาสติก



รูปที่ 3.1 แผนผังการผลิตยางแผ่นดิบสำหรับงานวิจัย

## การทดสอบ

### 1. การทดสอบหาสิ่งสกปรก (Dirt content) [15]

สิ่งสกปรก หมายถึง ปริมาณสารที่ได้จากการกรองด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช หรือ 44 ไมครอน สารที่กรองได้ประกอบด้วยเศษดิน เปลือกไม้ และใบไม้ เป็นต้น โดยปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกที่มีในยางมีความสำคัญต่อการแปรรูปและคุณภาพของยางเป็นอย่างมาก

เครื่องมือ :

1. ขวดรูปชมพู่
2. เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 200 องศาเซลเซียส
3. ถ้วยกรองทำด้วยสแตนเลส รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 2-3 มิลลิเมตร สูง 13 มิลลิเมตร มีตะแกรงขนาดรู 325 เมช หรือ 44 ไมครอน น้ำหนักของถ้วยกรองรวมแผ่นตะแกรงประมาณ 15 กรัม

4. เต้าไฟฟ้า ขนาด 1500 วัตต์
5. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
6. เต้าอบ
7. เครื่องทำความสะอาดถ้วยกรอง (Ultrasonic cleaning kit)
8. กระดาษกรองเบอร์ 1 และกรวยพลาสติก

สารเคมี :

1. น้ำมันสน (Turpentine)
2. สารเร่งการละลาย (Peptizing Agent: RPA 3 (Xylyl mercaptan))

วิธีทดสอบ :

1. นำตัวอย่างยางที่บดผสมไว้แล้วประมาณ 15 กรัม มาผ่านลูกกลิ้งหนา 0.013 นิ้วจำนวน 2 ครั้ง แบ่งยาง 10 กรัม (ชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร มีน้ำมันสน 250 มิลลิลิตร และสารเร่งการละลาย 1 มิลลิลิตร
2. ละลายยางโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส (ให้ยกขวดละลายยางแกว่งบ่อยๆ เพื่อให้สารละลายภายในหมุนเวียนและละลายเร็วขึ้น) ใช้เวลาละลายยางประมาณ 0.5 – 2 ชั่วโมง
3. กรองสารละลายยางขณะร้อนโดยเทสารละลายยางผ่านกระดาษกรองที่สะอาด ทราบน้ำหนักแน่นอน ขณะเทให้ให้ผงในขวดละลายยางหมด ให้ใช้น้ำมันสนที่ร้อน 30-50

มิลลิลิตร ล้างขวดละลายยาง 2 ครั้ง แล้วตะแคงขวด ฉีดด้วยน้ำมันเย็นเพื่อล้างผงออกให้หมด แล้วจึงใช้น้ำมันร้อนล้างรอบๆของภายในที่กรองอีกครั้ง

4. อบผงให้แห้งที่ 90-100 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ประมาณ 30 นาที แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดความถูกต้อง 0.1 มิลลิกรัม

การคำนวณ :

$$\% \text{ สิ่งสกปรก} = \frac{\text{น้ำหนักผงสกปรก}}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบ}} \times 100$$

2. การทดสอบหาปริมาณซีเถ้า (Ash content) [15]

ซีเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในยาง เป็นสารพวกเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) พวกฟอสเฟตของโปแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียมและธาตุอื่นๆ นอกจากนี้ อาจเป็นพวกซิลิกา หรือ ซิลิเกตในยาง รวมทั้งเกิดจากการปะปนจากภายนอก

เครื่องมือ :

1. ครูซิเบล ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เตาอบความร้อนสูง
3. กระจกครอบชนิดไม่มีเถ้า
4. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
5. เดสซิเคเตอร์

วิธีทดสอบ :

1. ตัดยางที่บดผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว 5-10 กรัม (ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)
2. ห่อขึ้นยางด้วยกระจกครอบ ใส่ในครูซิเบลที่รู้น้ำหนักแน่นอน (ก่อนนำครูซิเบลไปใช้ต้องนำไปเผาให้ร้อนแดง ทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)
3. นำถ้วยครูซิเบลที่ใส่ยางไปเผาในเตา ที่อุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $530 \pm 20$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ต่อจากนั้นทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำมาชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

การคำนวณ :

$$\% \text{ ASH} = \frac{(A + B + C)}{D} \times 100$$

D

กำหนดให้ A : น้ำหนัก เถ้า + ถ้วยครูซิเบล (กรัม)

B : น้ำหนักถ้วยครูซิเบล (กรัม)

C : น้ำหนักเก่าของกระดาษกรอง (กรัม)

D : น้ำหนักยางก่อนทดสอบ (กรัม)

3. การทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content) [16]

ไนโตรเจนในยางดิบจะอยู่ในรูปของโปรตีน ดังนั้นปริมาณของไนโตรเจนจึงเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของโปรตีนในยาง ปริมาณของไนโตรเจนขึ้นกับชนิดของโปรตีนด้วย

สูตรที่ใช้คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากปริมาณไนโตรเจนคือ

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = 6.25 \times \text{ปริมาณไนโตรเจน}$$

ปริมาณของโปรตีนที่คำนวณนี้ไม่ได้เป็นตัวเลขที่เจาะจงแน่นอนจนถึงปริมาณโปรตีนในยางตัวอย่าง เช่นในยางสกิมซึ่งได้จากการเซนตริฟิวจ์แยกน้ำยางชั้นออก จะพบว่าปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าน้ำยางปกติ หลักการหาปริมาณโปรตีนจากไนโตรเจน ด้วยวิธี Semi-micro Kjeldahl คือนำยางดิบที่ทราบน้ำหนักมาออกซิไดซ์ในกรดกำมะถันและสารเร่งปฏิกิริยาโดยการใช้ความร้อน ไนโตรเจนในยางจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไฮโดรเจนซัลเฟต ปรับสารละลายให้เป็นด่าง นำไปกลั่นจะได้ก๊าซแอมโมเนีย จับก๊าซนี้ด้วยกรดบอริก แล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป วิธีนี้ไม่สามารถหาปริมาณไนโตรเจนได้ทั้งหมด เพราะกรดกำมะถันและสารตัวเร่งไม่ย่อยสลายสารประกอบพวกไนโตรเจนที่อยู่ในสภาพ N-O, N-N ได้ สารเหล่านี้ได้แก่ สารพวก Nitro compound, Nitroso หรือ Hydrazine เป็นต้น ยางที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้สารเคมีในยางเกิดปฏิกิริยาเร็ว

เครื่องมือ :

1. ชุด Micro-Kjeldahl digestion and distillation
2. บิวเรตและปิเปต
3. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
4. เต้าไฟฟ้า ขนาด 1500 วัตต์

สารเคมี :

1. กรดกำมะถันเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน เข้มข้น 0.1 นอร์มัล
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล
4. สารละลายกรดบอริก 2% น้ำหนักต่อปริมาตร
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67% น้ำหนักต่อปริมาตร

6. สารเร่งปฏิกิริยา (ประกอบด้วย  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  2 ส่วน  $\text{K}_2\text{SO}_4$  15 ส่วน Se 1 ส่วน)

7. สารละลายเมทธิลเรด 0.15% น้ำหนักต่อปริมาตร (ประกอบด้วย เมทธิลเรด 0.1 กรัม เมทธิลบลู 0.05 กรัม เอทานอล 100 มิลลิลิตร)

8. สารละลายเมทธิลออเรนจ์ 0.1% น้ำหนักต่อปริมาตร

วิธีทดสอบ :

1. ชั่งยงน้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม ใส่ใน Micro-Kjeldahl flask เติมส่วนผสมสารเร่งปฏิกิริยา 0.65 กรัม กรดกำมะถัน 2.5 มิลลิลิตร

2. ให้ความร้อนจนกระทั่งสารละลายสีเขียว(หรือไม่มีสี) ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และต้องไม่มีสีเหลืองอ่อนปนหรือเหลืองอยู่

3. ตั้งทิ้งให้เย็น แล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

4. เทสารละลาย ใส่ในเครื่องกลั่นซึ่งเตรียมผ่านไอน้ำให้ร้อนไว้แล้ว 30 นาที ล้างภาชนะด้วยน้ำกลั่น 2-3 มิลลิลิตร ประมาณ 2-3 ครั้ง

5. นำขวดแก้วรูปชมพู่ บรรจุกรดบอริก 10 มิลลิลิตรและสารละลายเมทธิลเรด 2-3 หยดมารับสารที่กลั่นได้(ให้ปลายหลอดแก้วจุ่มลงในสารละลาย)

6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67% 10 มิลลิลิตร ลงในเครื่องกลั่น แล้วล้างด้วยน้ำไม่เกิน 5 มิลลิลิตร

7. ปล่อยให้ไอน้ำเข้าเครื่องกลั่นสาร เป็นเวลา 5 นาที

8. เลื่อนขวดแก้วรูปชมพู่ที่รองรับสารที่กลั่น ให้ปลายหลอดอยู่เหนือสารละลายกลั่นต่อไป 1 นาที แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างปลายหลอดแก้ว

9. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน เข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนได้จุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นม่วง

10. ทำการทดลอง Blank ตามวิธีทดสอบเดิมโดยไม่ใส่ตัวอย่าง  
การคำนวณ :

$$\% N = \frac{(V_1 - V_2)N \times 0.0140}{W} \times 100$$

กำหนดให้  $V_1$  : ปริมาตรกรดกำมะถันที่ใช้ในการไตเตรตสิ่งทีกลั่น (มล.)

$V_2$  : ปริมาตรกรดกำมะถันที่ใช้ในการไตเตรต Blank (มล.)

N : ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน (นอร์มัล)

W : น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)



4. การทดสอบหาปริมาณสิ่งระเหย (Volatile matter content : VM) [15]

สิ่งระเหยได้ในยาง หมายถึง ความชื้นที่มีอยู่ในยาง ถ้าปริมาณความชื้นในยางสูง ยางจะขึ้นราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

เครื่องมือ :

1. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
2. ถุงโพลีทีน (กว้าง 4 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว หนา 0.06 มิลลิเมตร)
3. ภาดอลูมิเนียม (6.5 x 14 x 1.5 นิ้ว) บุด้วยตะแกรง 7 เมช
4. ที่หนีบถุง
5. เต้าอบ
6. เดสซิเคเตอร์

วิธีทดสอบ :

1. ชั่งยางที่เตรียมไว้ น้ำหนักแน่นอน 10 กรัม  $\pm$  0.1 มิลลิกรัม
2. บดยางด้วยลูกกลิ้ง (ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตร)
3. วางตัวอย่างยางขึ้นทดสอบบนภาดอลูมิเนียม วางซ้อนกันไม่เกิน 7 ภาด
4. อบยางที่อุณหภูมิ 100 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำยางออกจากเต้า นำยางใส่ถุงโพลีทีน พับปากถุง 3 ทบ พับกลางอีกครั้ง แล้วหนีบแขวนไว้บนราว (การใส่ยางในถุง ควรใช้เวลาทั้งหมดไม่เกิน 1½ นาที ในภาดหนึ่งๆ)
6. ปล่อยางในถุงให้เย็นโดยวางในเดสซิเคเตอร์เป็นเวลา 30 นาที
7. นำยางไปชั่งละเอียด

การคำนวณ :

$$\% \text{ VM} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

กำหนดให้ A : น้ำหนักตัวอย่างยางก่อนอบ (กรัม)

B : น้ำหนักตัวอย่างยางหลังอบ (กรัม)

5. การทดสอบหาความอ่อนตัวเริ่มต้นและดัชนีความอ่อนตัวของยาง (Original Wallace Plasticity and Plasticity Retention Index : Po และ PRI) [17],[18]

ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นของยาง (Po) เป็นค่าที่ใช้ประมาณขนาดโมเลกุลของยาง ยางที่มีค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นสูงแสดงว่ายางมีขนาดโมเลกุลของยางสูง [19] (ยางที่ถูกออกซิไดซ์มากจะนิ่ม มีค่าค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นต่ำ) ส่วนค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง เป็นค่าที่แสดงว่า

ยางที่ทดสอบนั้นมีความต้านทานต่อการออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (กรณียางมีค่าดัชนีความอ่อนตัวสูง โมเลกุลของยางจะทนการถูกออกซิไดส์) หรือเป็นการแสดงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักของโมเลกุลยางที่อุณหภูมิสูง

เครื่องมือ :

1. เครื่อง Wallace rapid plastimeter
2. เครื่อง Wallace steam generator
3. เครื่อง Wallace punch
4. เตอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่  $140 \pm 0.5$  องศาเซลเซียสตลอดเวลา

เมื่อเปิดฝาตู้แล้วอุณหภูมิต้องกลับไปอยู่ระดับเดิมภายใน 6 นาที

วิธีทดสอบ :

1. ตัดตัวอย่างยางที่บิดเป็นเนื้อเดียวกันมา  $20 \pm 5$  กรัม
2. ริดยางผ่านเครื่องบิด 2 ครั้งที่อุณหภูมิห้อง โดยปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 1.65 มิลลิเมตร
3. พับแผ่นยางเป็น 2 ทบโดยกดเบาๆ ให้ได้ความหนา 3.2-3.6 มิลลิเมตร
4. ตัดชิ้นทดสอบยาง 6 ชิ้นด้วยเครื่องตัด
5. เก็บชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นเพื่อทดสอบหาความอ่อนตัวเริ่มต้นของยาง ( $P_0$ ) และชิ้นทดสอบที่เหลืออีก 3 ชิ้น เพื่อนำมาทดสอบหาค่า  $P_{30}$
6. นำยางชิ้นทดสอบมาอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (อุณหภูมิต้องคงที่ก่อนใส่ยางเข้าเตอบเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาทีและเริ่มจับเวลาหลังจากใส่ยางแล้ว 6 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของยางและเตอบคงที่ด้วย)
7. เมื่อครบเวลา 30 นาทีแล้ว ทิ้งยางให้เย็นเป็นเวลา 30 นาทีจึงทำการทดสอบ
8. นำชิ้นยางปิดด้วยกระดาษมวนวนหรือใส่เครื่องทดสอบ
9. ยกแขนปิดเครื่อง โดย 15 วินาทีแรก แท่งโลหะกลมบน-ล่างจะกดยางให้หนา 1 มิลลิเมตรและอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้น 15 วินาทีหลัง เครื่องจะกดยางด้วยแรง  $10 \pm 0.1$  กิโลกรัมโดยอัตโนมัติ ความหนาของชิ้นยางที่วัดได้ มีความถูกต้อง อ่านได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตรเป็นค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางที่ทำการทดสอบ

การคำนวณ :

$$PRI = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100$$

กำหนดให้  $P_0$  : เป็นค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดเริ่มแรก  
 $P_{30}$  : เป็นค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่หลังอบ

#### 6. การทดสอบหาสียาง [20]

ยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางมีการจัดชั้นซึ่งระบุในการจัดมาตรฐานชั้นยาง โดยการเปรียบเทียบความเข้มของสียางด้วยสีของมาตรฐานโลวิบอนด์ (Lovibond) เช่น ความเข้มของสียางต่ำกว่าสีของโลวิบอนด์เบอร์ 6 แสดงว่าเป็นยางแท่งชั้น STR 5L หากความเข้มของสียางมีค่ามากกว่าสีมาตรฐานโลวิบอนด์เบอร์ 6 แสดงว่ายางที่ผลิตได้จัดเป็นยางแท่งชั้น STR 5 เป็นต้น ส่วนยางแท่งที่ผลิตจากยางก้อนจับตัวไม่จำเป็นจะต้องตรวจสอบคุณภาพของสียาง

เครื่องมือ :

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย ตัวอย่างยางชั้นทดสอบที่จะใช้เปรียบเทียบสีติดอยู่ในเบ้าพิมพ์ แถบสีมาตรฐานโลวิบอนด์ และแผ่นพลาสติกซึ่งทำเป็นกล่องสำหรับวางเบ้าพิมพ์ และแผ่นเทียบสีมาตรฐาน

การเตรียมชั้นทดสอบ :

ชั้นทดสอบสำหรับเปรียบเทียบสีมาตรฐานโลวิบอนด์ เตรียมโดยนำยางแผ่นดิบความหนาตามมาตรฐาน (ประมาณ 3.2-3.6 มิลลิเมตร) มาทำเครื่องและตัดยางด้วยกรรไกรให้ได้ขนาดแล้วนำมาอัดด้วยเบ้าชั้นทดสอบมาตรฐาน ความร้อนที่ใช้อัดเบ้าพิมพ์ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 0.5-1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัดยางเป็นเวลา 2-3 นาที

วิธีทดสอบ :

แกะแผ่นอัดชั้นทดสอบมาตรฐานออกแล้วนำยางชั้นทดสอบที่อัดติดอยู่ที่เบ้าสแตนเลส มาวางตรงตำแหน่งเครื่องสำหรับเปรียบเทียบสีกับสีมาตรฐานโลวิบอนด์ อ่านค่าเบอร์สีมาตรฐานโลวิบอนด์ที่เปรียบเทียบตรงตำแหน่งเล็กๆทางขวามือของเครื่องที่กำหนดให้

#### 7. การทดสอบหาความหนืด [21],[22]

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพของยาง โดยความหนืดของยางจะสัมพันธ์กับขนาดของโมเลกุลยาง ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดสูงด้วย

เครื่องมือ :

เครื่องทดสอบความหนืดของยางแห้ง มีชื่อเรียกว่ามูนี่ วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐานสากล ASTM D166-94 และ ISO R 289-1963 สามารถเลือกใช้อุณหภูมิช่วงทดสอบ เช่น 70, 85, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250

องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความต้องการวัดค่าความหนืดของยางดิบประเภทยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์

ขึ้นยางทดสอบจะใส่อยู่ระหว่างจานโลหะในห้องใส่ยาง อัดยางด้วยแรงกดเท่ากับ  $11,500 \pm 500$  นิวตัน จานโลหะจะหมุนเพื่อเจียนยางซึ่งอยู่ในห้องใส่ยาง ด้วยความเร็วคงที่ 2 รอบต่อนาที แรงบิด (torque) ที่เจียนยางกับจานโลหะจะแสดงค่าความหนืดของยาง

ตามมาตรฐานเครื่องทดสอบ กำหนดให้แรงบิดที่ใช้ขนาด  $8.3 \pm 0.2$  นิวตันเมตรมีค่าความหนืดเทียบเท่ากับ 100 หน่วยมูนี่ (MV scale) [19]

วิธีทดสอบ :

1. ตั้งอุณหภูมิของเครื่องทดสอบให้คงที่เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส พร้อมกับอุ่นจานหมุนโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบ
2. เตรียมยางขึ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร
3. ใส่ยางขึ้นทดสอบระหว่างจานหมุนโลหะ แล้ววางตรงตำแหน่งของห้องทดสอบ
4. ใช้ความดันลมอัดยางขึ้นทดสอบ อุ่นยางเป็นเวลา 1 นาที
5. อ่านค่าความหนืดของยาง ที่เวลาเดินเครื่อง 4 นาที

การบันทึกค่าความหนืดยางมีดังนี้ :

$$\text{ความหนืด} = 50M L (1'+4') 100^{\circ}\text{C}$$

กำหนดให้ 50M : ค่าความหนืด (Mooney viscosity) ของยางที่อ่านได้

L : จานหมุนโลหะตัวใหญ่

1' : เวลาเป็นนาทีที่ใช้อุ่นยาง

4' : เวลาเป็นนาที ที่ใช้ทดสอบและอ่านค่าความหนืด

$100^{\circ}\text{C}$  : อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ

หมายเหตุ : การวัดค่าความหนืดยาง จำต้องมีการตรวจทานมาตรฐาน (Calibration) ก่อนเสมอ

8. การทดสอบหาปริมาณยางแห้ง (dry rubber content, DRC)

วิธีทดสอบ :

1. ชั่งน้ำยาง 10 กรัมใส่ปิกรเกอร์ 100 มิลลิลิตร ใส่ น้ำกลั่น 10-20 มิลลิลิตร
2. เติม 6% กรดอซิติก ปริมาตร 15-30 มิลลิลิตรเพื่อให้ยางจับตัว

3. หลังจากยางจับตัว นำก้อนยางรีดน้ำออก และอบที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนกระทั่งยางแห้ง (ประมาณ 16 ชั่วโมง) ซึ่งน้ำหนักยางแห้ง

4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ :

$$\%DRC = \frac{\text{น้ำหนักยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำยาง}} \times 100$$

9. การทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาด[23]

การบดยางให้นิ่ม :

การบดยางให้นิ่มคือ การทำให้ยางซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกิดการฉีกขาดของสายโมเลกุลมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง การบดยางให้นิ่ม เป็นวิธีการสำคัญและมักใช้กับยางธรรมชาติ เพราะยางธรรมชาติมีความหนืดสูงหรือแข็งมากเกินไปที่จะให้สารเคมีต่างๆ กระจายเป็นเนื้อเดียวกันได้ เป็นการปรับค่าความหนืดของยางที่นำมาผสมกันให้มีค่าใกล้เคียงกัน กลไกของการบดยางให้นิ่มคือ ขณะที่ทำการบดยาง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะทำให้สายโมเลกุลยาวและเกิดเรดิเคิลที่ปลายสายโมเลกุลที่ขาดออก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงและความหนืดลดลงด้วย

การบดยางกับสารเคมี :

เครื่องมือที่ใช้บดผสมยางกับสารเคมีคือ เครื่องบดผสมแบบเปิด ชนิด 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) การบดเริ่มด้วยการใส่ชิ้นยางในช่องว่างระหว่างสองลูกกลิ้ง ในตอนแรกจะมียางร่วงตกลงมาบนถาดรองรับได้ลูกกลิ้งได้ เมื่อบดต่อไปยางที่พื้นลูกกลิ้งจะเริ่มเรียบขึ้น ควรคำนึงถึงอุณหภูมิของลูกกลิ้ง ควรปรับตั้งให้มีค่าเหมาะสมกับสารเคมี และช่องว่างของลูกกลิ้งควรปรับให้มีความเหมาะสมกับปริมาณยางที่จะบด โดยในการทดลองจะผสมที่อุณหภูมิ  $70$  องศาเซลเซียส และช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยสูตรผสมสารเคมีกับยางในอัตราส่วนดังนี้

ตัวอย่างยางแห้ง	100	phr
stearic acid	2.0	phr
ZnO	5.0	phr
Sulfur	1.3	phr
TBBS	1.3	phr

การขึ้นรูปยางทำให้ยางเกิดการคงรูป:

โดยใช้เครื่องอัดยางคงรูป (Hydraulic press) ใช้แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที การทำให้ยางคงรูปโดยวิธีการอัดเป็นวิธีที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ยางประเภทที่ต้องใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โดยวางแม่พิมพ์ลงบนแท่นของเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก

การเตรียมชิ้นทดสอบ :

การทดสอบหาความสามารถในการรักษาสภาพของยางเมื่อถูกแรงกระทำซึ่งโดยทั่วไปมีหลายวิธีในที่นี้ใช้วิธีหาความต้านทานแรงดึง(Tensile strength) และความยืดเมื่อขาด (Elongation at break) โดยชิ้นทดสอบนั้นต้องผ่านการขึ้นรูปโดยทำให้ยางเกิดความคงรูปเป็นแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นยางที่ได้มาตัดด้วยเครื่องตัดยางเป็นรูปดัมเบลล์

วิธีทดสอบ :

ตัวอย่างชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ 5 ตัวอย่าง วัดความหนาสามจุดที่กึ่งกลางรูปดัมเบลล์ และที่ระยะห่างซ้ายขวา 1.25 เซนติเมตรจากจุดกึ่งกลางโดยไมโครมิเตอร์ ปลายของชิ้นทดสอบถูกจับกับที่จับของตัวเครื่องทดสอบ Universal testing machine LLOYD LR 5K ชิ้นทดสอบถูกดึงที่อัตราเร็ว 500±50 มิลลิเมตรต่อนาทีจนขึ้นยางขาด ค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดถูกบันทึกโดยเครื่อง



รูปที่ 3.2 เครื่อง Universal testing machine LLOYD LR 5K

## 10. การทดสอบหามวลโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายตัวของมวลโมเลกุล[24]

เครื่องมือ :

1. บีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องเขย่าสาร
5. เครื่อง Gel permeation chromatography (GPC) Shimadzu class VP

สารเคมี :

1. เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เกรด HPLC

วิธีทดสอบ :

1. ชั่งตัวอย่างยาง 0.04 กรัมละลายใน เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เขย่าสารทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง
2. กรองสารละลายตัวอย่างโดยใช้กระดาษกรองรพูน 0.45 ไมโครเมตร เก็บสารละลายที่กรองได้ในหลอดเก็บปริมาตร 1 มิลลิลิตร
3. วิเคราะห์มวลโมเลกุลและการกระจายตัวของมวลโมเลกุลของสารละลายตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Shimadzu class VP คอลัมน์ GPC

สภาวะในการวิเคราะห์

อุณหภูมิคอลัมน์	40	องศาเซลเซียส
ความดันระบบ	85	บาร์
อัตราเร็วสารเคลื่อนที่(THF)	1	มิลลิลิตรต่อนาที
ปริมาตรฉีดตัวอย่าง	0.1	มิลลิลิตร
เครื่องตรวจวัด	Refractive index detector	

คำนวณมวลโมเลกุลและการกระจายตัวของมวลโมเลกุลของสารโดย

โปรแกรม GPC class VP



รูปที่ 3.3 เครื่อง Gel permeation chromatography (GPC) Shimadzu class VP

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย