

## บทที่ 8

### การทดลอง

#### 8.1 วัสดุคืบ

วัสดุคืบประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 ยางเอทิลีน - โพรพิลีน ไดอีน โมโนเมอร์ (ethylene - propylene diene monomer rubber, EPDM) ที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติยางเอทิลีน-โพรพิลีน ไดอีน โมโนเมอร์ [11]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ความหนืดมูนนี่ [mooney viscosity, ML 1 + 4 (100°C)]	45
ประเภทไดอีน (type of diene)	เอทิลดีนอร์บอนีน
ปริมาณไดอีน (diene content, % โดยน้ำหนัก)	11.7
ค่าไอโอดีน (iodine value)	24
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (volatile matter, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 1.0

#### 3.1.2 สารตัวเติม

ใช้สารตัวเติม 2 ชนิด ได้แก่ เขม่าดำ (carbon black, C) ซึ่งมีคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 3.2 และแมกนีเซียมซิลิเกต (magnesium silicate,  $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งมีคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติเขม่าดำ [12]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณการดูดซับ DBP (DBP absorption, cc/100 g)	91
ปริมาณการดูดเกาะ ไอโอดีน (iodine adsorption, g/Kg)	35
พื้นที่ผิว (surface area, m <sup>2</sup> /g)	35
ปริมาณสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (heat loss, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 1.0
ปริมาณเถ้า (ash content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.75
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value)	9.0
ความหนาแน่น (density, kg/m <sup>3</sup> )	424
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 325 mesh (sieve residue on # 325 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.03
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 35 mesh (sieve residue on # 35 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.0001

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติแมกนีเซียมซิลิเกต [13]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO content, % โดยน้ำหนัก)	31.0
ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> content, % โดยน้ำหนัก)	62.0
ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO content, % โดยน้ำหนัก)	1.0
ปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % โดยน้ำหนัก)	1.0
ปริมาณที่สูญเสียเมื่อเผาไหม้ (loss on ignition, % โดยน้ำหนัก)	5.0-6.0
ความขาว (brightness (Hunter))	83.0-87.0
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	2.8
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	0.5

### 3.1.3 สารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer)

สารพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้เป็นสารผสมของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเรซิน (mixture of dark aromatic hydrocarbon resin) ซึ่งมีคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติสารผสมของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเรซิน [14]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	1.1
ความหนาแน่น (density, g/l)	650
จุดอ่อนตัว (softening point, °C)	100
ปริมาณเถ้าจากการเผาไหม้ (ash content, % โดยน้ำหนัก)	0.5

### 3.1.4 สารต่อต้านการติดไฟ (flame retardant)

สารต่อต้านการติดไฟ 3 ชนิดที่ใช้ได้แก่ อลูมินาไฮเดรท (alumina hydrate,  $Al(OH)_3$ ) แอนติโมนีไตรออกไซด์ (antimony trioxide,  $Sb_2O_3$ ) และสารพวกฮาโลเจน คือคลอรีเนตเตดพาราฟิน (chlorinated paraffin) ซึ่งคุณสมบัติของสารต่อต้านการติดไฟเหล่านี้ได้แสดงในตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของมินาไฮเครท [15]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
พื้นที่ผิว (surface area, $m^2/g$ )	7.0
ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค (mean particle size, ไมครอน)	1.0
ปริมาณการดูดซับ DBP (DBP absorption, cc/100 g)	42.0
ความหนาแน่น (density, $g/cm^3$ )	0.2
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	0.4
ความขาว (brightness)	97

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติแอนติโมนีไดรอกไซด์ [16]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณแอนติโมนีไดรอกไซด์ ( $Sb_2O_3$ content, % โดยน้ำหนัก)	ต่ำสุด 99.5
ปริมาณอาร์เซนิก (As content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1
ปริมาณตะกั่ว (Pb content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.2
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	5.2-5.7
ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค (mean particle size, ไมครอน)	0.9-1.3
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 325 mesh (sieve residue on # 325 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1 %

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติคลอรีนเตคพาราฟีน [17]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณคลอรีน (chlorine content, % โดยน้ำหนัก)	ต่ำสุด 70
จุดหลอมเหลว (softening point, °C)	95-110
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 50 mesh (sieve residue on # 50 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 10

3.1.5 สารเชื่อมยางสายโซ่ (vulcanizing agent)

สารเชื่อมยางสายโซ่ที่ใช้คือกำมะถัน (sulphur, S) และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติกำมะถัน [18]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณซัลเฟอร์ (sulphur content, % โดยน้ำหนัก)	ต่ำสุด 99.3
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.2
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 300 mesh (sieve residue on # 300 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 2.0
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 200 mesh (sieve residue on # 200 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.5
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 100 mesh (sieve residue on # 100 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1

3.1.6 สารเร่ง (accelerator)

สารเร่งที่ใช้คือ 2-ไดเบนโซไทอาซิลไดซัลไฟด์ (2-dibenzothiazyl disulfide,  $C_8H_4S_2N_2$ ) และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 คุณสมบัติ 2-โคเบนโซโรอาซิดไดซัลไฟด์ [19]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.2
จุดอ่อนตัว (softening point, °C)	170
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 200 mesh (sieve residue on # 200 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.5
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 100 mesh (sieve residue on # 100 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1

### 3.1.7 สารกระตุ้นสารเร่ง (activator)

สารกระตุ้นที่ใช้มี 2 ชนิดได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) และกรดสเตียริก (stearic acid, C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>) และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติซิงค์ออกไซด์ [20]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ปริมาณซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide content, % โดยน้ำหนัก)	ต่ำสุด 99.7
ปริมาณตะกั่วออกไซด์ (lead oxide content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.1
ปริมาณที่สูญเสียมื้อเผาไหม้ (loss on ignition, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.2
ปริมาณที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 325 mesh (sieve residue on # 325 mesh, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.05

ตารางที่ 3.11 คุณสมบัติกรดเตียริก [21]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
จุดหลอมเหลว (melting point, °C)	52
ค่าไอโอดีน (iodine value)	8
ค่าความเป็นกรด (acid value)	195
saponification value	196

### 3.1.8 คิวฟู (blowing agent)

คิวฟูที่ใช้คืออะโซไดคาร์โบนาไมด์ (azodicarbonamide,  $C_2H_4N_4O_2$ ) และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 คุณสมบัติอะโซไดคาร์โบนาไมด์ [22]

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค (mean particle size, ไมครอน)	2.0
อุณหภูมิสลายตัว (decomposition temperature, °C)	190-205
ปริมาณแก๊ส (gas volume, ml/g)	225-235
ปริมาณความชื้น (moisture content, % โดยน้ำหนัก)	สูงสุด 0.3
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	6.5-7.0

## 3.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

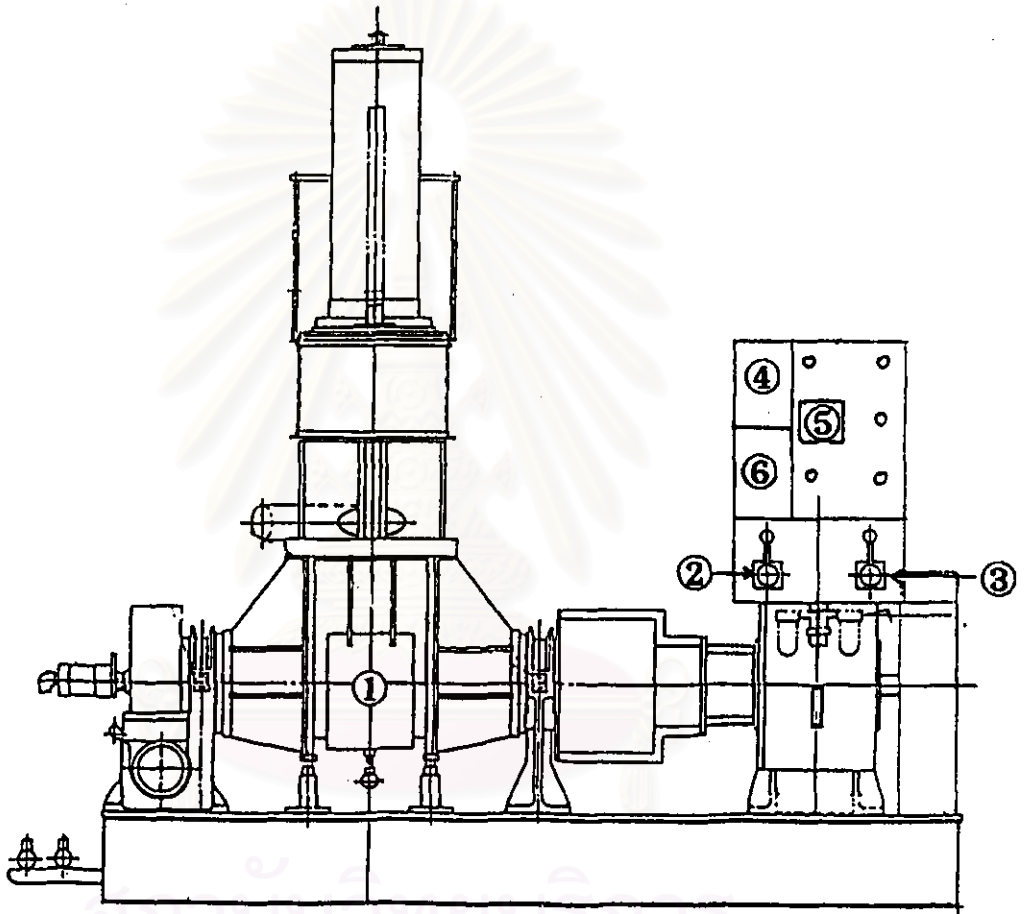
### 3.2.1 เครื่องผสมระบบปิด (internal mixer) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ตรา Moriyama Kneader

รุ่น D 55-100

ความจุ 55 ลิตร

ผู้ผลิต Moriyama Manufacturing Works Ltd.  
ประเทศ ญี่ปุ่น



รูปที่ 3.1 เครื่องผสมระบบปิดและส่วนควบคุมการผสมที่ใช้ในการทดลอง [23]



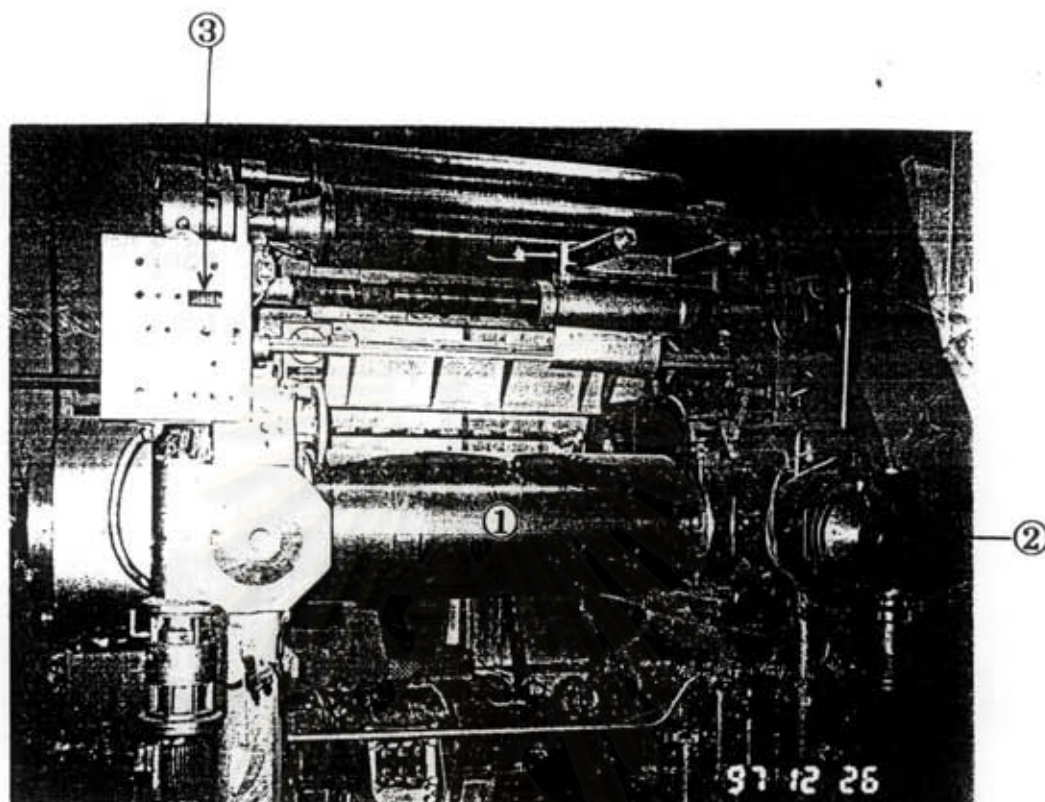
### เครื่องผสมระบบปิดและส่วนควบคุมการทำงานประกอบด้วย (ดูรูปที่ 3.1)

1. ห้องผสมภายในประกอบด้วยโรเตอร์
2. คันโยกยก ram ขึ้น - ลง
3. คันโยกเปิด - ปิดห้องผสม
4. มาตรฐานแสดงอุณหภูมิผสม
5. เครื่องตั้งเวลาผสม
6. เครื่องบันทึกกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิผสม

### 3.2.2 เครื่องผสมระบบเปิด (open mill mixer) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ตรา	Comerio Ercole
รุ่น	4195 A
ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง x ความยาวตุกกลิ้ง = 530 x 1600 mm.
ผู้ผลิต	Comerio Ercole S.P.A.
ประเทศ	อิตาลี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 เครื่องผสมระบบเปิดและส่วนควบคุมการทำงานที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องผสมระบบเปิดและส่วนควบคุมการทำงานประกอบด้วย (ดูรูปที่ 3.2)

1. ลูกกลิ้ง
2. ปุ่มปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสำหรับควบคุมความหนาสารประกอบบาง
3. มาตรฐานแสดงอุณหภูมิระบบน้ำหล่อเย็น

### 3.2.3 เครื่องอัดรีดยางผ่านไคคังแสดงในรูปที่ 3.3

ตรา	Iddon
รุ่น	XLB Cold Feed
ขนาด	gearbox 150 mm. (6 inch)
ผู้ผลิต	Iddon Brothers Ltd.
ประเทศ	อังกฤษ



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดรีดยางผ่านไคคังที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.4 ตู้อบ (oven)

ตู้อบใช้ลมร้อนเป็นแหล่งความร้อนเพื่อให้ยางเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่  
 อุณหภูมิภายในตู้อบถูกวัดด้วยเทอร์โมคัพเบิล ตู้อบมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่

### 3.2.5 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ดังแสดงในรูปที่ 3.4

ตรา Monsanto

รุ่น MV 2000

ผู้ผลิต Monsanto Company

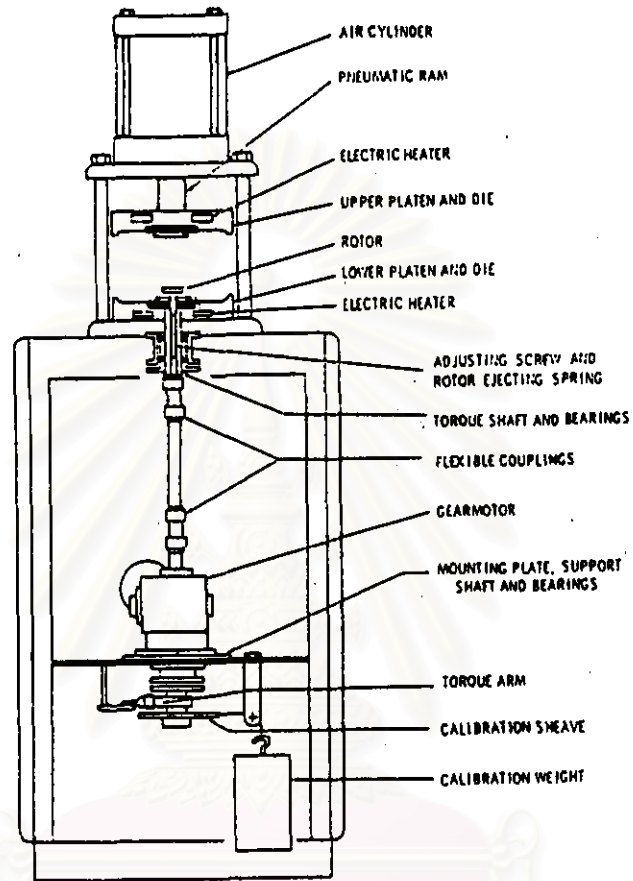
ประเทศ สหรัฐอเมริกา

เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ประกอบด้วย

1. ส่วนใส่ตัวอย่าง (sample loading part, รูปที่ 3.5)
2. ส่วนควบคุมการทำงาน (controller, รูปที่ 3.6)
3. ส่วนบันทึกข้อมูล (recorder, รูปที่ 3.4)



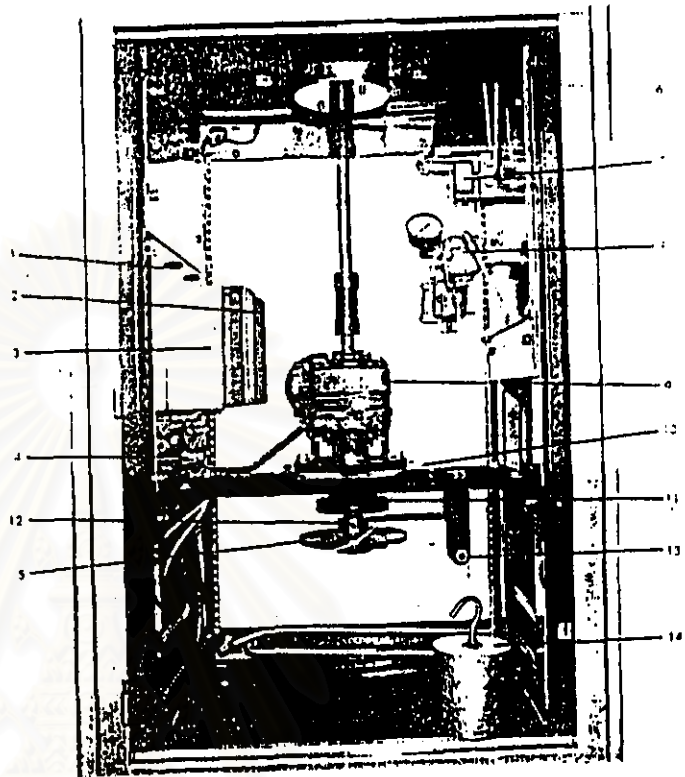
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบส่วนใส่ตัวอย่างของเครื่องวัดความหนืดหมุนนี้ [24]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 1.Controller Indicator Lights
- 2.Temperature Controller - Lower
- 3.Temperature Controller - Upper
- 4.Fuse
- 5.Calibration Sleeve
- 6.Bearing Housing Shield
- 7.Solenoid Valve
- 8.Air Filter - Regulator - Oiler
- 9.Gearmotor
- 10.Mounting Plate
- 11.Support Shaft Bearing Housing
- 12.Torque Arm
- 13.Calibration Support Pulley
- 14.Calibration Weight

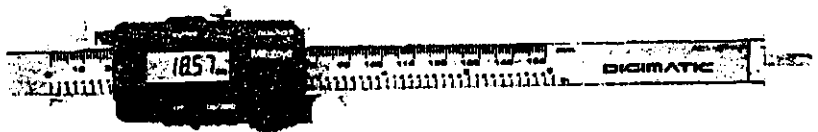


รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบส่วนควบคุมการทำงานเครื่องวัดความหนืดมุนนี่ [24]

### 3.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 3.7

ตรา	Thermo-Hunter
รุ่น	PT-3
ช่วงการวัด	- 20 - 400 °C
ผู้ผลิต	Optex Co.,LTD
ประเทศ	ญี่ปุ่น





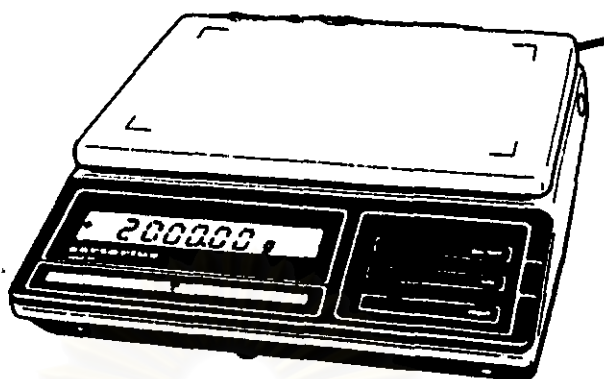
รูปที่ 3.8 เวอร์เนียร์ กาลิปเปอร์ที่ใช้ในการทดลอง [26]

### 3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักตั้งแสดงในรูปที่ 3.9

ตรา	Sartorius
รุ่น	U 4800P
พิกัด	4,840 กรัม
ผู้ผลิต	Sartorius Universal
ประเทศ	ญี่ปุ่น
readability	0.01 กรัม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งที่ใช้ในการทดลอง [27]

### 3.3 การควบคุมสถานการณ์การทดลอง

เนื่องด้วยการผลิตโพลีเมอร์ชนิดที่ประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน (ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2) และในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลกระทบของบางตัวแปรในบางขั้นตอนเท่านั้น ต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์ชนิดที่ผลิตได้ จึงทำให้ต้องมีการควบคุมให้ขั้นตอนการผลิตบางขั้นตอนคงที่ (กล่าวคือใช้อุปกรณ์และสถานการณ์การทำงานแบบเดิมตลอด) และปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตขั้นตอนอื่นที่เหมาะสมเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อให้การทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงควบคุมตัวแปรบางตัวและปรับเปลี่ยนตัวแปรบางตัวดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.3.1 ตัวแปรที่ควบคุมให้มีค่าคงที่

ตัวแปรที่ควบคุมให้มีค่าคงที่แยกตามขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

##### 3.3.1.1 ขั้นตอนการผลิตวัสดุด้วยเครื่องผสมระบบปิด

- ก. สูตรการผสม
- ข. ขั้นตอนการผสม
- ค. อุณหภูมิการผสม
- ง. ระยะเวลาผสม
- จ. ระยะเวลาพักสารประกอบอย่างระหว่างกระบวนการ 24

ชั่วโมง

### 3.3.1.2 ขั้นตอนการผสมสารประกอบขางด้วยเครื่องผสมระบบเปิด

- ก. สูตรการผสม
- ข. ขั้นตอนการผสม

### 3.3.1.3 ขั้นตอนการแปรรูป

- ก. ขนาดหัวโค
- ข. ความเร็วรอบในการแปรรูป
- ค. ระยะเวลาพักระหว่างกระบวนการ 2 ชั่วโมง

### 3.3.1.4 ขั้นตอนการอบขาง

- ก. อุณหภูมิอบขาง
- ข. ระยะเวลาอบขาง
- ค. ระยะเวลาพัก 24 ชั่วโมงจึงทำการทดสอบคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์โฟมขางชนิดท่อ

- ง. จำนวนเส้นขางท่อที่เข้าอบ

### 3.3.2 ตัวแปรที่ปรับเปลี่ยน

การทดลองเลือกศึกษาที่ขั้นตอนการผสมสารประกอบขางด้วยเครื่องผสมระบบเปิด ตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนได้แก่

- ก. อุณหภูมิการผสมโดยทดลองผสมสารประกอบขางที่ 76, 78, 80, 82 และ 84 °C (อุณหภูมิผสมมาตรฐาน 78 °C)
- ข. ระยะเวลาเก็บสารประกอบขางก่อนนำไปแปรรูปโดยเก็บสารประกอบขางที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง (ระยะเวลาเก็บสารประกอบขางมาตรฐานไม่เกิน 8 ชั่วโมง)

## 8.4 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแยกรายละเอียดตามขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้

### 3.4.1 ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมระบบปิด

3.4.1.1 จัดเตรียมวัตถุดิบประกอบด้วย ยาง สารตัวเติมหลายประเภท สารต่อต้านการคิดไฟ และสารพลาสติกไซเซอร์ตามสูตรการผลิต (น้ำหนักรวมทั้งหมด 78 กิโลกรัม)

3.4.1.2 ใส่สารตัวเติมทุกประเภท สารต่อต้านการคิดไฟ และสารพลาสติกไซเซอร์ลงในช่องใส่วัตถุดิบของเครื่องผสมระบบปิดตามรูปที่ 3.1 ผสมเป็นเวลา 2 นาที

3.4.1.3 ใส่ยาง ผสมต่ออีก 6 นาที

3.4.1.4 พลิกสารประกอบยางภายในห้องผสมของเครื่องผสมระบบปิด โดยหมุนคันโยกดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผสมต่อเป็นเวลา 7 นาที

3.4.1.5 นำสารประกอบยางออกจากห้องผสม แบ่งสารประกอบยางออกเป็น 6 ก้อนแต่ละก้อนหนัก 13 กิโลกรัม ริดสารประกอบแต่ละก้อนเป็นแผ่นขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร หนา 3 เซนติเมตร ความยาวปกติประมาณ 150 เซนติเมตร ด้วยเครื่องผสมยางระบบเปิด ผึ่งแผ่นยางให้เย็นตัวลง 20 นาที

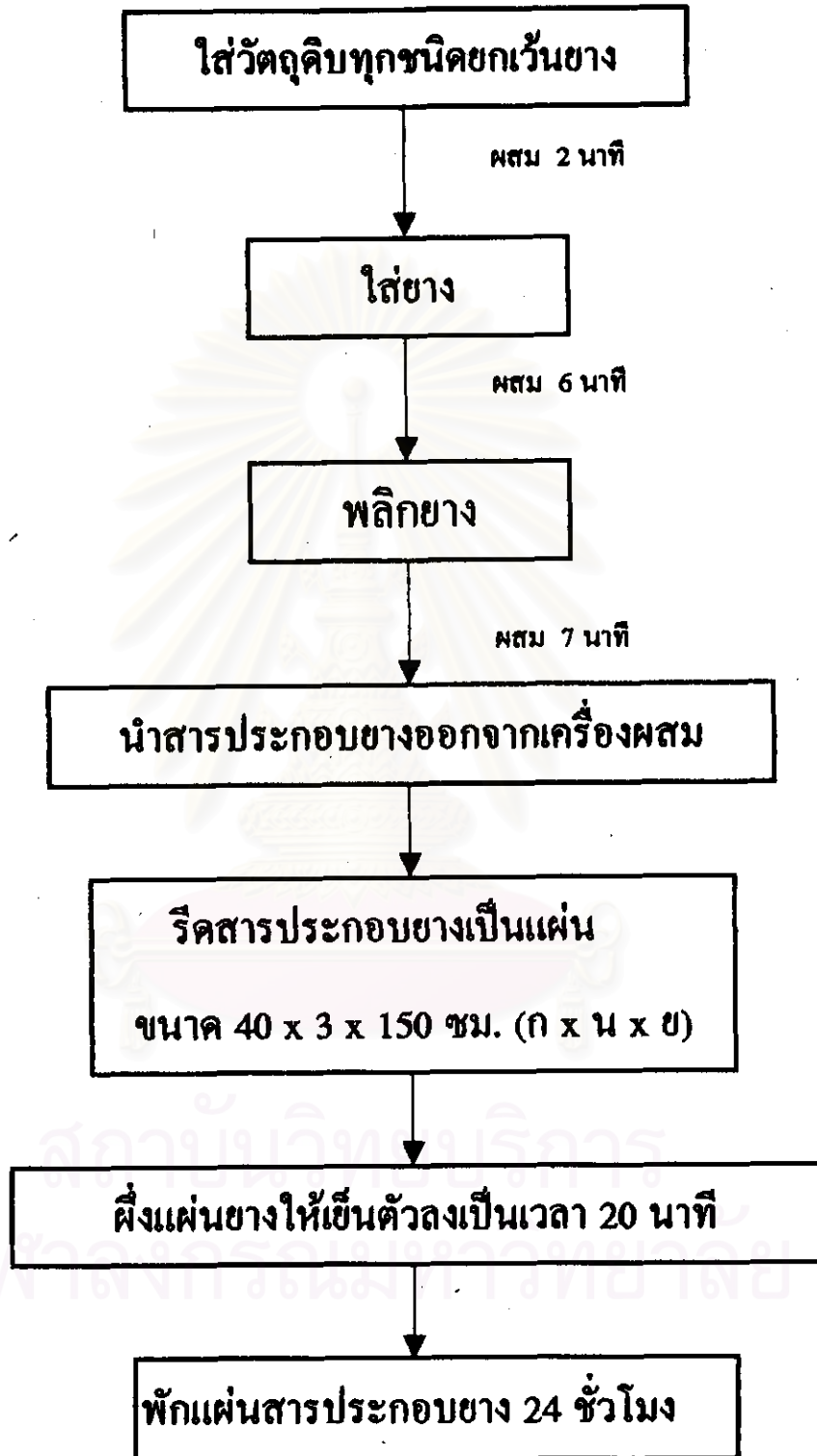
3.4.1.6 เก็บแผ่นสารประกอบยางไว้ที่ชั้นเก็บสารประกอบยาง 24 ชั่วโมง ก่อนนำสารประกอบยางเข้าสู่ขั้นตอนการผสมด้วยเครื่องผสมระบบเปิด

ขั้นตอนการผสมสารประกอบยางในเครื่องผสมระบบปิดแสดงในรูปที่ 3.10

### 3.4.2 ขั้นตอนการผสมสารประกอบยางด้วยเครื่องผสมระบบเปิด

3.4.2.1 จัดเตรียมวัตถุดิบประกอบด้วยสารประกอบยางจากการผสม ในขั้นตอน 3.4.1.6 จำนวน 4 แผ่น รวมน้ำหนักสารประกอบยางเท่ากับ 52 กิโลกรัม สารเชื่อมโยงสายโซ่ สารเร่ง สารกระตุ้นสารเร่ง และตัวฟุ้งตามสูตรการผลิต

3.4.2.2 ริดสารประกอบยางบนลูกกลิ้งของเครื่องผสมระบบเปิด กดปุ่มปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เครื่องควบคุมการใช้เครื่องตามรูปที่ 3.2 เพื่อปรับความหนาของยางให้อยู่ในช่วง 9 - 11 มิลลิเมตร ใส่สารเชื่อมโยงสายโซ่ สารเร่ง และสารกระตุ้นสารเร่ง



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการผสมในเครื่องผสมระบบปิด

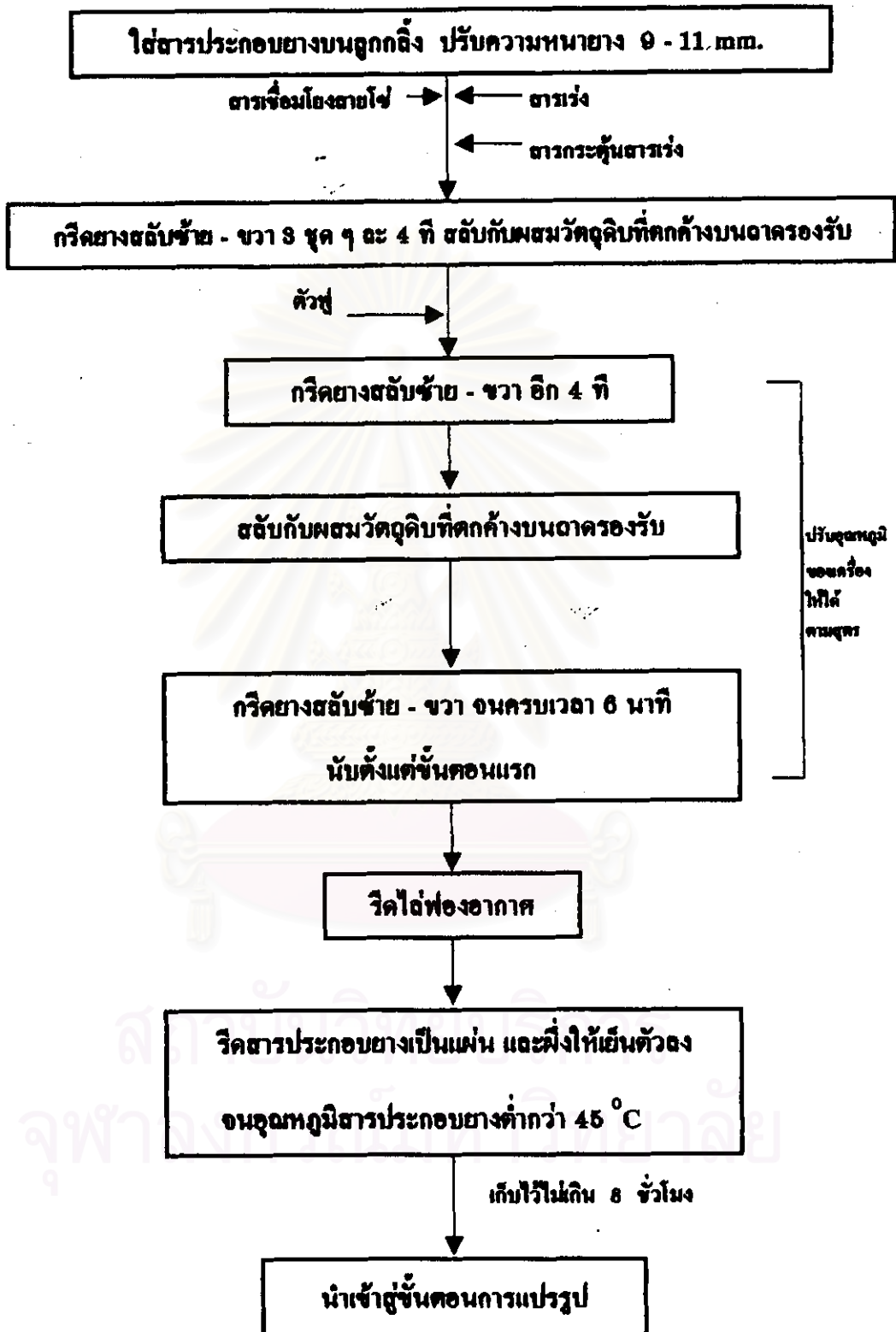
3.4.2.3 กริดยางสลัษ้าย - ขวาชุดละ 4 ที่จำนวน 3 ชุด พร้อมสลัษ้ายกับนำ  
วัดดูคิบและเศษยางที่ตกค้างได้ถูกกึ่งซึ่งมีตาครองรับกัฒเข้ามคสม

3.4.2.4 โส่คัฟฟู กริดยางสลัษ้าย-ขวออีก 1 ชุด (4 ที่) พร้อมสลัษ้ายกับนำ  
วัดดูคิบและเศษยางที่ตกค้างได้ถูกกึ่งซึ่งมีตาครองรับกัฒเข้ามคสม

3.4.2.5 กริดยางสลัษ้าย - ขวอพร้อมวัดอุณหภูมิสารประกอบขงที่  
พันอยู่บนลูกกึ่งด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดจนกระทั่งอุณหภูมิคสมได้ทำ  
กัฒ 76 ° C คมที่กัฒนค (อุณหภูมินี้เป็นคัฒแปรที่ปรับเปลี่นในคัฒละการทคลงเพื่อ  
ศีกษาคผลกระทบ)

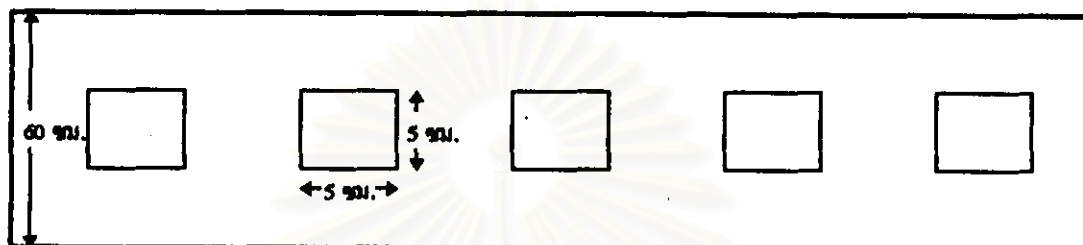
3.4.2.6 กคปุมปรับระขะห้งระหว่างลูกกึ่ง ริดสารประกอบขงให้หนา  
3 มิลลิเมตรเพื่อโล่ฟองอากค และกคปุมปรับระขะห้งระหว่างลูกกึ่ง เพื่อริดสาร  
ประกอบขงทั้งหมคออกเป็นคัฒนเคียวกันขนาดกว้ง 60 เซ็นคิเมตร หนา 1  
เซ็นคิเมตร และมีความขวขึ้นกัฒมวคของสารประกอบขง คัฒนคขงที่อุณหภูมิปกค  
ให้เข็นคัฒ 20 นาคิ

ขั้นคอนการคสมสารประกอบขงในเครื่องคสมระบบเปล็ดคองในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการผสมในเครื่องผสมระบบเปิด

3.4.2.7 ตัดตัวอย่างสารประกอบขนาด  $5 \times 5$  เซ็นติเมตร (ก x ข) จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยสุ่มตัดตัวอย่างตามแนวยาวอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การสุ่มตัดตัวอย่างสารประกอบขางเพื่อนำไปทดสอบความหนืดมูนนี้

3.4.2.8 นำตัวอย่างสารประกอบขางที่ได้จากขั้นตอน 3.4.2.7 ไปทดสอบความหนืดมูนนี้เริ่มต้น ความหนืดมูนนี้ต่ำสุด ระยะเวลาก่อนเริ่มเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ (T5) และระยะเวลาเมื่อความหนืดมูนนี้เพิ่มจากค่าต่ำสุด 35 หน่วย (T35) ด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนนี้ และถือเป็นการทดสอบคุณสมบัติสารประกอบขางเริ่มต้นซึ่งเก็บไว้ 0 ชั่วโมง

3.4.2.9 ตัดสารประกอบขางตลอดความยาวให้ได้สารประกอบขางกว้างประมาณ 10 เซ็นติเมตร แบ่งสารประกอบขางออกเป็น 6 ชุดน้ำหนักสารประกอบขางแต่ละชุดประมาณ 10 กิโลกรัม และม้วนสารประกอบขางแต่ละชุดเป็นวงเก็บไว้

3.4.2.10 ตัดป้ายแสดงบนสารประกอบขาง ระบุระยะเวลาเก็บสารประกอบขางแต่ละชุดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง

3.4.2.11 เมื่อเก็บสารประกอบขางชุดที่ 1 จากขั้นตอน 3.4.2.10 ครบเวลา 2 ชั่วโมงตามแผนการทดลองที่ต้องการ ตัดชิ้นสารประกอบขางตัวอย่างขนาด  $5 \times 5$  เซ็นติเมตร (ก x ข) ตามแนวยาวอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกับขั้นตอน 3.4.2.8

3.4.2.12 นำตัวอย่างสารประกอบขางจากขั้นตอน 3.4.2.11 ไปทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนนี้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.2.8

3.4.2.13 ม้วนสารประกอบข้างเป็นวงอีกครั้งแล้วส่งไปในขั้นตอนแปรรูป

### 3.4.3 ขั้นตอนการแปรรูป

3.4.3.1 นำข้างจากขั้นตอนที่ 3.4.2.13 ไปป้อนเข้าเครื่องอัดรีดข้างผ่านได้ออกมาเป็นท่อทรงกระบอกกลวง เรียงข้างท่อทรงกระบอกกลวงไว้บนภาชนะรองรับพักข้างท่อไว้ที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิข้างท่อลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3.4.3.2 สุ่มข้างท่อทรงกระบอกกลวงจากภาชนะรองรับจำนวน 5 เส้น วัดขนาดความหนา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงใน ความยาว และน้ำหนัก คำนวณหาอัตราการขยายตัวของข้างท่อเมื่อออกจากได (die swell) ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.

### 3.4.4 ขั้นตอนการอบข้างด้วยลมร้อน

3.4.4.1 นำข้างท่อทรงกระบอกกลวงจากข้อ 3.4.3.2 เข้าอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 - 155 °C ระยะเวลา 20 นาที

3.4.4.2 พักโฟมข้างท่อไว้ที่อุณหภูมิปกติ ระยะเวลา 20 นาที

3.4.3.3 วัดขนาดความหนา เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว และน้ำหนัก คำนวณหาอัตราการพองตัวของโฟมข้างชนิดท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ค.

3.4.3.4 คำนวณหาความหนาแน่นของโฟมข้างท่อภายหลังการอบด้วยลมร้อน ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ง.

ทำตามหัวข้อ 3.4.2.11 - 3.4.4.4 ซ้ำอีก 5 ครั้ง เมื่อเก็บสารประกอบข้างครบ ระยะเวลา 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับในขั้นตอนที่ 3.4.2.11

ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอน 3.4.1 - 3.4.4 ซ้ำอีก 4 ครั้ง โดยเปลี่ยนอุณหภูมิการผสมสารประกอบข้างที่ขั้นตอน 3.4.2.5 เป็น 78, 80, 82 และ 84 ชั่วโมงตามลำดับ

จำนวนการทดลองทั้งหมดและภาวะการทดลองที่ปรับเปลี่ยนสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.13



ตารางที่ 3.13 จำนวนการทดลองและสภาวะการทดลอง

การทดลองที่		อุณหภูมิผสมสารประกอบข้าง ในเครื่องผสมระบบเปิด ขั้นตอน 3.4.2.5 ( $^{\circ}\text{C}$ )	เวลาการเก็บสารประกอบข้าง ขั้นตอน 3.4.2.11 (ชม.)
A/1/1	A/1/2	76	2
A/2/1	A/2/2		4
A/3/1	A/3/2		6
A/4/1	A/4/2		8
A/5/1	A/5/2		10
A/6/1	A/6/2		12
B/1/1	B/1/2	78	2
B/2/1	B/2/2		4
B/3/1	B/3/2		6
B/4/1	B/4/2		8
B/5/1	B/5/2		10
B/6/1	B/6/2		12
C/1/1	C/1/2	80	2
C/2/1	C/2/2		4
C/3/1	C/3/2		6
C/4/1	C/4/2		8
C/5/1	C/5/2		10
C/6/1	C/6/2		12

ตารางที่ 3.13 จำนวนการทดลองและสภาวะการทดลอง (ต่อ)

การทดลองที่		อุณหภูมิผสมสารประกอบข้าง ในเครื่องผสมระบบเปิด ขั้นตอน 3.4.2.5 ( $^{\circ}\text{C}$ )	เวลาการเก็บสารประกอบข้าง ขั้นตอน 3.4.2.11 (ชม.)
D/1/1	D/1/2	82	2
D/2/1	D/2/2		4
D/3/1	D/3/2		6
D/4/1	D/4/2		8
D/5/1	D/5/2		10
D/6/1	D/6/2		12
E/1/1	E/1/2	84	2
E/2/1	E/2/2		4
E/3/1	E/3/2		6
E/4/1	E/4/2		8
E/5/1	E/5/2		10
E/6/1	E/6/2		12

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย