

### บทที่ 3

#### การทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 นํ้ายางชั้นชนิด HA มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1 (บริษัท ไทยรับเบอร์ ลาเท็กซ์ จำกัด)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของนํ้ายางชั้นชนิด HA

สมบัติ	ผลทดสอบ
Total solid content (%)	61.69
Dry rubber content (%)	60.08
Non-rubber solids content (%)	1.61
Ammonia content (on total weight) (%)	0.75
Ammonia content (on water phase) (%)	1.96
pH value	10.86
KOH number	0.54
Volatile fatty acid number (VFA)	0.02
Mechanical stability time@55% TS. (S)	920
Specific gravity at 25°C	0.94
CST. (ml)	2.30
Magnesium content (ppm)	26.25
Viscosity (60%TS.Spindle no.1.60rpm.) (cps)	79.00

3.1.2 ยางธรรมชาติ STR XL (กรมวิชาการเกษตร ประเทศไทย) สมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติยางแท่ง STR XL

สมบัติ	ผลการวิเคราะห์
ปริมาณสิ่งสกปรก (%wt)	0.02
ปริมาณเถ้า (%wt)	0.40
ปริมาณสิ่งระเหย (%wt)	0.80
ปริมาณไนโตรเจน (%wt)	0.50
ค่าดัชนีความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po)	35
ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI)	60

### 3.2 สารเคมี

3.2.1 กรดฟอร์มิก 98%	: Fisher Chemical
3.2.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50%	: Thai Peroxide Co., Ltd.
3.2.3 polyalcohol ethyleneoxide condensate (Terric16A-16)	: Australia
3.2.4 โซเดียมคาร์บอเนต	: MERCK
3.2.5 เมทานอล	: MERCK
3.2.6 ซิงก์ออกไซด์ (ZnO)	: Fluka
3.2.7 กรดสเตียริก	: Fluka
3.2.8 ซิลิกา	: Cabot Corporation
3.2.9 PEG 3350 (Polyethylene glycol 3350)	: Fluka
3.2.9 คาร์บอนแบล็ก (N 330)	: Thai Carbon Black Co., Ltd.
3.2.10 Aromatic oil	: Japan Sun Oil Co., Ltd.
3.2.11 แคลเซียมคาร์บอเนต	: FK Co., Ltd.
3.2.10 N-Cyclohexylbenzothiazylsulphenamide (CBS)	: Flexsys Co., Ltd.
3.2.10 ซัลเฟอร์	: Loxley Public Co., Ltd.
3.2.11 น้ำมัน ASTM oil No.1	: Japan Sun Oil Co., Ltd.
3.2.12 น้ำมัน IRM 903	: Japan Sun Oil Co., Ltd.

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- |  |  |
|--|--|
| 3.3.1 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง<br>(Two-roll mill)                | : Model R 11-3FF(3338)<br>โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น  |
| 3.3.2 เครื่องบดผสมแบบปิด<br>(Kneader)                              | : Kneader Type KD.3 (3,500 l)<br>Kneader Machinery Co.,Ltd.                                      |
| 3.3.3 เครื่องวัดการคงรูปรีโอมิเตอร์<br>(Rheometer)                 | : Rheotech, Protech, USA.  |
| 3.3.4 เครื่องทดสอบสมบัติด้านการดึง<br>(Tensile testing machine)    | : Instron Corporation<br>Series IX Automated Materials<br>Testing System 6.05 Model 1011,<br>USA |
| 3.3.5 เครื่องทดสอบความทนการฉีกขาด<br>(Tear testing machine)        | : Lloyd Instruments Co. Model LS500  |
| 3.3.6 เครื่องทดสอบสมบัติความแข็ง<br>(Hardness testing machine)     | : Durometer Hardness System<br>(Shore A) Model 716, USA  |
| 3.3.7 เครื่องตัดชิ้นตัวอย่าง<br>(Compression air sample cutter)    | : Model SDAP-100-N<br>Intro Enterprise Co., Ltd., USA.   |
| 3.3.8 เครื่องอัดแบบขึ้นตัวอย่าง<br>(Compression molding hydraulic) | : Model V75h-18-BPX,<br>Serial 9593 Wabash, Indiana,USA.   |
| 3.3.9 เครื่องทดสอบสมบัติการคืนตัว<br>(Compression set testing)     | : ATS, Italy   |
| 3.3.10 เครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอ<br>(Akron Abrasion tester) | : Hampden Northampton Co., Ltd.<br>Model APH -40   |
| 3.3.11 ตู้อบขึ้นตัวอย่าง<br>(Geers rubber aging oven)              | : Ueshima AO 103, Japan  |
| 3.3.12 อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์                                     | : Perkin Elmer System 2000-FT-IR   |

### 3.4 แนวทางการทดลอง

แนวทางการทดลองแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

- ศึกษาผลของสารเคมี และเวลาในการเตรียมยาง ENR
- สังเคราะห์ยาง ENR
- ศึกษาผลของระบบวัลคาไนซ์ต่อสมบัติทางกายภาพของยาง ENR
- ศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติทางกายภาพของยาง ENR

### 3.5 การเตรียมยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์

เตรียมยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 35–40 โมลเปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำยางธรรมชาติทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิคและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้สารเคมีในอัตราส่วนแสดงในตารางที่ 3.3

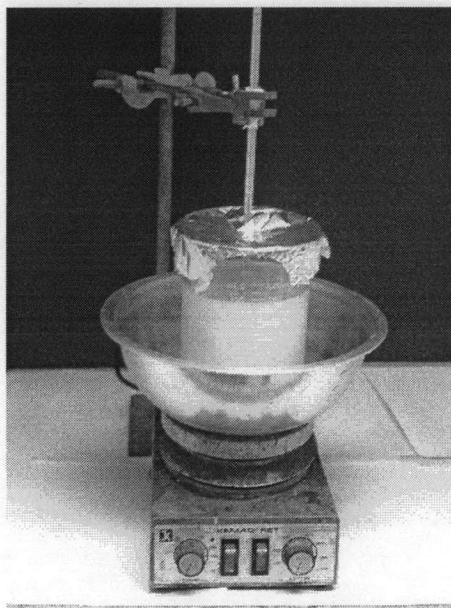
ตารางที่ 3.3 สูตรการเตรียมยาง ENR

สารเคมี	สูตร						
	1	2	3	4	5	6	7
Latex 20% DRC (g)	380	380	380	380	380	380	380
Terric16A-16 (g)	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(M)	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.75	0.75
กรดฟอร์มิค (M)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.50	1.00

การทดลองเริ่มจากการนำน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง (HA) ที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 มาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนเหลือปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 20 เติม polyalcohol ethyleneoxide condensate ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Terric 16A-16 เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัวในขณะที่ทำปฏิกิริยา แล้วกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อกจากนั้นหยดกรดฟอร์มิคโดยใช้เวลาในการหยด 15–20 นาที ที่อุณหภูมิ 40°C จากนั้นปรับอุณหภูมิให้เป็น 50°C ภายในเวลาไม่เกิน 15 นาที แล้วจึงหยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เวลาในการหยด 25–30 นาที ปล่อยให้ปฏิกิริยาคำเนินไปในบีกเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ต่อกจากนั้นเก็บตัวอย่างประมาณ 30 มล. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ฟอกซีไคซ์ที่เวลาต่างๆ คือ 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปจับตัวด้วยเมทานอล 95% v/v แล้วนำไปรีดให้เป็นแผ่นบางๆ และล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จากนั้นแช่ยางในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 5% เป็นเวลา 2–3 นาที เพื่อทำให้ยาง ENR ที่

ได้มีความเป็นกลางในกรณีที่มีกรดหลงเหลืออยู่และล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ พบว่า ยาง ENR ที่เตรียมได้จากการใช้ชนิดและปริมาณสารเคมีในสูตรที่ 7 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์อยู่ในช่วง 35-40 โมลเปอร์เซ็นต์ ตามต้องการ และใช้เวลาในการเตรียมน้อยที่สุด จึงได้ใช้ภาวะของการทดลองนี้เพื่อเตรียมยาง ENR สำหรับการผสมกับสารตัวเติมต่างๆ ต่อไป



รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติเอพอกไซด์

### 3.6 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของยางธรรมชาติเอพอกไซด์

#### วิเคราะห์ปริมาณหมู่เอพอกไซด์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (IR)

โดยตัดชิ้นยางให้มีขนาด  $2 \times 3$  ซม. แล้วดึงให้ตึงจนยางใส และแสงอินฟราเรดสามารถส่องผ่านได้ ตัดยางที่ตึงแล้วกับแผ่นรองรับที่มีช่องขนาด  $1 \times 3$  ซม. แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR โดยทั่วไปอินฟราเรดสเปกตรัมของยาง ENR จะปรากฏที่แถบดูดกลืนของหมู่เอพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $870\text{ cm}^{-1}$  และ  $1240\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งไม่ปรากฏในยางธรรมชาติ ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณหมู่เอพอกไซด์สามารถทำได้โดยการคำนวณอัตราส่วนการดูดกลืน (absorbance ratio) ของแถบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $835\text{ cm}^{-1}$  (แสดงถึงการมีพันธะ C-H) ต่อกับ  $-C=C-$  ของ

*cis*-1,4-พอลิไอโซพรีน) โดยคำนวณหาค่าอัตราส่วนการดูดกลืนจากสมการดังต่อไปนี้ (Davey and Loadman, 1984)<sup>d</sup>

$$\text{อัตราส่วนการดูดกลืน} = \frac{a_{870}}{a_{870} + a_{835}}$$

เมื่อ  $a_{870}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870  $\text{cm}^{-1}$   
 $a_{835}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835  $\text{cm}^{-1}$

อัตราส่วนการดูดกลืนแสงที่ได้จากสมการ เมื่อคูณด้วย 100 จะเป็นปริมาณร้อยละของหมู่ไอพอกไซด์

### 3.7 การศึกษาผลของระบบวัลคาไนซ์ต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติไอพอกไซด์

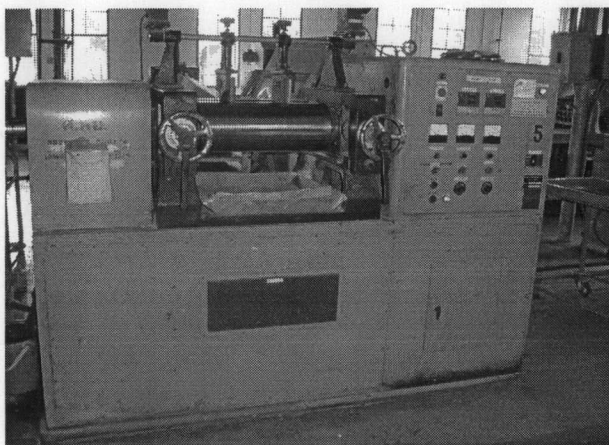
นำยาง ENR และยางแท่ง STR XL มาผสมกับสารเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางผสมสารเคมี (หน่วยเป็น phr)

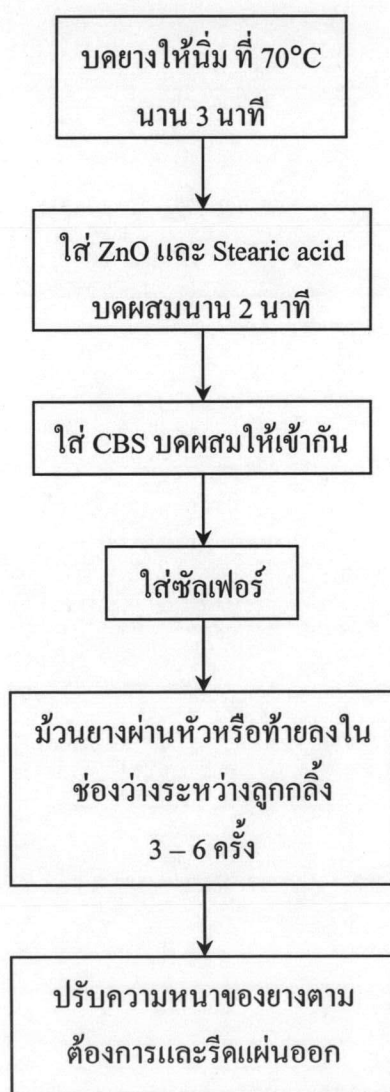
สารเคมี	ระบบวัลคาไนเซชัน		
	CV	semi-EV	EV
ยาง <sup>n</sup>	100	100	100
ZnO	5	5	5
Stearic acid	2	2	2
Sulphur	2.5	2	0.5
CBS	0.6	1	6

<sup>n</sup>ยาง : ยางธรรมชาติ และ ยางธรรมชาติไอพอกไซด์

บดผสมยางกับสารเคมีต่างๆ ด้วยเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. ซึ่งสามารถปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองให้กว้าง 150–280 มม. ความเร็วของการหมุนลูกกลิ้งต่ำสุดเป็น 24 รอบ/นาที สำหรับการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งลูกหน้าต่อลูกกลิ้งลูกหลังที่เหมาะสมคือ 1 : 1.25 โดยแสดงลำดับการบดผสมยางด้วยเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง ไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง



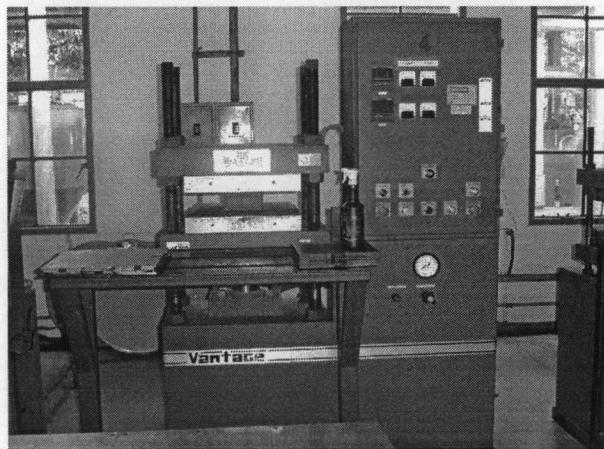
รูปที่ 3.3 ลำดับการบดผสมยางด้วยเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง

นำยางที่ได้จากการผสมสารเคมีไปทดสอบหาเวลาเริ่มคงรูป (scorch time) และเวลาการคงรูป (cure time) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์รุ่น Rheotech, Protech ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบ  $150^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ตาม ASTM D2084-93 จากนั้นนำเวลาการคงรูปมาใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูปขึ้นทดสอบ



รูปที่ 3.4 รีโอมิเตอร์ (Rheotech Protech, USA.)

นำยางผสมสารเคมีวางบนพื้นโลหะที่เรียบแห้ง และสะอาด แล้วตัดยางให้มี ความกว้าง และความยาวน้อยกว่าแม่แบบเล็กน้อย จากนั้นทิ้งชิ้นงานที่ตัดพักไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ต่อจากนั้นให้นำชิ้นยางอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบ (compression molding) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ที่ความดันต่ำกว่า  $3.5\text{ MPa}$  อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  ตามระยะเวลาการคงรูปของยางที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนแรก เมื่ออัดขึ้นรูปขึ้นทดสอบตามเวลาคงรูปที่กำหนด แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดแบบ (compression molding)



### 3.8 การศึกษาผลของสารตัวเติมต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์

นำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ และยางแท่ง STR XL มาผสมกับสารเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางผสมสารตัวเติม (หน่วยเป็น phr)

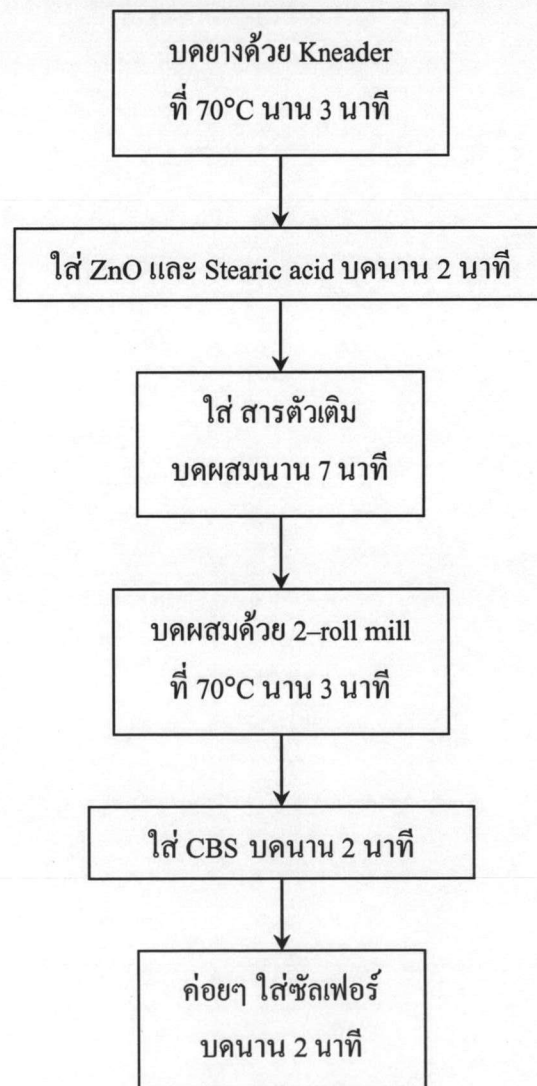
ส่วนประกอบ	ปริมาณสารที่ใช้ในสูตร (phr)		
	1	2	3
ยาง <sup>1</sup>	100	100	100
ZnO	5	5	5
Stearic acid	2	2	2
Sulphur	2.5	2.5	2.5
CBS	0.6	0.6	0.6
CaCO <sub>3</sub>	50	–	–
Hi-sil 255	–	50	–
PEG 3350	–	3	–
N330	–	–	50
Aromatic oil	–	–	5

<sup>1</sup>ยาง : ยางธรรมชาติ และ ยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์

นำยางมาบดให้ نرم ด้วยเครื่อง Kneader (ดังแสดงในรูปที่ 3.6) ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 นาที ใส่ซิงก์ออกไซด์และกรดสเตียริกลงไปบดผสมกับยางอีก 2 นาที ใส่สารตัวเติมลงไปบดผสม โดยแบ่งใส่ครั้งละหนึ่งในสี่ส่วน (ถ้ามีน้ำมันซึ่งใช้เป็นตัวช่วยในการผสม หรือ PEG 3350 ซึ่งทำหน้าที่เป็น deactivator ให้ค่อยๆ ใส่ไปพร้อมกับสารตัวเติม) ใช้เวลารวมในการบดผสมทั้งหมดประมาณ 7 นาที บดผสมยางกับสารตัวเติมด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ให้ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งอยู่ประมาณ 2–3 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิประมาณ 70°C เป็นเวลา 3 นาที นำยางผสมสารเคมีมาบดผสมต่อกับ CBS ด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ให้ช่องว่างลูกกลิ้งอยู่ประมาณ 2 มิลลิเมตร ใช้เวลาบดผสมทั้งสิ้นประมาณ 2 นาที ค่อยๆ ใส่ซัลเฟอร์ลงไปบดผสมกับยาง ใช้เวลาบดประมาณ 3 นาที (ดังแสดงในรูปที่ 3.7) เมื่อบดผสมเสร็จนำบางส่วนมาหาเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Rheometer ที่ยางผสมไว้ 1 คืบ หลังจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปโดยการใช้แม่แบบด้วยเครื่องอัดแบบขึ้นตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบสมบัติของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ต่อไป



รูปที่ 3.6 เครื่องบดผสมแบบปิด (Kneader)

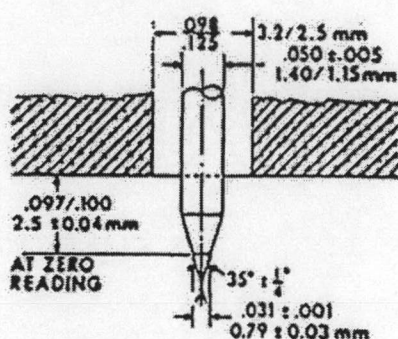


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมี

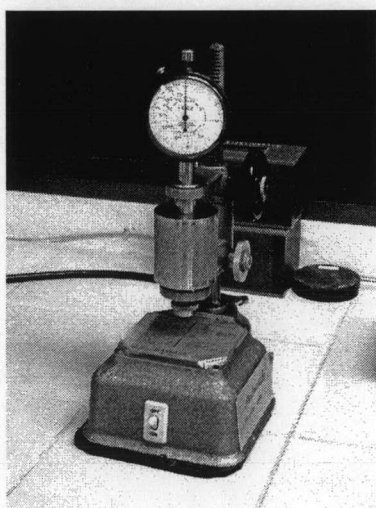
### 3.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

#### สมบัติความแข็ง (ASTM D2240)

ทดสอบหาค่าความแข็งของยางที่ผ่านการคงรูปแล้วด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (durometer) รุ่น 716 แบบ Shore A ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และเครื่องมือในการหาค่าความแข็งแสดงไว้ในรูปที่ 3.9 โดยชันทดสอบที่ใช้วัดควรมีความหนาอย่างน้อย 6 มม. นอกจากนี้ ชันทดสอบต้องมีพื้นผิวเรียบ และขนานกับพื้นผิวสัมผัสของเข็มที่กดลงบนชันทดสอบ เงื่อนไขของการทดสอบความแข็งมีดังนี้ คือ อุณหภูมิ 25°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 50%



รูปที่ 3.8 ลักษณะหัวกดของการหาความแข็งแบบ Shore A



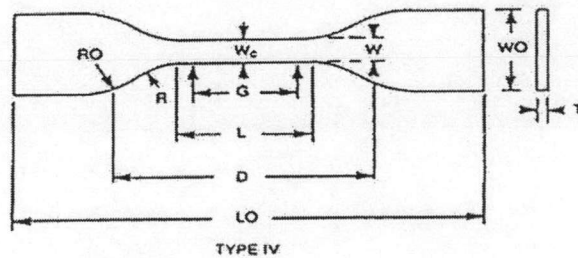
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบหาค่าความแข็งแบบ Shore A

### สมบัติด้านการดึง (ASTM D412)

ทดสอบสมบัติด้านการดึงของยางที่ผ่านการคงรูปแล้วเพื่อหาค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ความยาว ณ จุดขาด (elongation at break) และค่ามอดุลัส (modulus) โดยนำแผ่นยางที่ผ่านการคงรูปแล้วมาตัดให้เป็นรูปคัมเบลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ด้วยเครื่องตัด compression air sample cutter รุ่น SDAP-100-N ซึ่งการทดสอบสมบัติด้านการดึงจะมีเงื่อนไข ดังนี้

อุณหภูมิ	25°C
ความชื้นสัมพัทธ์	60%
ความเร็วในการดึง	500 มม./นาที

เครื่องที่ใช้ทดสอบสมบัติด้านการดึงเป็นเครื่อง Instron testing machine series IX รุ่น 1011 ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบความทนแรงดึง

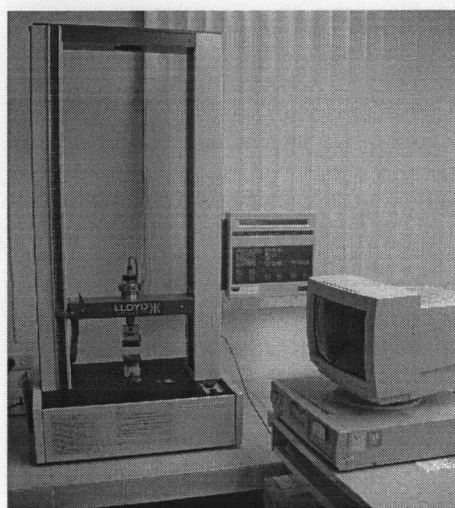


รูปที่ 3.11 เครื่อง Instron testing machine series IX รุ่น 1011

นอกจากนี้ ยังได้ทดสอบสมบัติด้านการดึงของยางที่ผ่านการคงรูปเร่งด้วยความร้อน โดยอบแผ่นยางที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อนำแผ่นยางออกจากตู้อบให้ตั้งทิ้งไว้อีกอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติด้านการดึงตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว

#### ความทนการฉีกขาด (ISO 34-1)

การทดสอบความทนการฉีกขาดใช้เครื่อง Lloyd (ดังแสดงในรูปที่ 3.12) ที่มี load cell 500 นิวตัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ (grip) 500 มิลลิเมตร/นาที ตัดขึ้นทดสอบเป็นแบบ angle (ASTM DIE C) โดยตัดขวางแนวเครื่อง ขึ้นทดสอบมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร



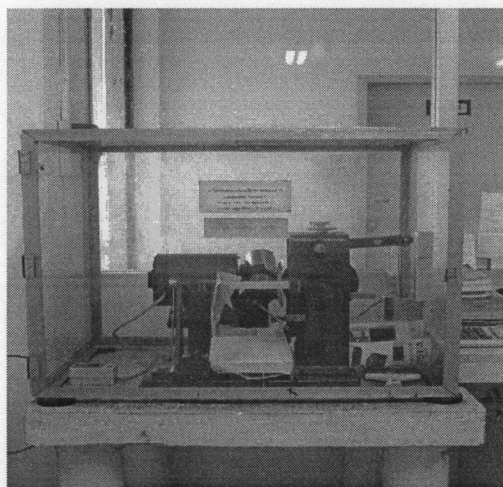
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความทนการฉีกขาด

นอกจากนี้ ยังได้ทดสอบสมบัติด้านการดึงของยางที่ผ่านการคงรูปเร่งด้วยความร้อน โดยอบแผ่นยางที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อนำแผ่นยางออกจากตู้อบให้ตั้งทิ้งไว้อีกอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบความทนการฉีกขาดตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว

#### ความต้านทานการสึกหรอ (BS 903 Method B)

การทดสอบความต้านทานการสึกหรอใช้เครื่อง Akron ขึ้นทดสอบ 2 ชั้น มีลักษณะวงล้อเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 6.3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 1.3 เซนติเมตร หนา 1.3 เซนติเมตร โดยขึ้นทดสอบที่วัดค่าความหนาแน่นแล้วจะถูกขัดสีกับวงล้อหินจำนวน 500 รอบ แล้วชั่งน้ำหนักที่หายไป จากนั้นทำ Running-in 1 ครั้ง และ Test Run 5 ครั้ง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักที่

หายไป แล้วคำนวณหาปริมาตรที่หายไปต่อ 1,000 รอบ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของชั้นทดสอบ 2 ชั้น (รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอ)



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

#### สมบัติการคืนตัว (ASTM D395-98)

การทดสอบสมบัติด้านการคืนตัวใช้เครื่อง compression set test ของ ATS, Italy โดยชั้นทดสอบมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มม. หนา 12.5–13.0 มม. ให้นำชั้นทดสอบรูปทรงกระบอกใส่เข้าไประหว่าง spacer bar ของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แล้วกดให้ชั้นทดสอบมีความหนาลดลง 25% โดยเหลือความหนาประมาณ 9.5 มม. แล้วนำชุดเครื่องทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วนำชั้นทดสอบออกจากเครื่องตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง หลังจากนั้นจึงวัดความหนาของชั้นทดสอบเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ compression set ดังนี้

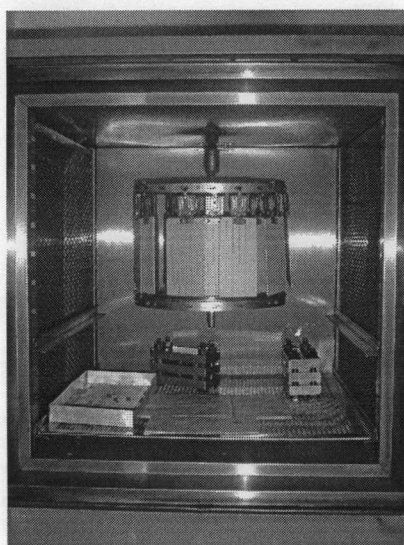
$$\% \text{ compression set} = \frac{\text{ความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ} - \text{ความหนาของชิ้นงานหลังทดสอบ}}{\text{ความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ} - \text{ความหนาของชิ้นงานเมื่อเริ่มกด (9.5 มม.)}} \times 100$$



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบการคืนตัว

### การบ่มแรงด้วยความร้อน (ASTM D573-99)

การบ่มแรงด้วยความร้อนใช้เครื่อง Ueshima ดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยอบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อนำออกจากตู้อบทิ้งไว้อย่างน้อยครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องนำไปตัดชิ้นทดสอบสมบัติต่างๆ แล้วทิ้งไว้อีกอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบความทนแรงดึง และความต้านทานการฉีกขาดต่อไป



รูปที่ 3.15 เครื่อง Ueshima

### สมบัติความต้านทานน้ำมัน (ASTM D471-79)

ชิ้นทดสอบสมบัติความต้านทานน้ำมันมีขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว และหนา 2 มม. โดยชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบทั้งในอากาศ และในน้ำ แล้วบันทึกน้ำหนักที่จดไว้ได้ จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำมัน ASTM oil No.1 ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับน้ำมัน IRM 903 จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำมันทั้งในอากาศ และในน้ำ นำผลที่ได้ไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร ดังนี้

$$\text{การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (\%)} = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{(m_1 - m_2)} \times 100$$

เมื่อ	$m_1$	: น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมันชั่งในอากาศ (กรัม)
	$m_2$	: น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมันชั่งในน้ำ (กรัม)
	$m_3$	: น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมันชั่งในอากาศ (กรัม)
	$m_4$	: น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมันชั่งในน้ำ (กรัม)