บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด และความแข็งของวัสดุ เป็นตัวประเมินสมบัติของพลาสติกเสริมแรง

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานและการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM

2.การตรวจสอบรูปทรงและลักษณะผงพีวีซีเรซิน และเส้นใยแก้ว และตรวจสอบการกระจายของอนุภาคผงวัสดุ

3. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

   3.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

4. การทดสอบสมบัติเชิงกล

   4.1 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง (Tensile Strength)

   4.2 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง (% Elongation)

   4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง (Young 's Modulus)

   4.4 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก (Impact Strength)

   4.5 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด (Compressive Strength)

   4.6 โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด (Compressive Modulus)

   4.7 ความแข็งของวัสดุ (Hardness)

5. การตรวจสอบการกระจายตัวของใยแก้วในพลาสติกเสริมแรงภายหลังการทดสอบแรงดึง

6. การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ

3.1 การเตรียมชิ้นงานและการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM

3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. พีวีซีเรซินชนิดแข็ง ที่มีดัชนีบ่งบอกน้ำหนักโมเลกุล (K) เท่ากับ 58 และ 64 และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.4 *

2. เส้นใยแก้ว ประเภท E-Glass แบบ Chopped Strand Product โดยมี

- ขนาดความยาว 6 มิลลิเมตร และมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 2.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- สารช่วยจับยึด (Coupling Agent) คือ Tri Methyl Silane
- Film Former คือ Phenolic Polyester Emulsion

3. สารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact Modifier) คือ BTA 731 ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.08 โดยมีส่วนผสมดังนี้

- Methyl Methacrylate 20 %
- Butadiene 50 %
- Styrene 30 %

4. สารคงสภาพ (Heat Stability) คือ ASTAB M44

- Composite Heat Stabilizer / Lubricant System
- Basic Lead Sulphate

5. สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) คือ ไดออกทิลพาทาเลท (Di - Octhyl Phthalate : DOP) ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.986

6. สารช่วยขึ้นรูป (Process Aid) คือ PA 20

7. เครื่องผสม (Mixer) ชนิดความเร็วสูง ขนาดความจุ 5 ลิตร

8. เครื่องผสมชนิดลูกกลิ้ง 2 แถว (Two Rolls Mixing Mill)

9. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hydraulic Hot Pressing)

10. แม่พิมพ์ (Mold) รูปดัมเบล (Dumbel) ขนาดมาตรฐานตาม ASTM

11. แม่พิมพ์ (Mold) รูปสี่เหลี่ยม ขนาด 60 X 60 X 6 มิลลิเมตร

หมายเหตุ * จากการสัมภาษณ์บริษัทผู้ผลิตผงพีวีซีเรซิน

3.1.2 วิธีการเตรียมการชิ้นงาน

1. ชั่งส่วนผสมต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1

2. นำส่วนผสมที่ชั่งแล้ว ยกเว้นใยแก้วใส่ลงในเครื่องผสม โดยใช้เวลาในการผสม 15 นาที

3. นำส่วนผสมที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ไปเข้าเครื่องผสมชนิดลูกกลิ้ง 2 แถว (Two Rolls Mixing Mill) โดยควบคุมอุณหภูมิของเครื่องที่ 170 องศาเซลเซียส ส่วนผสมทั้งหมดจะถูกรีดและมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ในกรณีที่มีการเติมใยแก้วลงไป ให้ใส่ภายหลังจากที่ส่วนผสมทั้งหมดเริ่มมีลักษณะเป็นแผ่น และพยายามกลับแผ่นชีทให้ส่วนผสมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที

4. นำแผ่นชีทที่ได้ (Milled Sheet) ออกจากเครื่องผสมชนิดลูกกลิ้ง 2 แถว ไปใส่ในแม่พิมพ์ (Mold) ที่มีขนาด 177 X 177 X 2 มิลลิเมตร สำหรับการทำชิ้นงานเพื่อทดสอบหาความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง และใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาด 60 X 60 X 6 มิลลิเมตร สำหรับการทำชิ้นงานเพื่อทดสอบหาความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก และความแข็งของวัสดุ แล้วนำไปวางที่เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hydraulic Hot Pressing) ที่มีอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เพิ่มความดันในการอัดจนกระทั่งความดันอยู่ที่ประมาณ 1200 - 1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจึงนำไปอัดเย็นที่ความดันประมาณ 1200 ปอนด์ตารางนิ้วเป็นเวลา 0.5 นาที แล้วจึงนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดขึ้นรูป

5. นำแผ่นชีทที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งจะมีขนาด 177 X 177 X 2 มิลลิเมตร ไปตัดให้ได้ชิ้นงานที่เป็นรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้แม่พิมพ์ตัดตามมาตรฐาน Type IV เพื่อนำไปทดสอบหาความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง สำหรับการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก และความแข็งของวัสดุ จะใช้แม่พิมพ์ที่มีขนาด 60 X 60 X 6 มิลลิเมตร สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบหาความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก จะนำแผ่นชีทที่ผ่านขั้นตอนที่ 4 แล้วไปตัดและทำรอยบากให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 256

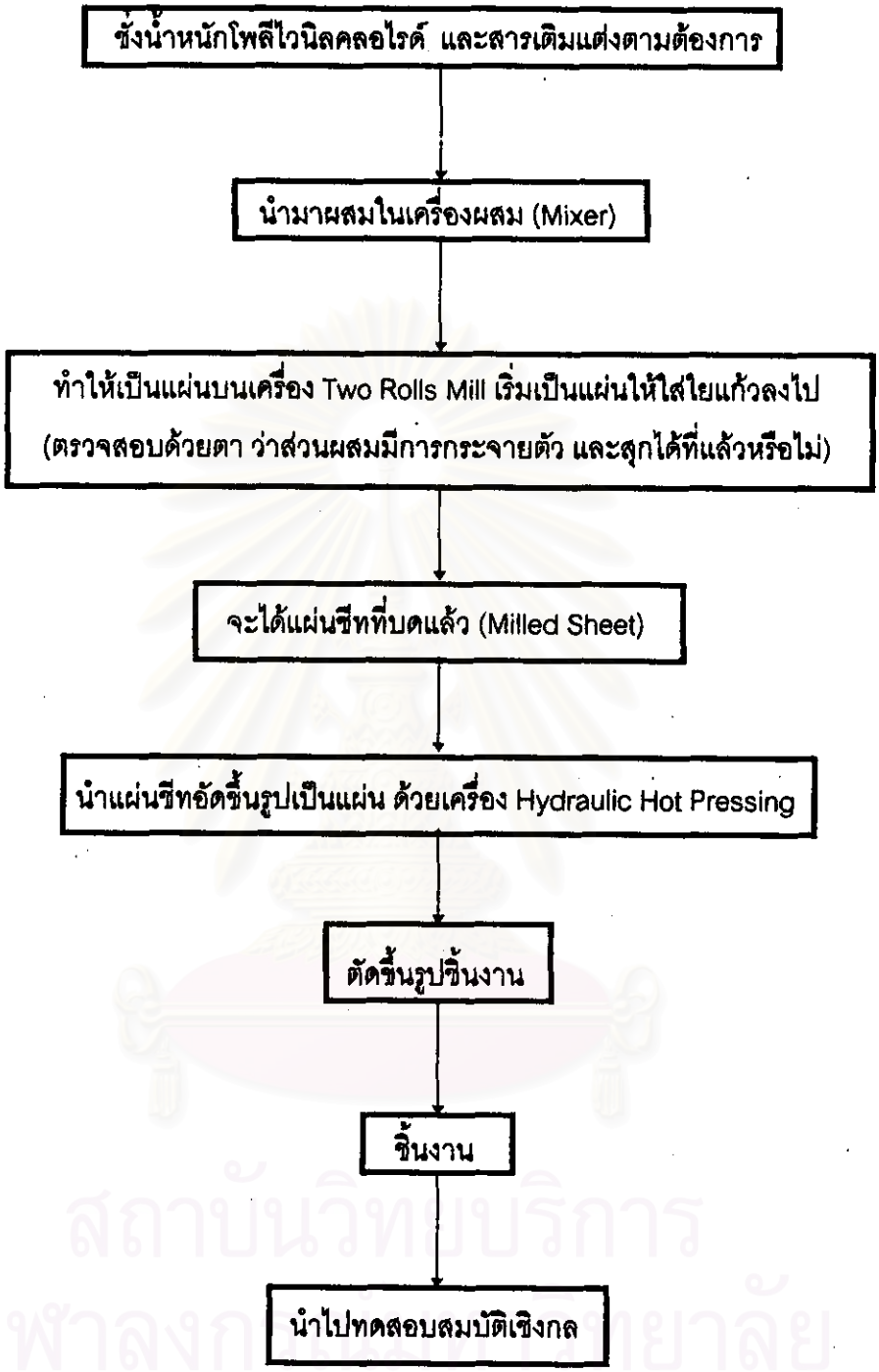
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสม	พีวีซีเรซิน K 58 (phr)	พีวีซีเรซิน K 64 (phr)	สารคงสภาพ (phr)	สารช่วยขึ้นรูป (phr)	สารปรับปรุงแรงกระแทก (phr)	สารเสริมสภาพพลาสติก (phr)	เส้นใยแก้ว (%) โดยน้ำหนัก
A	100	-	5	2	-	-	0
	100	-	5	2	-	-	10
	100	-	5	2	-	-	20
	100	-	5	2	-	-	30
	100	-	5	2	-	-	40
B	100	-	5	2	5	-	0
	100	-	5	2	5	-	10
	100	-	5	2	5	-	20
	100	-	5	2	5	-	30
	100	-	5	2	5	-	40
C	100	-	5	2	-	20	0
	100	-	5	2	-	20	10
	100	-	5	2	-	20	20
	100	-	5	2	-	20	30
	100	-	5	2	-	20	40
D	100	-	5	2	5	20	0
	100	-	5	2	5	20	10
	100	-	5	2	5	20	20
	100	-	5	2	5	20	30
	100	-	5	2	5	20	40
E	-	100	5	2	-	-	0
	-	100	5	2	-	-	10
	-	100	5	2	-	-	20
	-	100	5	2	-	-	30
	-	100	5	2	-	-	40
F	-	100	5	2	5	-	0
	-	100	5	2	5	-	10
	-	100	5	2	5	-	20
	-	100	5	2	5	-	30
	-	100	5	2	5	-	40

หมายเหตุ : การทดลองจะกระทำซ้ำ 2 ครั้ง

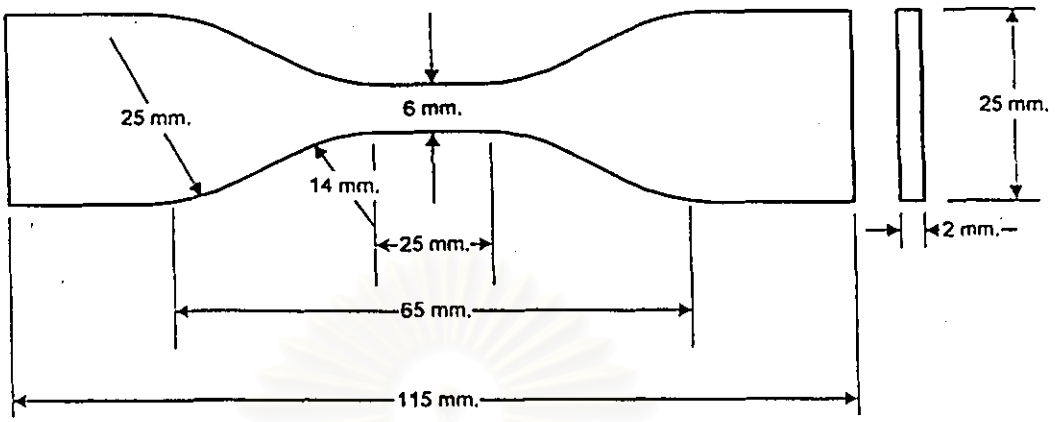
การเตรียมชิ้นงานในการทดลอง



- ทดสอบความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง
- ทดสอบความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก
- ทดสอบความแข็งของวัสดุ
- ทดสอบความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานรูปดัมเบล (Dumbel) ใช้ทดสอบแรงดึง

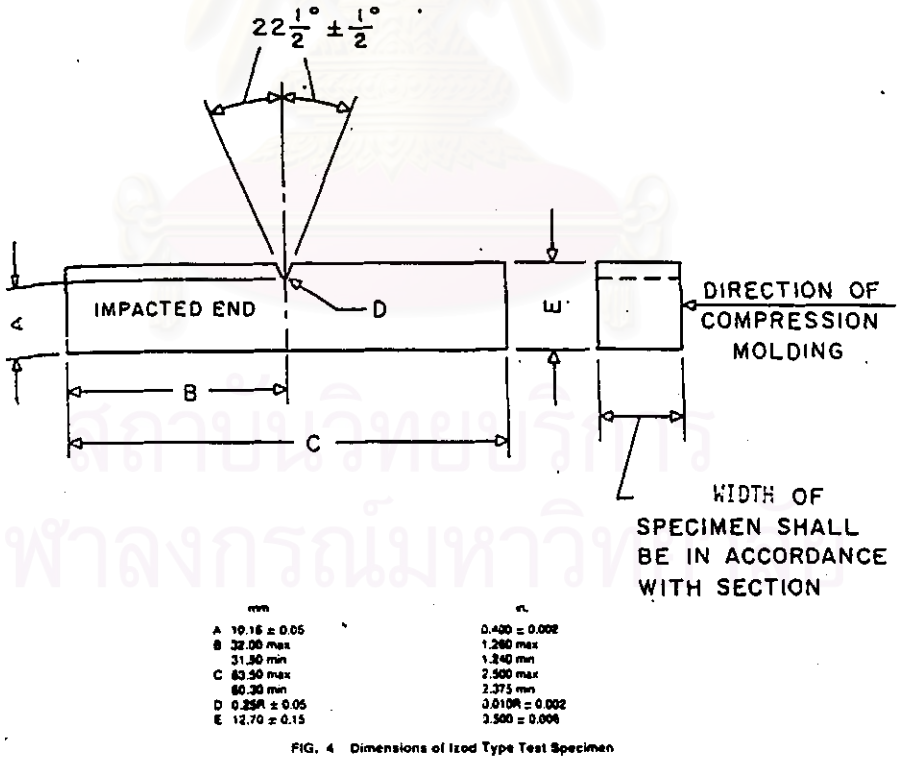


FIG. 4 Dimensions of Izod Type Test Specimen

รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่มีรอยบาก ใช้ทดสอบแรงกระแทก

3.2 การตรวจสอบรูปทรงและลักษณะผงพีวีซีเรซิน และเส้นใยแก้ว

3.2.1 การตรวจสอบรูปทรงและลักษณะผงพีวีซี และเส้นใยแก้ว

เป็นการศึกษาลักษณะรูปทรงและลักษณะผงพีวีซี และเส้นใยแก้วด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) บริษัท Jeol Co.,Ltd. รุ่น JSM-5410 LV ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการนำผงพีวีซี และ ใยแก้ว ไปโรยบนเทป 2 หน้า ที่ติดอยู่บนแท่นทองเหลือง และนำไปผ่านกระบวนการฉาบทอง จะได้ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปส่องตรวจดูโครงสร้างจุลภาค

3.2.2 การตรวจสอบการกระจายของอนุภาคผงวัสดุ

เป็นการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคผงพีวีซีเรซิน เกรด K 58 และ เกรด K 64, สารช่วยขึ้นรูป และสารปรับปรุงแรงกระแทก ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาคผงวัสดุ (Particle Size Distribution Analyzer) ของบริษัท Malvern Instruments Ltd. รุ่น Mastersizer S จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการนำผงวัสดุที่ต้องการศึกษาใส่ลงในของเหลวที่ผงวัสดุสามารถกระจายตัวได้ สำหรับผงวัสดุแต่ละชนิดนั้นใช้น้ำเป็นของเหลว กวนจนกระทั่งผงวัสดุเกิดการกระจายตัวดีในของเหลว แล้วใช้แสงเลเซอร์ส่องผ่านผงวัสดุ เลือกช่วงความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ให้เหมาะสมกับขนาดของอนุภาค จะได้ผลการวิเคราะห์แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคผงวัสดุ

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

นำแผ่นชีทที่เหลือจากจากตัดชิ้นงานรูปดัมเบล มาตัดให้มีขนาดเล็ก เพื่อใช้ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีการแทนที่น้ำ โดยทำการทดลอง 2 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ แสดงไว้ในสมการ 3.1

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = a / (a + w - b) \qquad (3.1)$$

เมื่อ a คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

w คือ น้ำหนักของน้ำรวมภาชนะที่ใช้ทดสอบ (กรัม)

b คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่จมอยู่ในน้ำ ชั่งรวมกับน้ำและภาชนะ (กรัม)

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่นำมาทดสอบในงานวิจัยฉบับนี้ คือ ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง, เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น, โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง, ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก, ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด, โมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงกด, ความแข็งของวัสดุ

3.4.1 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง (Tensile Strength)

นำชิ้นงานรูปดัมเบล เพื่อใช้ทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง, เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น, ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) ของบริษัท Hounsfield Tester Equipment Co.,Ltd. รุ่น H10K-C โดยเลือกใช้รายการ Tensile and Elongation H500L โดยมีเลเซอร์เป็นตัววัดระยะยืดของชิ้นงาน ซึ่งให้ผลการทดสอบชิ้นงาน คือ ค่าความแข็งแรงของวัสดุสูงสุดภายใต้แรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ณ จุดที่ชิ้นงานขาด

สำหรับการทดสอบ มีการกำหนดค่าความเร็วในการทดสอบ (Test Speed) ไว้ที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละตัวอย่าง เท่ากับ 5 ชิ้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงดึง แสดงไว้ในสมการที่ 3.2 ต่อไปนี้

$$\text{Tensile Strength} = \frac{F_{max}}{w * t} \qquad (3.2)$$

เมื่อ F_{max} คือ ขนาดของแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน (กิโลกรัม)

w คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ บริเวณส่วนแคบที่รับแรงดึง (เซนติเมตร)

t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ บริเวณส่วนแคบที่รับแรงดึง (เซนติเมตร)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น แสดงไว้ในสมการที่ 3.3 ต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น} = \frac{(l_{max} - l_o) * 100}{l_o} \qquad (3.3)$$

เมื่อ l_{max} คือ ขนาดความยาวของชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด (เซนติเมตร)

l_o คือ ขนาดความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (เซนติเมตร)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น แสดงไว้ในสมการที่ 3.4 ต่อไปนี้

$$\text{โมดูลัสความยืดหยุ่น} = \frac{(F * l_o)}{(w * t) * (l - l_o)} \qquad (3.4)$$

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงดึงที่ทำให้ความยาวของชิ้นทดสอบเปลี่ยนแปลงเป็น l (กิโลกรัม)

l_o คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์ (Gage Length) (เซนติเมตร)

l คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ขณะใดๆ (เซนติเมตร)

w คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ บริเวณส่วนแคบที่รับแรงดึง (เซนติเมตร)

t คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ บริเวณส่วนแคบที่รับแรงดึง (เซนติเมตร)

3.4.2 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก (Impact Strength)

นำชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 60 x 60 x 6 มิลลิเมตร มาตัดให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 256 และทำรอยบาก เพื่อนำมาทดสอบกับเครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Izod (Izod Impact Tester) ของบริษัท Kao-Tieh รุ่น KT - 7045 B โดยใช้จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 5 ชิ้น

3.4.3 ความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด (Compressive Strength)

นำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาด 10 X 10 X 6 มิลลิเมตร แล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) ของบริษัท Hounsfield Tester Equipment Co., Ltd. รุ่น H10K-C โดยการเลือกใช้รายการ Compression to Extension (N) Bottom Zone โดยกำหนดความเร็วในการทดสอบ (Test Speed) คือ 20 มิลลิเมตรต่อนาที

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกด แสดงไว้ในสมการที่ 3.5 ต่อไปนี้

$$\text{Compressive Strength} = \frac{F_{max}}{A} \qquad (3.5)$$

เมื่อ F_{max} คือ ขนาดของแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการแตกหักเสียหาย

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเครียดภายใต้แรงกด แสดงไว้ในสมการที่ 3.6 ต่อไปนี้

$$\text{ความเครียดภายใต้แรงกด} = \frac{l - l_o}{l_o} \qquad (3.6)$$

เมื่อ l คือ ขนาดความยาวของชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป (เซนติเมตร)

l_o คือ ขนาดความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (เซนติเมตร)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น แสดงไว้ในสมการที่ 3.7 ต่อไปนี้

$$\text{โมดูลัสความยืดหยุ่น} = \frac{(F * l_o)}{A * (l - l_o)} \qquad (3.7)$$

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงกดที่ทำให้ความยาวของชิ้นทดสอบเปลี่ยนแปลงเป็น l

l_o คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ

l คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ขณะใดๆ

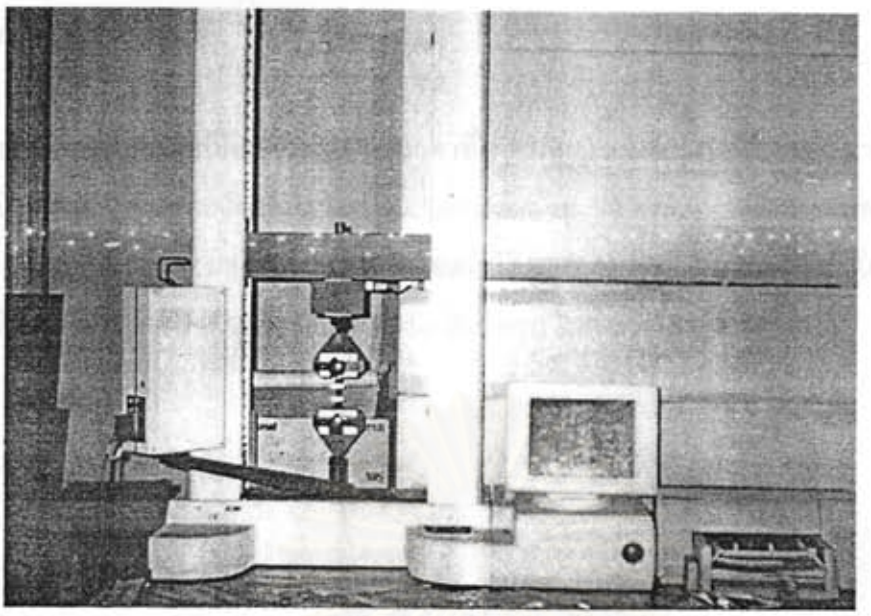
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบบริเวณที่รับแรงกด

3.4.4 ความแข็งของวัสดุ (Hardness)

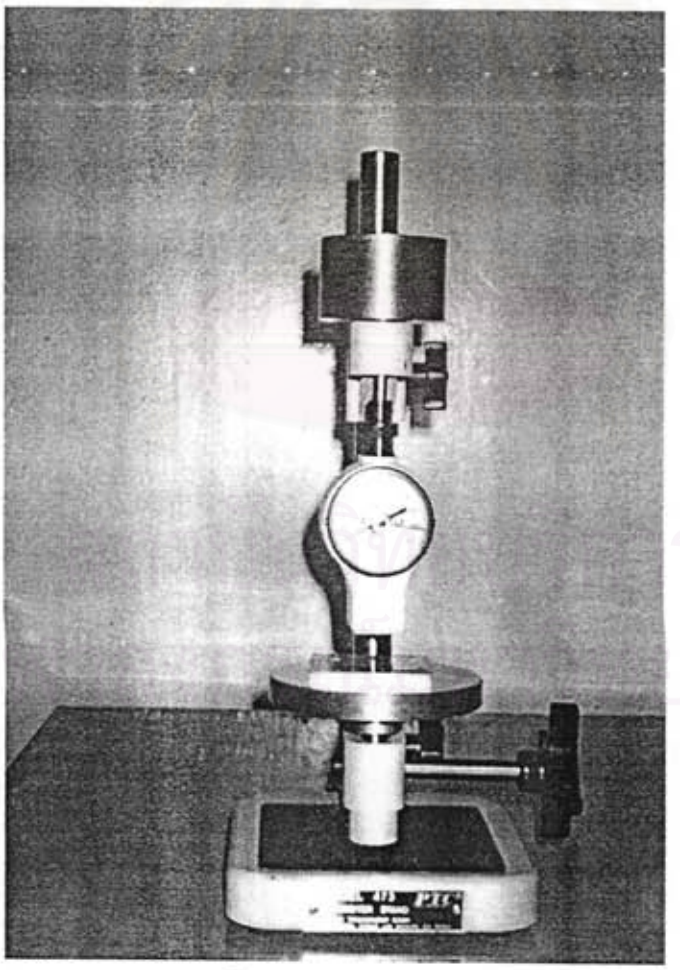
นำชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 60 x 60 x 60 มิลิเมตร มาทำการทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Tester) แบบ ชอร์ (Shore) ชนิดสเกล D ของบริษัท Pacific Transducer Corp. รุ่น 473 โดยใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม วางบนแท่นเพื่อใช้เป็นแรงกดลงบนชิ้นงาน จะอ่านค่าภายหลังจากที่หัวกด กดลงไปในชิ้นงาน และตุ้มน้ำหนักยกขึ้นจากแท่นเป็นเวลา 1 วินาที ทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3.5 การตรวจสอบการกระจายตัวของใยแก้วในพลาสติกเสริมแรงภายหลังการทดสอบแรงดึง

เป็นการศึกษาการกระจายตัวของใยแก้วในพลาสติกเสริมแรงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของบริษัท JEOL Co.,Ltd. รุ่น JSM - 5410 LV ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการตัดชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบแรงดึง ไปติดลงบนแท่นทองเหลือง แล้วนำไปผ่านกระบวนการฉาบทอง จะได้ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปส่องตรวจดูโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester)



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Tester)

I 17906090

3.6 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ

การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของข้อมูล จะนำค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ มาวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล โดยการใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis System) ในการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย