

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

- (1) เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดไฮโมพอลิเมอร์ (P700J) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยพอลิเอทิลีน จำกัด มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรดไฮโมพอลิเมอร์

สมบัติ	พอลิโพรพิลีน	มาตรฐานทดสอบ
ครรชนีการไหล (กรัม/10นาที)	12	ASTM D 1238
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	0.910	ASTM D 1505
ความต้านทานแรงดึงยืด (กก./ตร.ซม.)	380	ASTM D 638
ความต้านทานแรงดึงขาด (กก./ตร.ซม.)	250	ASTM D 638
ความยืดที่จุดขาด (%)	500	ASTM D 638
ความต้านทานแรงกระแทก(กก.-ซม./ซม.)	2.5	ASTM D 256
มอดุลัสการโค้งงอ (กก./ตร.ซม.)	15,500	ASTM D 790
จุดอ่อนตัวไวแคท (°C)	155	ASTM D 1525

- (2) เศษผ้าฝ้าย 100 % ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ยูไนเต็ทเท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด และบริษัท ไทยวานิตแวร์ จำกัด

- (3) มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน (MAHPP) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ซีมิโด้ไม้ จำกัด

- (4) กรดสตีริก กรดสังเคราะห์ จาก บริษัท MERCK จำกัด
- (5) กรดไฮโดรคลอริก
- (6) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- (7) โพลีเอทิลีน
- (8) เอทิลแอลกอฮอล์

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทดสอบสมบัติ และเตรียมวัสดุเชิงประกอบ มีดังนี้

	แบบ/รุ่น	ผู้ผลิต
Thermogravimetric Analysis (TGA)	TGA 7	PERKIN ELMER
Differential Scanning Calorimeter (DSC)	DSC 7	PERKIN ELMER
Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)	5100	PERKIN ELMER
Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	Vector 3	BRUKER
Scanning Electron Microscopy (SEM)	JSM-5410LV	JEOL
Contact Angle meter	-	Rame-Hart
Twin Screw Extruder	D-8017	COLLIN
Internal Mixer	D-47055	BRABENDER
Injection Molding	E-80B	ELITE
Universal Testing Machine	LR 10 K	LLOYD
Instron Testing Machine	4502	INSTRON
Digital Impact Tester	No.555	TOYOSEIKI
Notching Machine	Spec. N	TOYOSEIKI

### 3.3 แนวทางการทดลอง

แนวทางการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- (1) การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืน ด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทางเชิงกลเพื่อให้ได้ฝ้ายที่มีลักษณะเหมาะสมในการใช้เป็นสารตัวเติม
- (2) การปรับปรุงและวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของสารตัวเติมฝ้าย
- (3) การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีน จากสารตัวเติมฝ้ายที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุง

ซึ่งสามารถอธิบายได้จากแผนภาพแนวทางการทดลองในรูปที่ 3.1 โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากสารตัวเติมฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืนด้วยวิธีทางเชิงกล เพียงตัวอย่างเดียว เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอิทธิพลของลักษณะของสารตัวเติมที่ได้จากวิธีการแปรสภาพที่แตกต่างกัน ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

### 3.4 วิธีทำการทดลอง

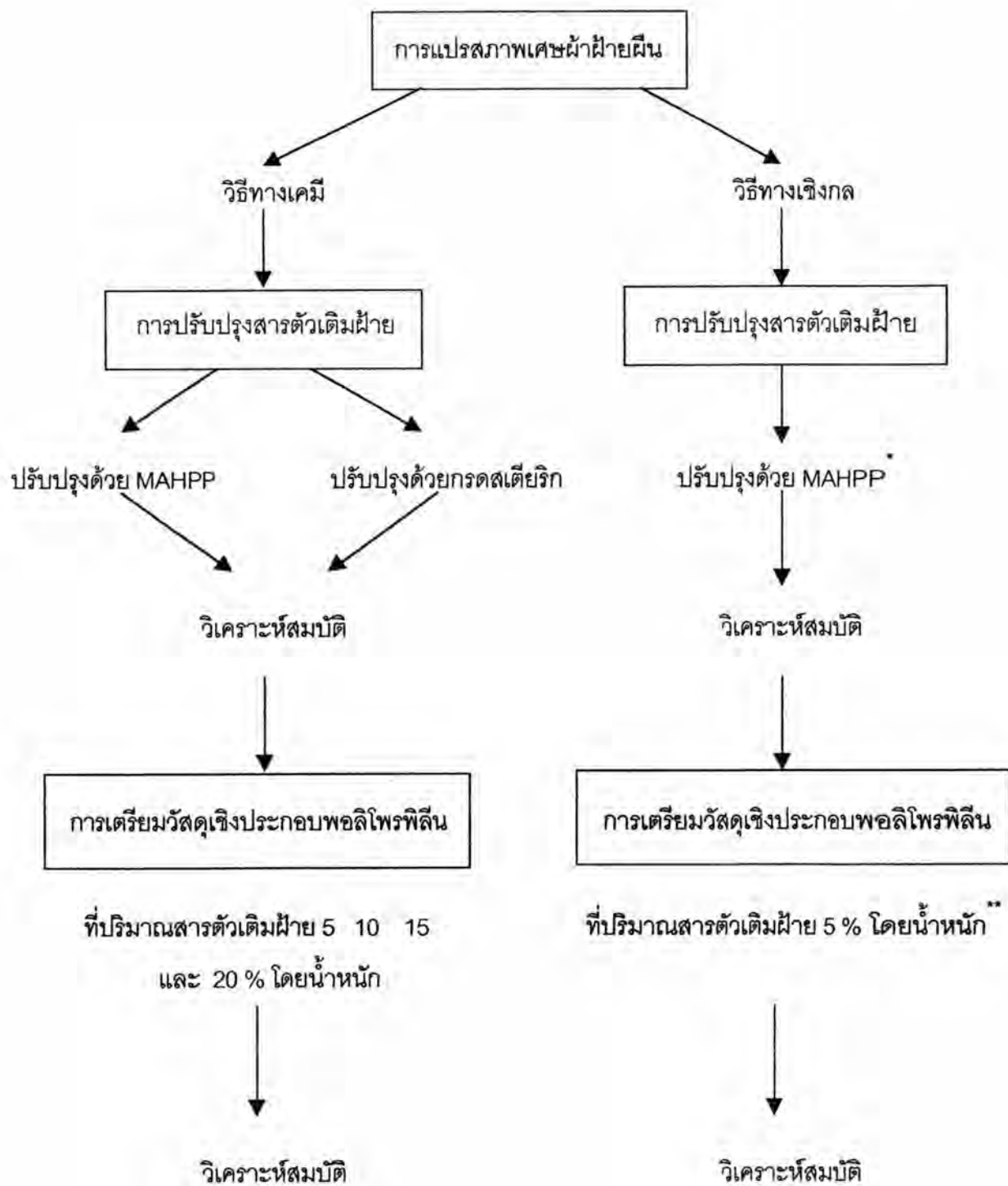
#### 3.4.1 การแปรสภาพเศษผ้าฝ้ายผืน

เนื่องจากเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งจากโรงงานสิ่งทอนั้นมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดต่างๆ กัน จึงต้องนำเศษผ้าเหล่านั้นมาผ่านการแปรสภาพเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาวิธีการแปรสภาพเศษผ้าฝ้าย 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธีทางเคมีและวิธีทางเชิงกล ซึ่งภายหลังจากการแปรสภาพจะได้สารตัวเติมฝ้ายที่สามารถผสมกับพอลิโพรพิลีนได้ ดังนี้คือ

##### 3.4.1.1 วิธีทางเคมี

โดยการไฮโดรไลซิสเศษผ้าฝ้ายด้วยสารละลายกรดเจือจาง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ตัดเศษผ้าฝ้ายผืนให้มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการใส่ลงในขวดสี่คอ
- (2) ชั่งเศษผ้าฝ้ายที่ตัดแล้ว 40 กรัม ใส่ลงในขวดสี่คอ แล้วเติมสารละลายกรด



รูปที่ 3.1 แผนภาพแนวทางการทดลอง

\* เลือกปรับปรุงด้วยสารเคมีที่เหมาะสมเพียงชนิดเดียว

\*\* เลือกเตรียมวัสดุเชิงประกอบเพียงตัวอย่างเดียว ที่ปริมาณสารตัวเติมฝ้ายน้อยที่สุด

ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.5 N ปริมาตร 400 มิลลิลิตรลงในขวดสี่คอ ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในระบบปิดพร้อมด้วยการกลั่นแบบไหลกลับ (reflux condensation) ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

- (3) กรองฝ้ายที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในข้อ (2) และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% เพื่อทำฝ้ายให้เป็นกลาง แล้วตามด้วยการล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนประมาณ 5 ครั้ง
- (4) นำสารตัวเติมฝ้ายที่ได้ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมฝ้ายมีน้ำหนักคงที่

#### 3.4.1.2 วิธีทางเชิงกล

ตัดเศษผ้าฝ้ายผืนให้มีขนาดเล็ก แล้วปั่นผ้าดังกล่าวด้วยเครื่องปั่น ให้ได้เส้นใยสั้นที่มีขนาดเท่าๆ กัน

#### 3.4.2 การปรับปรุงพื้นผิวของสารตัวเติมฝ้าย

นำสารตัวเติมฝ้ายที่ผ่านการแปรสภาพแล้วจากข้อ 3.4.1 มาปรับปรุงด้วยสารเคมี 2 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบหาสารที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของสารตัวเติมฝ้ายดังนี้

##### 3.4.2.1 การปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน

มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีนโดยชั่งสารมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีนมา 10 % โดยน้ำหนักของสารตัวเติมฝ้าย ละลายในตัวทำละลายโทลูอีนปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 110°C จนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน
- (2) แบ่งสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีนที่เตรียมได้จากข้อ (1) มา 250 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วชั่งสารตัวเติมฝ้ายมา 100 กรัม ใส่ลงใน

สารละลายดังกล่าว คงอุณหภูมิในการปรับปรุงไว้ที่  $100^{\circ}\text{C}$  พร้อมด้วยการคนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวน (stirring machine) เป็นเวลา 15 นาที

- (3) กรองแยกสารตัวเต็มฝ้ายออกจากสารละลาย แล้วจึงนำสารตัวเต็มฝ้ายที่ได้แช่ลงในโหลอุ่นร้อน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโคพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับผิวของสารตัวเต็มฝ้ายออกไป
- (4) นำสารตัวเต็มฝ้ายไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารตัวเต็มฝ้ายมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 180 ไมครอน ( $\mu\text{m}$ )

### 3.4.2.2 การปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก

มีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมสารละลายกรดสเตียริก โดยชั่งกรดสเตียริกมา 10% โดยน้ำหนักของสารตัวเต็มฝ้าย ละลายในตัวทำละลายเอทิล แอลกอฮอล์ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
- (2) แบ่งสารละลายกรดสเตียริก ที่เตรียมได้จากข้อ (1) มา 250 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วชั่งสารตัวเต็มฝ้ายมา 100 กรัม ใส่สารตัวเต็มฝ้ายลงในสารละลายดังกล่าวที่ละน้อย พร้อมด้วยการคนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องคน (stirring machine) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- (3) นำบีกเกอร์ที่มีสารตัวเต็มฝ้ายและสารละลายจากข้อ (2) อบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 45 นาที
- (4) กรองแยกสารตัวเต็มฝ้ายออกจากสารละลาย แล้วล้างสารตัวเต็มฝ้ายด้วยอะซีโตนเพื่อกำจัดกรดสเตียริกที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวของสารตัวเต็มฝ้ายออกไป
- (5) นำสารตัวเต็มฝ้ายไปอบให้แห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารตัวเต็มฝ้ายมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 80 ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 180 ไมครอน ( $\mu\text{m}$ )

### 3.4.3 การวิเคราะห์สมบัติของตัวเติมฝ้าย

ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและทดสอบสมบัติต่างๆ ของสารตัวเติมฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAHPP และกรดสเตียริก จากข้อ 3.4.2 เปรียบเทียบกับสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง

#### 3.4.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

##### Scanning Electron Microscope (SEM)

ตรวจสอบและเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของพื้นผิวสารตัวเติมฝ้ายที่ผ่านการแปรสภาพทางเคมีและทางเชิงกล รวมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างทางกายภาพของพื้นผิวสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ของบริษัท JEOL โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าซึ่งติดอยู่บนแท่นทดสอบแล้วทำการเคลือบด้วยทอง ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 KV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,500 เท่า ในการตรวจสอบ

#### 3.4.3.2 โครงสร้างทางเคมี

##### (1) Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

วิเคราะห์และตรวจสอบองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Attenuated Total Reflection (ATR) รุ่น Vector 3 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยทำการวิเคราะห์ที่ความละเอียดในการแปลผล (resolution)  $4\text{ cm}^{-1}$  และ ความเร็วในการสแกน (number of scan) 32 ต่อหนึ่งตัวอย่าง

##### (2) Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA)

วิเคราะห์และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงภาวะทางเคมีของธาตุแต่ละชนิดที่อยู่บนพื้นผิวสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Electron Spectroscopy for Chemical Analyzer รุ่น 5100 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยมี X-ray  $\text{MgK}\alpha$  เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานการกระตุ้นที่ 400 วัตต์ และใช้มุมในการตรวจสอบ 15 องศา



### 3.4.3.3 ค่ามุมสัมผัสของผิววัสดุกับน้ำ

#### Contact Angle Measurements

ตรวจสอบลักษณะและความสามารถในการดูดซึมน้ำของพื้นผิวสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส Goniometer ของบริษัท Rame-Hart และอุปกรณ์ในการหยดน้ำ Microsyringe ของบริษัท Gilmont โดยนำสารตัวเติมฝ้ายไปอบให้แห้งในตู้อบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเตรียมตัวอย่างทดสอบบนกาวสองหน้าซึ่งติดอยู่บนฟิล์มไมลา (milar film) ทำการวัดมุมสัมผัสโดยหยดน้ำกลั่นบนตัวอย่าง และวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยวัดทั้งมุมสัมผัสสูงสุดและมุมสัมผัสต่ำสุด

### 3.4.3.4 สมบัติทางความร้อน

#### Thermogravimetric Analysis (TGA)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature,  $T_d$ ) ของสารตัวเติมฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยสารเคมี ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer รุ่น TGA 7 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $500^{\circ}\text{C}$  อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate)  $20^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลของแก๊ส (flow rate) 40 มิลลิลิตร/นาที



### 3.4.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ

เตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมฝ้าย โดยสารตัวเติมฝ้ายมี 2 ลักษณะคือ สารตัวเติมฝ้ายลักษณะเป็นผงซึ่งได้จากการแปรสภาพด้วยวิธีทางเคมี และสารตัวเติมฝ้ายลักษณะเป็นเส้นใยซึ่งได้จากการแปรสภาพด้วยวิธีทางเชิงกล ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

#### 3.4.4.1 การผสมพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมฝ้าย

##### (1) การผสมด้วยเครื่องผสมเกลียวหอนคู่ (Twin Screw Extruder)

ผสมเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและฝ้ายที่ผ่านการแปรสภาพทางเคมีซึ่งมีลักษณะเป็นผงด้วยเครื่องผสมเกลียวหอนคู่ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยทำการผสมที่อุณหภูมิ 190°C และความเร็วในการผสม 50 รอบ/นาที (rpm) ซึ่งของผสมที่ได้จะอยู่ในรูปของเม็ดพลาสติกที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมผงฝ้าย

ชนิดของตัวอย่าง	พอลิโพรพิลีน (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้าย (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้ายที่ปรับปรุง ด้วย MAHPP (%โดยน้ำหนัก)	ผงฝ้ายที่ปรับปรุง ด้วยกรดสเตียริก (%โดยน้ำหนัก)
1	100	0	0	0
2	95	5	5	5
3	90	10	10	10
4	85	15	15	15
5	80	20	20	20

## (2) การผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer หรือ Brabender)

ผสมเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและฝ้ายที่ผ่านการแปรสภาพทางเชิงกลซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ในอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยทำการผสมที่อุณหภูมิ 185 °C และความเร็วในการผสม 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำของผสมที่ได้ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นไปบดด้วยเครื่องบดหยาบ (Grinder) เพื่อให้ของผสมมีขนาดเล็ก เหมาะต่อการนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบต่อไป

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีนและสารตัวเติมเส้นใยฝ้าย

ชนิดของตัวอย่าง	พอลิโพรพิลีน (%โดยน้ำหนัก)	เส้นใยฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย MAHPP (%โดยน้ำหนัก)
1	100	0
2	95	5

### 3.4.4.2 การขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน

#### การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (injection Molding)

นำเม็ดพลาสติกที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.4.1 มาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบล โดยใช้อุณหภูมิการขึ้นรูป 195 °C ความเร็วรอบของเกิลยวหนอน 90 รอบ/นาที และแรงดันในการฉีด 80 bar

### 3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

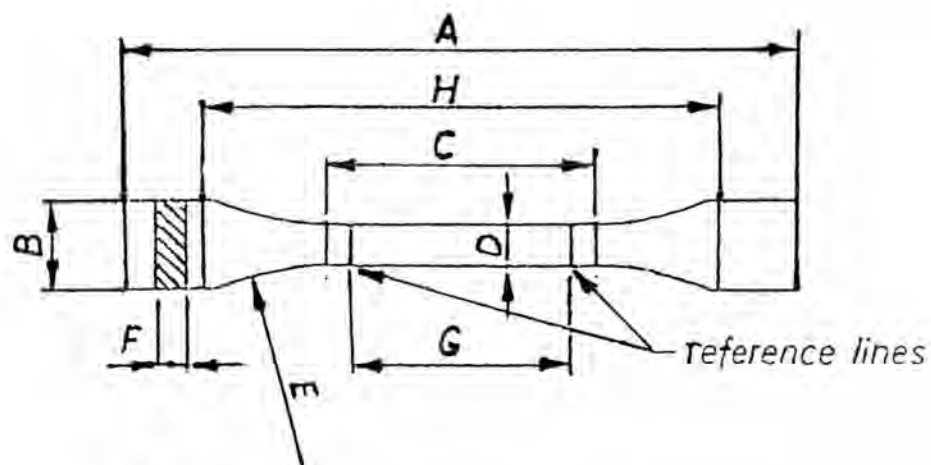
วิเคราะห์สมบัติของชั้นทดสอบวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.4 เปรียบเทียบกับสมบัติของชั้นทดสอบพอลิโพรพิลีน ดังนี้

#### 3.4.5.1 สมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลทุกชนิดกระทำที่ภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50% และอุณหภูมิ 23°C

##### (1) การทดสอบความทนแรงดึง

ทดสอบหาค่าความทนแรงดึง (tensile strength) และ มอดุลัสของแรงดึง (tensile modulus) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น 4502 ของบริษัท INSTRON โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO R 527 (plastics-determination of tensile properties) ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล โดยมีขนาดและรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.4 ใช้แรงในการดึง 10 kN และความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 3.2 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของชิ้นทดสอบรูปดัมเบล ตามมาตรฐาน ISO R 527

สัญลักษณ์	รายละเอียด (มิลลิเมตร)	
A	ความยาวทั้งหมด	150
B	ความกว้างที่ปลายชิ้นทดสอบ	$20 \pm 0.5$
C	ความยาวของ parallel portion	$60 \pm 0.5$
D	ความกว้างของ parallel portion	$10 \pm 0.5$
E	รัศมี (ต่ำสุด)	60
F	ความหนา	3 – 4
G	ระยะเส้นอ้างอิง (gauge length)	$50 \pm 0.5$
H	ระยะการจับชิ้นทดสอบ	$115 \pm 0.5$

### (2) การทดสอบความทนแรงดัดโค้ง

ทดสอบหาค่าความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) และมอดุลัสของแรงดัดโค้ง (flexural modulus) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LR10K ของบริษัท LLOYD โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 178 (plastics-determination of flexural properties) แบบ three point bending ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $60 \times 10 \times 3$  มิลลิเมตร มีระยะระหว่างหัวกด (span length) 48 มิลลิเมตร ใช้แรงในการกด 10 kN และความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตร/นาที

### (3) การทดสอบความทนแรงกระแทก

ทดสอบหาค่าความทนแรงกระแทก (impact strength) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Digital Impact Tester รุ่น No.555 ของบริษัท TOYOSEIKI โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 179 (plastics-determination of Charpy impact strength) ซึ่งมีชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $80 \times 10 \times 3$  มิลลิเมตร โดยทำการบาก (notch) แบบ A มีรัศมีของรอยบาก 0.25 มิลลิเมตร ความลึก 2.0 มิลลิเมตร มีระยะระหว่างการวาง (span support) 60 มิลลิเมตร และใช้แรงในการตี 0.5 J

### 3.4.5.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหัก

#### Scanning Electron Microscopy (SEM)

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ของบริษัท JEOL โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการหักวัสดุเชิงประกอบในไนโตรเจนเหลว และนำส่วนของพื้นผิวที่แตกหักติดบนแท่นทดสอบแล้วทำการเคลือบด้วยทอง ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนพลังงาน 15 KV และกำลังขยายในช่วง 300 ถึง 2,500 เท่า ในการตรวจสอบ

### 3.4.5.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570-95 (standard test method for water absorption of plastics) ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- (1) หาน้ำหนักแห้งของชิ้นงาน โดยทำการอบชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นทันทีในเดซิเคเตอร์แล้วจึงชั่งน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสี่ตำแหน่ง
- (2) นำชิ้นทดสอบจากข้อ (1) ไปแช่น้ำ ในลักษณะที่ชิ้นงานจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาโดยไว้ที่อุณหภูมิ 23 °C
- (3) หาน้ำหนักเปียกของชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานจากข้อ (2) ขึ้นมาจากน้ำ แล้วเช็ดน้ำที่เกาะรอบชิ้นงานออกด้วยผ้าสะอาด แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักเปียกทันที โดยที่จะทำการชั่งน้ำหนักเปียกของชิ้นทดสอบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเริ่มแรกจะชั่ง ทุก 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 วัน และหลังจากนั้นจะชั่งทุก 1 วันเป็นเวลา 1 สัปดาห์
- (4) คำนวณหา เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

#### 3.4.5.4 สมบัติทางความร้อน

##### (1) Thermogravimetric Analysis (TGA)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature,  $T_d$ ) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer รุ่น TGA 7 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $600^{\circ}\text{C}$  อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (heating rate)  $20^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  ภายใต้ภาวะแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลของแก๊ส (flow rate)  $40$  มิลลิลิตร/นาที

##### (2) Differential Scanning Calorimetry (DSC)

วิเคราะห์หาอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallization temperature,  $T_c$ ) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter รุ่น DSC7 ของบริษัท PERKIN ELMER โดยการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างในรูปแบบ heat-cool-heat ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $250^{\circ}\text{C}$  ให้ความร้อนครั้งแรกในอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (first heating rate)  $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  หลังจากนั้นจึงลดอุณหภูมิลับมาที่  $50^{\circ}\text{C}$  ในอัตราการลดอุณหภูมิ (cooling rate) เป็น  $20^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  แล้วให้ความร้อนครั้งที่สองในอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (second heating rate)  $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  เช่นเดียวกับครั้งแรก