

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมแบบปิดบราเบนเคอร์

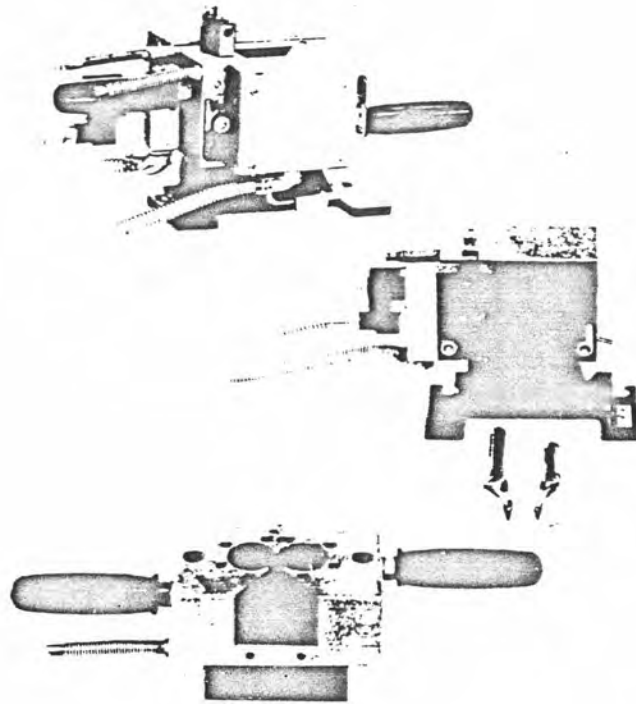
เครื่องบราเบนเคอร์ เป็นเครื่องมือทดสอบที่ติดตั้งหัวผสม ประกอบด้วยโรเตอร์ ซึ่งมีรูปร่างซับซ้อนหนึ่งคู่ หมุนเข้าหากันอยู่ภายในห้องผสม ดังรูปที่ 3.1 ห้องผสมสามารถควบคุมอุณหภูมิได้โรเตอร์ทั้งคู่ขับเคลื่อนโดยไดนาโมมิเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง

การวัดแรงบิดสามารถทำได้เป็นการวัดแรงที่วางกระทำกับโรเตอร์ โดยระบบคานที่ต่อกับไดนาโมมิเตอร์ แล้วจึงแปลงสัญญาณเข้าเครื่องบันทึกกราฟต่อไป ส่วนอุณหภูมิภายในห้องผสมสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ที่ฝังอยู่ในห้องผสม

เครื่องบราเบนเคอร์นี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ผสมยางกับสารเคมี โดยมีปริมาตรห้องผสมประมาณ 80 มิลลิลิตร สามารถผสมยางได้ครั้งละ 60-70 กรัม ในการผสมยางสูตรทดลองที่ใช้ในการวิจัยนี้ ทำโดยใช้ภาวะดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการผสมยางและสารเคมี ยกเว้นสารเชื่อมโชนงและสารเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เวลาการผสม 7 นาที ใช้ความเร็วโรเตอร์ 40 รอบต่อนาที จากนั้นนำยางออกมาทำให้เย็นตัวจนมีอุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการผสมสารเชื่อมโชนงและสารเร่งปฏิกิริยา เข้ากับยางจากขั้นตอนที่ 1 โดยใช้เวลาในการผสม 2 นาที ใช้ความเร็วโรเตอร์ 40 รอบต่อนาที จากนั้นนำยางออกมาทำให้เย็นตัวจนมีอุณหภูมิห้อง

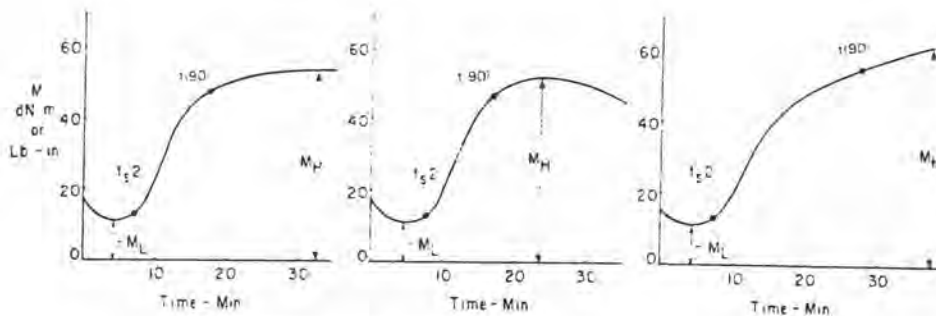


รูปที่ 3.1 เครื่องบราเบนเดอร์

2. เครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น

เครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น มีหลักการทำงานคือนำตัวอย่างยางที่ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วใส่ในห้องใส่ยางที่ปิดสนิท ใช้ความดันกดยางให้อยู่ในช่องนั้น รักษาอุณหภูมิของห้องทดสอบให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนดในการทดสอบ ภายในห้องทดสอบมีจานโลหะรูปกรวยป้านสองด้านประกบกันอยู่ จานโลหะดังกล่าวถูกห่อหุ้มด้วยยางตัวอย่างที่ใส่เข้าไป จานโลหะนี้จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา 1 หรือ 3 องศา กลับไปกลับมามาตามแนวแกนตั้ง การหมุนเช่นนี้ก่อให้เกิดแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่างยาง แรงที่ต้องใช้ในการหมุนจานโลหะในตำแหน่งสูงสุด ขึ้นกับความแข็งหรือค่าโมดูลัสเฉือน (shear modulus) ของตัวอย่างยางนั้น แรงบิดดังกล่าวแสดงผลบันทึกตามเวลาที่ผ่านไป ความแข็งของยางจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในระหว่างการวัลคะไนซ์ การทดสอบถือว่าสิ้นสุดเมื่อแรงบิดที่บันทึกได้ถึงสมดุล หรือจุดสูงสุด หรือถึงเวลาที่กำหนดไว้ เวลาดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมสารเคมีในยางเอง และอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ

ลักษณะของรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับยางทั้งหมดสามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบดังแสดงในรูป



Left Curve: Cure to Equilibrium Torque.
 Middle Curve: Cure to a Maximum Torque with Reversion
 Right Curve: Cure to No Equilibrium in Maximum Torque.

รูปที่ 3.2 รูปแบบของกราฟการบ่ม

วิธีการทดสอบนี้ สามารถใช้ในการหาอัตราความเร็วในการวัลคะไนซ์ และสมบัติสุดท้ายบางอย่างของยางชนิดต่าง ๆ ที่วัลคะไนซ์แล้ว นอกจากนั้นยังมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบประเมินวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการวัลคะไนซ์ เพื่อที่จะตรวจรวบรวมไปถึงการใช้เครื่องมือในการพัฒนาสูตรยางใหม่ ๆ อีกด้วย

เครื่องมือ

1. ลักษณะเครื่องมือ

เครื่องมือนี้ประกอบด้วยจานโลหะรูปกรวยป้านสองด้านอยู่ภายในช่องใส่ยางที่ควบคุมอุณหภูมิได้ จานดังกล่าวมีแกนที่ยึดติดอยู่กับก้านจับให้จานนั้นหมุนกลับไปมาด้วยความถี่คงที่ แรงบิดที่เกิดขึ้นที่จาน เกิดขึ้นจากความต้านทานของยางที่ใส่ในช่องนั้น จะมีการบันทึกแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในการหมุนแต่ละครั้งตลอดระยะเวลาทดสอบ รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะทั่วไปของเครื่องวัดสมบัติการไหล และรูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของเครื่องในส่วนของห้องใส่ยางที่มีจานโลหะอยู่ภายใน

2. อุณหภูมิและระบบการวัด

ระบบการวัดของอุณหภูมิของห้องใส่ยางจะต้องสามารถวัดได้ถูกต้องได้บวก/ลบ 0.5 องศาเซลเซียส และจะต้องวัดได้ตลอดเวลาเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของห้องใส่ยาง อุปกรณ์การตรวจสอบอุณหภูมิควรจะใช้ประเภทที่เชื่อถือได้ เช่น ประเภท thermistor เป็นต้น

3. ห้องใส่ยาง

ห้องใส่ยาง เป็นโลหะที่แข็งแรง ไม่เปลี่ยนรูป มีความแข็งอย่างน้อย Rockwell 50 HRC. ขนาดและลักษณะทั่วไปของห้องมาตรฐานได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ชั้นส่วนของห้องใส่ยางทั้งบนและล่างมีการเจาะรูไว้เพื่อใส่อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของห้องใส่ยางนี้ ผิวของห้องใส่ยางทั้งบนและล่างจะมีการเจาะร่องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จัดเรียงตัวเป็นแนวรัศมีรอบ ๆ ศูนย์กลางและมีระยะห่างกันระหว่างช่องเท่ากับ 20 องศา ห้องใส่ยางด้านล่างมีรูตรงกลางเพื่อให้แกนจานโลหะสอดทะลุลงไป และมีร่องใส่ซีลที่เหมาะสมที่มีความเสียดทานน้อย ตัวอย่างของซีลที่เหมาะสมจะทำด้วย PTFE ซีลดังกล่าวป้องกันไม่ให้ยางไหลผ่านเข้าไปยังรูที่ใส่แกนจานนั้น ห้องใส่ยางจะปิดยางไว้ภายในตลอดระยะเวลาการทดสอบ การปิดดังกล่าวใช้ระบบไฮดรอลิกลม ด้วยแรง 11.0 ± 0.5 kN

4. จานโลหะ

จานโลหะ เป็นโลหะที่แข็งแรง เปลี่ยนรูปยาก มีความแข็ง Rockwell อย่างต่ำเท่ากับ 51 HRC. รูปร่างของจานได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 จานโลหะนี้จะหมุนกลับไปมาด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที ระหัดหมุนไปซ้ายและขวา 1 รอบจุดศูนย์กลางรวมระยะกว้างทั้งหมดเท่ากับ 2 องศา ความถี่และระยะอื่น ๆ อาจนำมาใช้ได้ตามต้องการระบุลงไปด้วย นอกจากนั้น

อาจใช้ช่วงระหมนเป็น 3 องศา ได้ (การหมุนตัวระยะองศาที่กว้างขึ้นนั้นจะทำให้การวัดมีความไวขึ้น)

5. การวัดแรงบิด

การวัดแรงบิดบนจานโลหะต้องใช้อุปกรณ์ที่แสดงสัญญาณออกมาโดยให้สัมพันธ์โดยตรงกับแรงบิดนั้น ต้องมีอุปกรณ์สามารถบันทึกสัญญาณสูงสุดของแรงบิดในแต่ละรอบของการหมุนได้ และสามารถบันทึกข้อมูลได้ไวภายใน 1 วินาที หรือน้อยกว่านั้น แรงบิดที่วัดต้องทำให้ถูกต้องถึง $\pm 0.5\%$ ระยะการวัดแรงบิด (Chart Range) ควรจัดให้มีถึง 3 ช่วง คือ 0 ถึง 25.0 และ 0 ถึง 50 และ 0 ถึง 100 dN.m

6. ตัวอย่างยาง

ยางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ มีปริมาตรสูงสุดประมาณ 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มม. และหนา 12.5 มม. ตัวอย่างต้องมีปริมาตรที่เหมาะสมให้ยางได้ไหลเข้าไปตลอดช่องว่างในห้องใส่ยางนั้น ถ้ามียางมากเกินไป จะทำให้ความร้อนของห้องอัดยางตกลงมากในช่วงระยะต้น ๆ ของการทดลอง ตัวอย่างยางทดสอบควรมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ก่อนใส่เข้าไปในเครื่อง

7. วิธีการทดสอบ

7.1 การเตรียมก่อนทดสอบ

ให้อุ่นห้องใส่ยางให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการพร้อมทั้งให้มีจานโลหะอยู่ในที่ของมันในห้อง และให้เลือกช่วงแรงบิดที่เหมาะสม ให้ทดลองเดินเครื่องขณะที่ไม่มียางอยู่ภายใน แรงบิดที่วัดได้ไม่ควรเกิน 0.5 dN.m (0.5 lbf.in) ถ้าเกินกว่านี้ แสดงถึงการหมุนของจานมีความผิด เช่น แบร็งชารุก ซิลมีความผิด แกนจานบิด หรือมียางอยู่ในร่องใส่แกนนั้น

7.2 การเดินเครื่อง

เปิดห้องใส่ยาง นำยางใส่ลงบนจานนั้น ปิดห้องยาง การเปิดใส่ยางและปิด ควรกระทำให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 20 วินาที เมื่อห้องยางปิดแล้ว ให้เดินจานหมุนทันที หรืออาจเดินภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที หลังจากปิดห้องแล้ว

(หมายเหตุ - ถ้าหากทำการทดสอบยางที่เหนียว ๆ ก็ให้ใช้แผ่น cellophane หรือแผ่นฟิล์มบาง ๆ อื่น ๆ ที่ไม่หลอมที่อุณหภูมิตดสอบ ใส่ไว้บนและล่างตัวอย่างยาง เพื่อป้องกันไม่ให้ยางเหนียวติดกับห้องใส่ยาง)

การรายงานผล

จากรูปที่ได้จากการทดสอบ รูปที่ 3.2 ต้องมีการรายงานผลดังต่อไปนี้

ก) ML ค่าแรงบิดต่ำสุด, dN.m (หรือ Ibf.in)

ข) ค่าแรงบิดสูงสุด

MH ค่าแรงบิดสูงสุด, dN.m (หรือ Ibf.in) ที่ได้ เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง

ที่กำหนดไว้

ค) เวลาที่เริ่มเกิดการวัลคะไนซ์

ts2 เวลาเป็นนาทีจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้แรงบิดสูงขึ้น 2 dN.m (หรือ 2

Ibf.in) จากจุดต่ำสุด ML

ง) เวลาวัลคะไนซ์ (cure time)

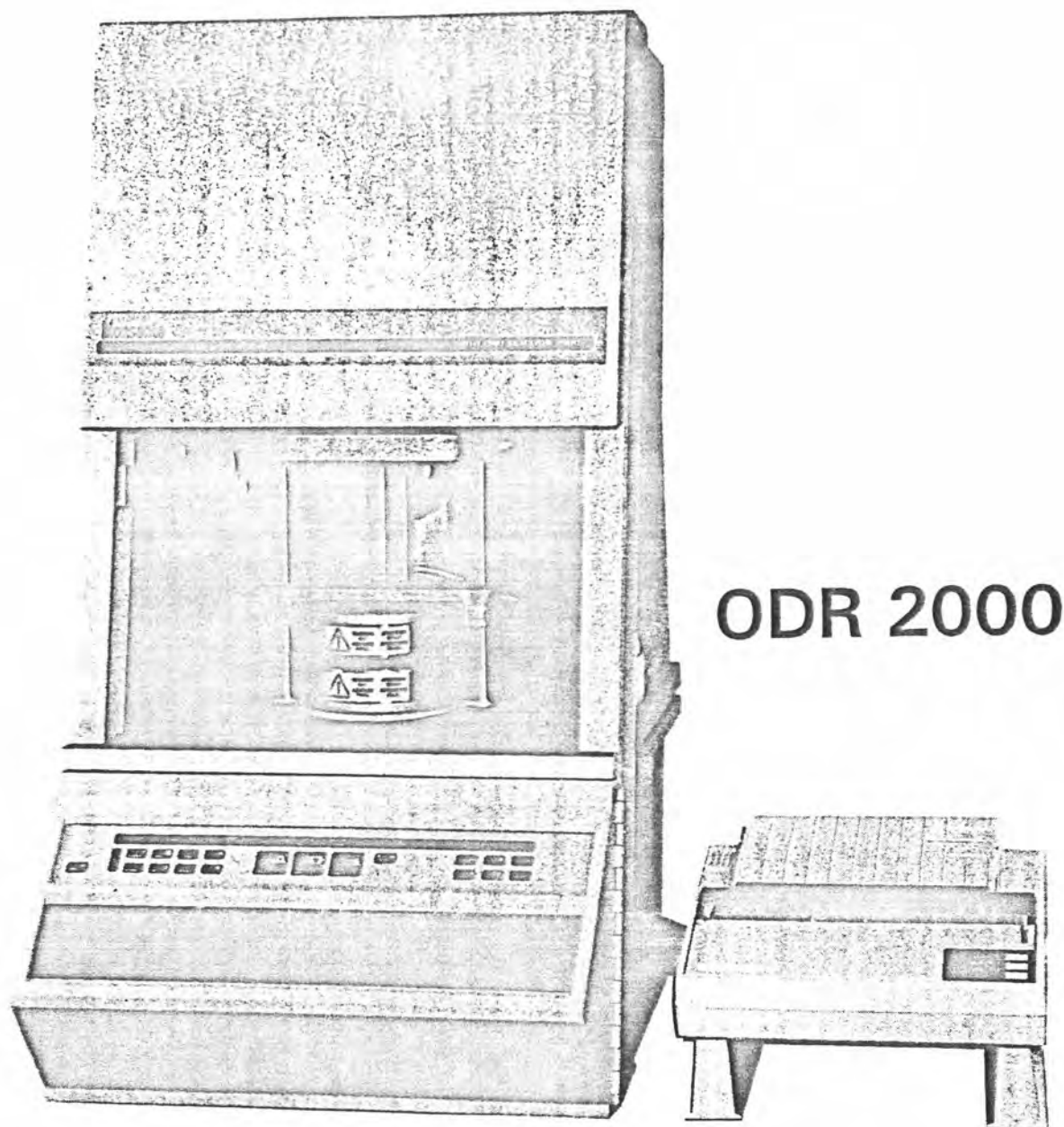
$t_X =$ เวลาเป็นนาที ที่เส้นกราฟจะสูงเป็น X% ของแรงบิดที่เพิ่มขึ้น,

$t_X =$ นาทีที่เส้นกราฟแสดงแรงบิดเท่ากับ $ML + X (MH - ML) / 100$

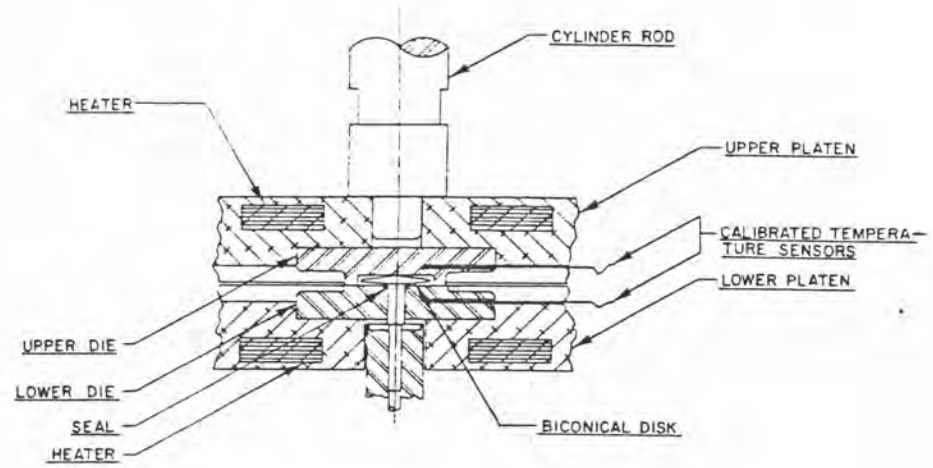
โดยทั่วไป มักจะกำหนดให้ค่า X เป็น 50 กับ 100

จ) ดรรชนีความเร็วในการวัลคะไนซ์ (cure rate index, CRI)

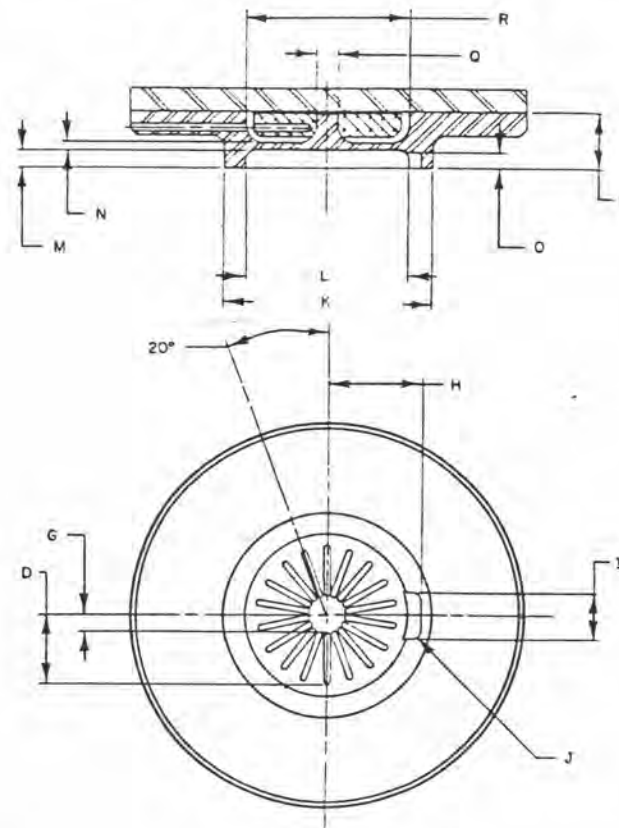
$CRI = 100 / (\text{cure time} - \text{scorch time})$



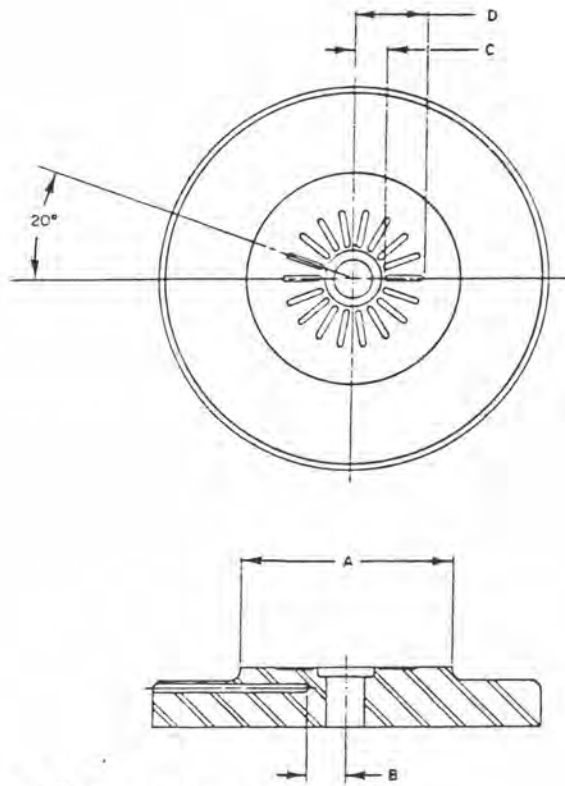
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น



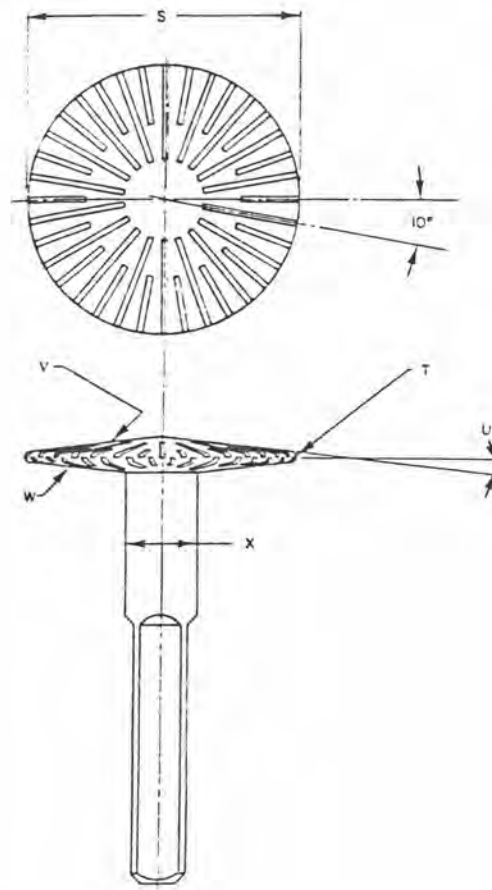
รูปที่ 3.4 ลักษณะของเครื่องทดสอบในส่วนของห้องใส่อย่างที่มีงานโลหะอยู่ภายใน



รูปที่ 3.5 พื้นส่วนของห้องใส่อย่างด้านบน



รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนของห้องใส่ยางด้านล่าง



รูปที่ 3.7 จานทดสอบ

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง

การทดลองนี้ศึกษาในสูตรยางผสม 1 สูตร คือ T458 รายละเอียดของสูตรยางผสมแสดงดังตารางที่ 3.1 นำมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น โดยใช้อุณหภูมิทดสอบที่ 180, 170, 160, 150, 140, 130 °C

2. ศึกษาผลของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อกระบวนการบ่มยาง

การทดลองนี้ศึกษาโดยปรับสัดส่วนของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา สารที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เบนโซโซอะโซลซัลไฟนาไมด์ จำนวน 6 สูตรคือ

2.1 T458-2

2.2 T458-3

2.3 T458-4

2.4 T458-5

2.5 T458-6

2.6 T458-7

รายละเอียดของสูตรแสดงดังตาราง 3.2 สูตรเหล่านี้แตกต่างกันที่ปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยปรับตั้งแต่ 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 ส่วนต่อปริมาณยาง 100 ส่วน ตามลำดับ นำมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น โดยใช้อุณหภูมิทดสอบที่ 180, 170, 160, 150 °C

3. ศึกษาผลของปริมาณสารบ่มหรือสารเชื่อมโองที่มีผลต่อกระบวนการบ่มยาง

การทดลองนี้ศึกษาโดยปรับสัดส่วนของปริมาณสารบ่มหรือสารเชื่อมโอง สารที่ใช้ในการทดลองนี้คือกำมะถัน จำนวน 6 สูตร คือ

- 3.1 T458-S1
- 3.2 T458-S2
- 3.3 T458-S21
- 3.4 T458-S3
- 3.5 T458-S4
- 3.6 T458-S5

รายละเอียดของสูตรแสดงดังตาราง 3.3 สูตรเหล่านี้แตกต่างกันที่ปริมาณของสารเชื่อมโองที่ใช้โดยปรับตั้งแต่ 0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 ส่วนต่อปริมาณยาง 100 ส่วน ตามลำดับ นำมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้น โดยใช้อุณหภูมิทดสอบที่ 180, 170, 160, 150 °C

4. ศึกษาผลของชนิดของยางที่ใช้ที่มีต่อกระบวนการบ่มยาง

การทดลองนี้ศึกษาโดยเปลี่ยนชนิดของยางที่ใช้ จากยางธรรมชาติชนิดยางแท่ง (TTR 20) เป็นยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควัน และยางสังเคราะห์ตัวที่ใช้คือสไตรีน-บิวทอะไดอีน จำนวน 2 สูตร คือ

- 4.1 T458-R1
- 4.2 T458-R3

รายละเอียดของสูตรแสดงดังตาราง 3.4 ยางและสารเคมีต่างๆ ตามสูตร นำมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดบราเบนเดอร์ จากนั้นนำมาทดสอบด้วยเครื่องวัดสมบัติการไหลของยางแบบจานสั้นโดยใช้อุณหภูมิทดสอบที่ 180, 170, 160, 150 °C

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458

INGREDIENT	T458
NATURAL RUBBER (TTR20)	100
CARBON BLACK (N330)	51
ZINC OXIDE	6
STEARIC ACID	4
ANTIDEGRADANT	3.5
WAX	1
ACCELERATOR (BTS)	1
SULPHUR	1.2
TOTAL	167.7

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-2, T458-3, T458-4, T458-5, T458-6, T458-7

INGREDIENT	T458-2	T458-3	T458-4	T458-5	T458-6	T458-7
NATURAL RUBBER (TTR20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
CARBON BLACK (N330)	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
ZINC OXIDE	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
STEARIC ACID	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
ANTIDEGRADANT	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
WAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ACCELERATOR (BTS)	0.00	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00
SULPHUR	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
TOTAL	166.70	167.10	167.50	167.90	168.30	168.70

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-S1, T458-S2, T458-S21,
T458-S3, T458-S4, T458-S5

INGREDIENT	T458-S1	T458-S2	T458-S21	T458-S3	T458-S4	T458-S5
NATURAL RUBBER (TTR20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
CARBON BLACK (N330)	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
ZINC OXIDE	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
STEARIC ACID	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
ANTIDEGRADANT	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
WAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ACCELERATOR (BTS)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SULPHUR	0.00	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
TOTAL	166.50	167.00	167.25	167.50	168.00	168.50

ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมของยางผสมสูตร T458-R1, T458-R3

INGREDIENT	T458-R1	T458-R3
RUBBER	100.00	100.00
	(RSS3)	(SBR)
CARBON BLACK (N330)	51.00	51.00
ZINC OXIDE	6.00	6.00
STEARIC ACID	4.00	4.00
ANTIDEGRADANT	3.50	3.50
WAX	1.00	1.00
ACCELERATOR (BTS)	1.00	1.00
SULPHUR	1.20	1.20
TOTAL	167.70	167.70