

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. Medium Density Polyethylene (MDPE) บริษัท ไทยโพลิเอทิลีน จำกัด

- เกรด EL-Lene[®] M3204RWP

- เกรด EL-Lene[®] M3804RWP

สมบัติบางประการของ MDPE ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตาราง ที่ 3.1

2. เส้นใยไม้อย่างพาราเตรียมด้วยกระบวนการ TMP จากงานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้
สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้

3. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) บริษัท ควอลิตี้ มีเนอร์ล จำกัด (มหาชน)

- เกรด Coated 1% stearic acid , 1QC และ 4QC

4. Antioxidant บริษัท ไทยโพลิเอทิลีน จำกัด

- Polyad preblend TPE 01G

5. สารช่วยผสม (Compatibilizer)

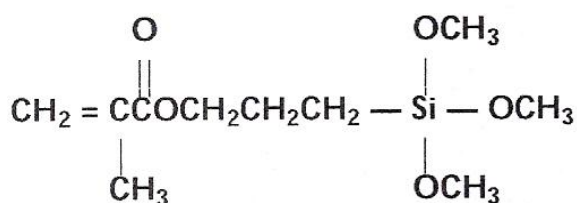
5.1 มาเลอิกแอนด์ไฮดรอกซีกราฟท์พอลิเอทิลีน จาก Chemical Innovation Co., Ltd.

- Fusabond[®] MB226D (Modified Polyethylene)

LLDPE-g-MA, MFI 1.5

5.2 Silane coupling agent จาก Optimal Tech Co., Ltd.

- Silquest[®] A-174 silane (Gamma-Methacryloxypropyltrimethoxy Silane)



6. ไคลอโรมีเทน (CH₂Cl₂)

7. โซลีน

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ MDPE เกรด EL-Lene[®] M3204RWP และ

EL-Lene[®] M3804RWP

Physical Properties	หน่วย	มาตรฐานการทดสอบ	EL-Lene [®] M3204RWP	EL-Lene [®] M3804RWP
Melt Flow Rate	g/10 min	ASTM D 1238	4.0	4.0
Density	g/cm ³	ASTM D 1505	0.932	0.938
Tensile Strength at Yield	kg/cm ²	ASTM D 638	200	200
Tensile Strength at Break	kg/cm ²	ASTM D 638	270	270
Elongation at Break	%	ASTM D 638	1,000	1,000
Flexural Modulus	kg/cm ²	ASTM D 790	5,000	6,700
Izod Impact Strength	kg-cm/cm	ASTM D 256	40	13
Hardness, Shore D	-	ASTM D 2240	60	60
Environmental Stress Cracking Resistance	F ₅₀ , hr	ASTM D 1693	>400	>200
Melting Point	°C	ASTM D 2117	125	128
Vicat Softening Point	°C	ASTM D 1525	110	117
Brittleness Temperature	°C	ASTM D 746	<-70	<-70
Average Particle Size	micron	TPE METHOD	320	350

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทไทยโพลิเอทิลีน จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) :
Gebrüder HAAKE GmbH Co. Ltd. “ThermoHaake Polydrive”
2. เครื่องบดพลาสติก (Grinder): Bosco Engineering Co., Ltd.
3. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine): LLOYD Instrument Co., Ltd.
รุ่น LR 5K
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) : SANDRETTO metalmeccanica รุ่น micron 40
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester): Yasuda Seiki Seisakusho Co., Ltd.
รุ่น 258-PC
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี (Hardness tester, Shore D): Intro Enterprise Co., Ltd.
“Societa Per Azioni” รุ่น Alsfaar

7. เครื่องทดสอบทางความร้อน DSC (Differential scanning calorimeter) : METTLER TOLEDO DSC 822
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) : HITACHI รุ่น S-2500
9. เครื่องตีเยื่อด้วยกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp; TMP) กรมป่าไม้
10. เครื่องทดสอบแรงกดแรงดึง TESTOMETRIC AS รุ่น M500 50KN กรมป่าไม้
11. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) พร้อมตะแกรงร่อนขนาด 50-80 mesh
12. กล้องจุลทรรศน์
13. ตู้อบ
14. เกรียง
15. เครื่องชั่ง
16. ถูมือกันความร้อน
17. เวอร์เนีย
18. ไมโครมิเตอร์
19. กระบอกลวดขนาด 250 cm^3
20. แท่งแก้ว
21. ปีกเกอร์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเยื่อไม้

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเยื่อไม้ยางพาราที่เตรียมได้จากกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp: TMP) ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้

เยื่อไม้ที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermo-mechanical pulp) เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีการผลิตเยื่อทางกลโดยการบด (Refined mechanical pulping) เริ่มจากการนำชิ้นไม้หรือชิ้นวัตถุดิบ เข้านึ่งไอน้ำภายใต้ความดันไอน้ำ จนอุณหภูมิไอน้ำสูงกว่า 140°C ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ลิกนินอ่อนตัว เรียกว่า จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition point) หรือ จุดนิ่มตัว (Softening point) แล้วจึงทำการบดชิ้นไม้ให้แยกออกจากกันภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงเป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใย การบดใช้วิธีการเสียดสี (Attrition action) ของเครื่อง Defibrators หรือ Attrition mills ซึ่งประกอบด้วยจานบดที่มีผิวหยาบเป็นร่อง 2 จาน โดยจานหนึ่งหรือ 2 จานหมุนสวนทางเสียดสีกันให้ชิ้นไม้ที่อยู่ระหว่างจานทั้งสองแตกแยกออกเป็นกลุ่มเยื่อ ผลผลิตของเยื่อที่ได้ประมาณ 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสถานะในการแยกเยื่อ ได้แก่ อุณหภูมิหรือความดันไอน้ำ เวลาในการนึ่งชิ้นไม้และเวลาในการบดเยื่อ จะมีความผันแปรไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้หรือวัตถุดิบ ความหนาแน่นของไม้หรือวัตถุดิบ ความชื้น และรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นไม้

หลังจากเตรียมเส้นใยเสร็จแล้ว นำเส้นใยไม้ที่บดเสร็จแล้วไปล้างด้วยน้ำ อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยก่อนการทดลอง ต้องทำการคัดแยกขนาดอนุภาคเส้นใยไม้ โดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด ร่อนให้ได้ผงไม้ที่มีขนาด 50-80 Mesh แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำให้ความชื้นในผงไม้หมดไป นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ โดยลักษณะของผงไม้ที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปถ่ายลักษณะของเส้นใยไม้ยางพาราจากกระบวนการความร้อนเชิงกล

3.3.2 ขั้นตอนการผสม

1. ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2
2. ทำการผสม MDPE เส้นใยยางพารา และ Antioxidant โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง ปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
3. นำของผสมที่ได้มาผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิที่ 180°C
4. นำของผสมที่ได้มาบดเป็นเม็ด
5. นำเม็ดที่ได้ไปทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
6. นำชิ้นงานคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่
 - 6.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล
 - ทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ได้ค่า ความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด
 - ความแข็งแรงกระแทก ASTM D256
 - ความแข็งกด ASTM D785
 - ทดสอบสมบัติความแข็งแรงโค้งงอด้วยเครื่อง Universal testing machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 790 ได้ค่า Flexural strength และ Flexural modulus
 - 6.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ
 - การดูดซับน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 570
 - 6.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อน
 - Differential scanning calorimeter (DSC)
 - 6.4 ศึกษาสัณฐานวิทยา
 - Scanning electron microscope (SEM)
 - Optical microscope (OM)
 - 6.5 ศึกษาความทนทานต่อปลวก

3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรผสมสุดท้ายที่เลือกแล้วดังตารางที่ 3.3
2. ใส่ ส่วนผสมต่างๆ ยกเว้นเส้นใยไม้ยางพารา ลงในเครื่องผสม (Kneader) ทำการผสมให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ $80-100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที
3. ใส่เส้นใยไม้ยางพารา ผสมต่อจนเข้ากัน
4. นำของผสมที่ได้ผ่านเข้าเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง เพื่อรีดให้เป็นแผ่นที่มีความหนาตามต้องการ ตัดและจัดเรียงลงแม่แบบตามขนาดที่ต้องการ

5. นำแม่แบบที่ได้เข้าเครื่องอัดรีด (Compression) ที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำเข้าเครื่องหล่อเย็น นาน 30 นาที
6. จะได้ชิ้นงานไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตพร้อมที่จะนำไปทดสอบและแปรรูป
7. การทดสอบไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจะทำการศึกษาสมบัติดังต่อไปนี้
 - 7.1 ความแข็งแรงกดอัด (ASTM D 6108-97)
 - 7.2 ความต้านทานการถอนตะปูและสกรู (ASTM D 6117-97)
 - 7.3 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ (ASTM D 6109-97)



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต : A-->B-->C-->D-->E

(A) เครื่องผสม (Kneader)

(B) เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง (2-roll mill)

(C,D) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) (E) ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
MDPE	100
EL-Lene [®] M3204RWP	
EL-Lene [®] M3804RWP	
เส้นใยไม้อย่างพารา	0-70
Antioxidant	0.25
สารช่วยผสม	0-5 %wt*
MAPE (Fusabond [®] MB226D)	
Silane (Silquest [®] A-174 silane)	
CaCO ₃	0-60
ขนาดอนุภาค 1 ไมครอน	
ขนาดอนุภาค 4 ไมครอน	

หมายเหตุ * %wt เทียบกับน้ำหนักของเส้นใย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของสูตรไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในการขึ้นรูปจริง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (kg)
MDPE	50
เส้นใยไม้อย่างพารา	20
Antioxidant	0.125
สารช่วยผสม	0.6
CaCO ₃	30

3.4 การทดสอบ [43]

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้ทำการทดสอบมาตรฐานดัง ตารางที่ 3.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

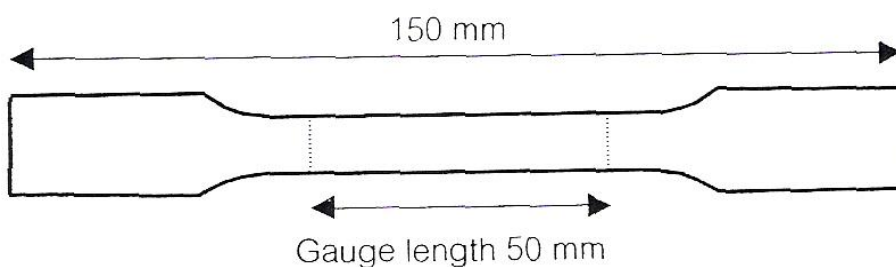
สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก	ASTM D 256	kJ / m^2
ความแข็งกด	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 790	MPa
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ	ASTM D 570	%
ความหนาแน่น	ASTM D 1505-85	g / cm^3
ความแข็งแรงกดอัด	ASTM D 6108-97	MPa
ความต้านทานการถอนตะปูและสกรู	ASTM D 6117-97	N
ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 6109-97	MPa

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

การหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัส (Modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [44] ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละครั้ง โดยชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์แสดงดังรูปที่ 3.3 และสภาวะการทดสอบเป็นดังนี้

- | | | |
|---------------------------------|----|----------|
| - โหลดเซลล์ (Load cell) | 5 | kN |
| - ความเร็วในการดึง (Test speed) | 10 | mm / min |
| - ความยาวเกจ (Gauge length) | 50 | mm |



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด [44]

ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength); } \sigma = F / A$$

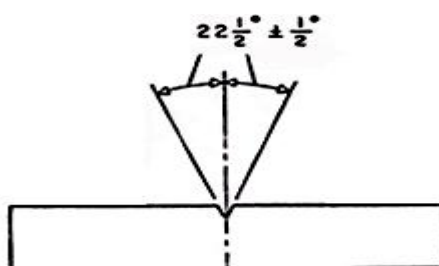
$$\text{โมดูลัส (Tensile modulus); } E = \frac{\text{Difference in stress}}{\text{Difference in corresponding strain}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (\%Elongation at break); } A_t = \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) * 100$$

- เมื่อ F คือแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N)
 A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (mm^2)
 L คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงตัวอย่าง (mm)
 L_0 คือช่วงที่ชิ้นงานแถบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน; Gauge length (mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก

การหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [45] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละครั้ง และลักษณะชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก [39]

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W / A$$

- เมื่อ IS คือค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m^2)
 W คือค่าพลังงานกระแทก (kJ)
 A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่แตกหัก (m^2)

3.4.1.3 ความแข็งกด

การหาค่าความแข็งกด (Hardness tester, shore D) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [46] โดยใช้มาตรฐานแบบ Shore D ในการทดสอบ ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องเรียบ และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm กดเป็นเวลา 15 วินาที จึงอ่านค่า

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 [47] โดยลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 3.5 และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

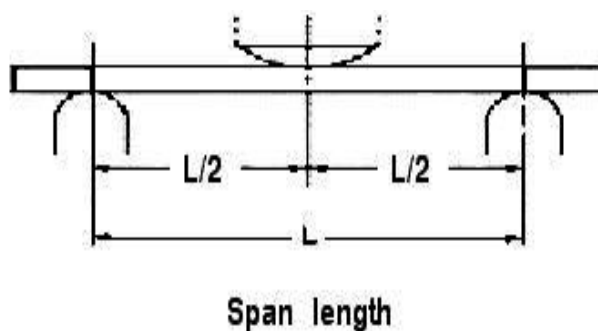
- โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
- ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	mm / min
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	mm

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ; } \sigma_f = \frac{1.5 FL}{Bh^2}$$

$$\text{มอดุลัสโค้งงอ; } E_b = \frac{L^3}{4Bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d}$$

- เมื่อ F คือแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)
 L คือ Span length (40 mm)
 B คือความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 H คือความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 ΔF คือผลต่างของแรงกด ในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (N)
 Δd คือระยะกดโค้งงอ (mm)



รูปที่ 3.5 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ [47]

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 การดูดซับน้ำ

การทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570 [48] โดยการนำชิ้นงานคอมโพสิตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า น้ำหนัก 2.00-2.50 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปไว้ในเคซิเคเตอร์เป็นเวลา 30-45 นาที ชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) และบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 45 วัน และชั่งน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

3.4.3.1 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

DSC เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลของความร้อน (Heat flow) ที่ให้แก่สารตัวอย่างเทียบกับสารอ้างอิงเป็นฟังก์ชันกับเวลาหรืออุณหภูมิ ในทางปฏิบัติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์และเคมีจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy; H) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีนี้เราสามารถใช้อุณหภูมิ DSC ตรวจสอบได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลายชนิด เช่น การเปลี่ยนแปลงมวล รูปร่าง หรือคุณสมบัติทางแสงของสารจะส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิ นอกจากนี้เครื่อง DSC ยังใช้ในการวัดความจุความร้อน (Heat capacity: C_p) ซึ่งเป็นสมบัติที่มีความสำคัญของพอลิเมอร์ เนื่องจากประวัติของกระบวนการผลิต สมบัติเชิงกล และการให้ความร้อนในรูปแบบต่างๆ จะแสดงให้เห็นถึงถึงลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ซึ่งใช้บ่งบอกความเป็นสารนั้นๆ ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย บางครั้งเรียกว่า “เอกลักษณ์ของพอลิเมอร์ (Fingerprint)” นั้นแสดงว่าค่าพลังงานของระบบจะมีค่าเฉพาะเพียงค่าเดียวเท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ C_p เมื่อเทียบกับสารอ้างอิงสามารถใช้ในการบ่งบอกประวัติที่ผ่านมาของพอลิเมอร์ตัวอย่างนั้นได้ การทดสอบนี้จะใช้สภาวะในการทดลองดังนี้

- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ = 10 °C / min
- ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ = 50-600 °C

3.4.4 ความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก [49]

ในการทดสอบความทนทานต่อปลวกจะใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ ใช้ชิ้นงานมีขนาด $2.5 \times 0.22.5 \text{ cm}^3$ จำนวน 5 ชิ้น และบันทึกน้ำหนักของชิ้นงาน แล้วจึงนำชิ้นงานใส่ลงในบ่อซีเมนต์ที่ได้เพาะเลี้ยงปลวกชนิด *Coptotermes gestroi* ซึ่งในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่สัมผัสดินใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 4 สัปดาห์ ทำการประเมินผลการทดสอบโดยการประเมินความเสียหายบนแผ่นวัสดุทดลองด้วยสายตา (Visual rating) บันทึกน้ำหนักของชิ้นงานหลังการทดสอบและคำนวณหาค่าอัตราการเข้าทำลาย การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการทดสอบแบบบังคับแสดงดังรูปที่ 3.6 และมาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตแสดงในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ [49]

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิต [49]

ระดับคะแนน ความเสียหาย	อัตราการเข้าทำลาย (%)	ความเสียหายของวัสดุทดลอง	ประสิทธิภาพ
0	0	ไม่พบความเสียหาย	ดีมาก
1	< 10	เสียหายเล็กน้อย	ดี
2	10 – 40	เสียหายปานกลาง	ปานกลาง
3	40 – 80	เสียหายมาก	ไม่ดี
4	> 80	เสียหายใช้ไม่ได้	ใช้ไม่ได้

3.4.5 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย นำตัวอย่างมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อศึกษาพื้นผิวของชิ้นงาน

3.4.6 การทดสอบสมบัติไม้พลาสติก

3.4.6.1 สมบัติการกดอัด (Compressive properties)

การหาค่า Compressive strength และ ค่า Modulus of Elasticity สามารถทำได้โดยตัดชิ้นงานให้มีความสูงเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวน 5 ชิ้น ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6108-97 [50] โดยมีสภาวะในการทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์	5	kN.
- อัตราเร็วในการกด	25	mm/min

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

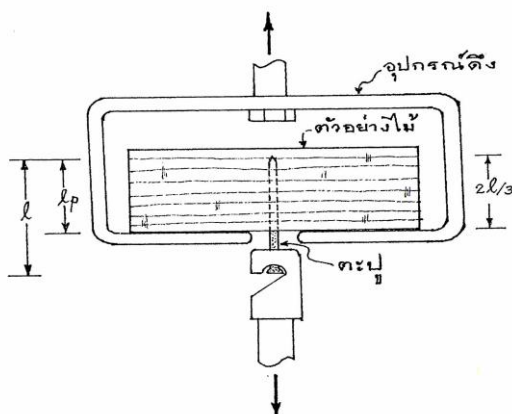
$$\text{ค่า Compressive strength} = \frac{\text{Maximum compressive load}}{\text{Cross section area}} \quad (\text{MPa})$$

$$\text{ค่า Modulus of Elasticity} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \quad (\text{GPa})$$

3.4.6.2 สมบัติการต้านทานการถอนตะปูและสกรู (Mechanical fasteners)

การหาค่าแรงที่ใช้ในการถอนตะปู และแรงที่ใช้ในการถอนตะปูเกลียว ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6117-97 [51] โดยมีวิธีในการทดสอบ ดังนี้

- เตรียมตัวอย่างขนาด 1 x 3 นิ้ว
- นำตะปูตอกลงในตัวอย่างให้จมลงไปในตัวอย่าง 0.5 นิ้ว
(กรณีตะปูควงให้ขันลึกลงไปในตัวอย่างอย่างน้อย 0.75 นิ้ว)
- นำตัวอย่างไปยึดไว้ในอุปกรณ์ทดสอบ ดังรูปที่ 3.7
- ทำการดึงตะปูออกโดยใช้อัตราเร็วในการดึงที่ 25 mm/min
- บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงในหน่วย นิวตัน

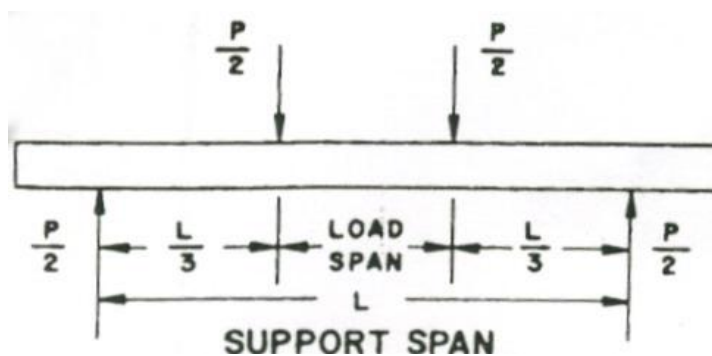


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการถอนตะปูและสกรู

3.4.6.3 สมบัติการโค้งงอ (Flexural properties)

การหาค่า Flexural strength และ Flexural modulus สามารถทำได้โดยตัดชิ้นงานให้มี ความสูงเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง มาจำนวน 5 ชิ้น ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบ อเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D 6109-97 [52] โดยมีลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 3.8 และมีสถานะในการทดสอบ ดังนี้

- โหลดเซลล์ 5 kN.
- อัตราเร็วในการกด 25 mm/min



รูปที่ 3.8 ลักษณะการทดสอบสมบัติการ โค้งงอ [52]

3.4.6.4 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นสามารถทดสอบโดยใช้วิธี Density gradient column ตามมาตรฐาน ASTM D 1505-85 [53] การตรวจสอบความหนาแน่นสารตัวอย่างสามารถทำได้ดังวิธีการต่อไปนี้

เตรียมสารละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2) และไซลีน (Xylene) ในอัตราส่วน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนของสารละลายผสมในแต่ละกระบอกดวง

หมายเลขสารละลาย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CH_2Cl_2 (cm^3)	25	22	20	17	14	11	8	5	3	-
Xylene (cm^3)	-	3	5	8	11	14	17	20	22	25

ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวทำละลายทั้งสองผสมกัน แล้วเทตัวทำละลายเหล่านี้นลงในกระบอกดวงขนาด 250 cm^3 โดยเริ่มเทจากหมายเลข 1 การเทต้องให้ไหลผ่านแท่งแก้วและสัมผัสผิวด้านในของกระบอกดวง เมื่อเทครบ 10 หมายเลขแล้วใช้แท่งแก้วคน 1 ครั้งและปล่อยให้ของเหลวอยู่ในสมดุลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นหย่อนเม็ดพลาสติกมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่นลงในกระบอกดวงครั้งละ 1 เม็ด เม็ดพลาสติกจะลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ตามความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกนั้น ๆ วัดระดับความสูงของเม็ดพลาสติกที่ลอยอยู่จากด้านล่างของกระบอกดวงและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความหนาแน่นกับความสูง เมื่อได้กราฟมาตรฐานให้นำชิ้นตัวอย่างตัดให้มีขนาดพอสมควรและหย่อนลงในกระบอกดวงที่เตรียมนี้ วัดระดับความสูงที่พอลิเมอร์ตัวอย่างลอยอยู่และเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วหาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ตัวอย่าง