

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 ผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

การเติม CPE ซึ่งเป็นสารปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกในปริมาณ 8 phr และเติม EVA (Ethylene-vinyl acetate) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ในปริมาณ 10 phr มีผลทำให้วัสดุผสม มีค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) เพิ่มขึ้น ตามลำดับ และ ยังพบว่าการเติมผงไม้ส่งผลให้ ค่าความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากผงไม้เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ดังนั้น ผงไม้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและในระหว่างการทดสอบ จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม มีค่าลดลง และอาจมีสาเหตุมาจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ภายในชิ้นงานที่เกิดจากการใช้ผงไม้ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวจึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเฟส ผลของค่าความทนแรงกระแทกมีลักษณะคล้ายคลึงกับงานวิจัย ของ Bledzki และ Gassan

#### 5.2 ผลของชนิดและปริมาณ เศษ EVA ที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

การเติมเศษ EVA และ EVA/PE ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ในปริมาณ 10 phr ให้ค่าความทนแรงกระแทกสูงที่สุดคือ  $3.59 \text{ kJ/m}^2$  และ  $3.38 \text{ kJ/m}^2$  ตามลำดับ ในขณะที่การเติม EVA Foam ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้ว ไม่ช่วยทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่กลับมีค่าลดลงเล็กน้อย ตามปริมาณที่ใส่ลงไป เนื่องจากการกระจายตัวของ โฟม EVA ในพีวีซีเมทริกซ์ น่าจะเกิดขึ้นได้ยาก เพราะผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้เกิดร่างแหในโครงสร้างของ EVA จึงไม่ทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

### 5.3 ผลของปริมาณสารผสมระหว่าง EVA กับ Silane ที่มีต่อสมบัติวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

การเติม เศษ EVA ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ ในปริมาณ 10 phr และ 20 phr ไม่ต้องใส่ Silane (N-(2-Aminoethyl)-3- aminopropyltrimethoxysilane) แต่ถ้าใช้ เศษ EVA ในปริมาณมาก คือปริมาณ 30 phr ควรใส่ Silane ในปริมาณ 5 phr เพื่อเพิ่มค่าความทนแรงกระแทก

พบว่า การเติม Silane ที่ปริมาณ 10 phr ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) สูงที่สุด คือ 86.99 MPa, 4386.23 MPa ตามลำดับ และการเติมเศษ EVA ที่ 5 phr ให้ค่าสมบัติความต้านทานการโค้งงอ (Flexural properties) สูงกว่าการเติมเศษ EVA ที่ 0 phr, 10 phr, 20 phr และ 30 phr ส่วนการเติม Silane ที่ปริมาณ 10 phr มีผลทำให้ ค่าสมบัติความต้านทานการโค้งงอ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

### 5.4 ผลของการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane และ NaOH ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้

ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วยวิธีการ แช่ NaOH และ แช่ Silane ที่ปริมาณสารปรับปรุง 1เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของผงไม้โดยทั่วไปพบว่า การปรับปรุงผิวผงไม้ด้วยวิธีการแช่ NaOH ค่าความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สาเหตุที่ทำให้ค่าความทนแรงกระแทก ไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนอาจเนื่องมาจากกระบวนการที่ทำให้เส้นใยเกิดการบวมและกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยผงไม้ไม่สมบูรณ์ (Bledzki and Gassan, 1999) และการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วยวิธีการแช่ Silane ค่าความทนแรงกระแทก ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน อาจเนื่องมาจากจำนวนหมู่ Methoxy มีน้อยส่งผลให้มีการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะทางเคมีระหว่างเฟสมีปริมาณน้อย และโอกาสที่สารปรับปรุงส่วนเกินเกิดเป็นพอลิไซลอคเซน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ มีโอกาสน้อย ส่งผลทำให้โอกาสการพันกัน (Entanglement) ของพอลิไซลอคเซนกับพีวีซีเมทริกซ์มีน้อย (Chiang และ Hu, 1999) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ค่าความทนแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่ชัดเจนมากนัก

ค่าการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ก่อนและหลังการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วยวิธีการ แช่ NaOH และ แช่ Silane ที่ปริมาณสารปรับปรุง 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้โดยทั่วไปพบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง สาเหตุที่ทำให้ค่าการโค้งงอของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน มีสาเหตุในทำนองเดียวกันกับค่าความทนแรงกระแทก

## 5.5 เปรียบเทียบผลการทดลองวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ที่ทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกับไม้ยางพารา

ค่าความทนแรงกระแทก ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความทนแรงกระแทก (Impact strength) อยู่ในช่วงที่ต่างกันคือไม้แบบตามเส้นมีค่าความทนแรงกระแทก  $23.31 \text{ kJ/m}^2$  และไม้ทางขวาง  $0.6 \text{ kJ/m}^2$  ค่าที่แตกต่างกันมากอาจเนื่องมาจาก ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม้ที่แตกต่างกัน สูตรที่เติม EVA 10 phr (สูตรเติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr) ให้ค่าความทนแรงกระแทก  $3.59 \text{ kJ/m}^2$  ซึ่งสูงกว่าวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรอื่นๆ เนื่องจาก EVA มีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อทำการเติมลงในวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ จึงทำ EVA เข้าไปแทรก กระจายตัวอยู่ในเฟสของพีวีซี ส่งผลให้วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้เพิ่มความสามารถการดูดซับแรงกระแทก (Energy absorption) ขึ้น (Folkes และ Hope, 1993) จึงทำให้ค่าความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น การปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH ให้ค่าความทนแรงกระแทก  $3.64 \text{ kJ/m}^2$  มีค่าต่ำกว่าการปรับปรุงผิวผงไม้ ด้วย Silane ซึ่งมีค่าความทนแรงกระแทก  $3.85 \text{ kJ/m}^2$

ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) อยู่ในช่วงที่ต่างกันมาก คือไม้แบบตามเส้น มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ  $121.15 \text{ MPa}$  ค่ามอดุลัสโค้งงอ  $8557.37 \text{ MPa}$  และไม้ทางขวาง  $13.09 \text{ MPa}$  ค่ามอดุลัสโค้งงอ  $609.34 \text{ MPa}$  ค่าที่แตกต่างกันมากอาจเนื่องมาจาก ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม้ที่แตกต่างกัน การเติม Silane ในสูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, Silane 10 phr ให้ค่าการโค้งงอ ซึ่งสูงกว่าวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรอื่นๆ คือความแข็งแรงโค้งงอ  $86.99 \text{ MPa}$  ค่ามอดุลัสโค้งงอ  $4386.23 \text{ MPa}$  เนื่องจาก Silane มีผลต่อการเข้าไปยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ จึงทำการดัดงอทำได้ยากขึ้น ส่วนการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับสูตร PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวผงไม้

ค่าความแข็งกด (Hardness) ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ และไม้ พบว่าไม้ทั้งสองแบบให้ค่าความแข็งกด อยู่ในช่วงเดียวกันคือ ไม้แบบตามเส้นมีค่าความแข็งกด 59.20 Shore D และไม้ทางขวาง 55.80 Shore D ในส่วนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ สูตรที่เติม PVC, CPE ให้ค่าความแข็งกด 74.20 Shore D เมื่อทำการเติมไม้ (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE) ให้ค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้นเป็น 75.60 Shore D ทำการเติม EVA 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr) ให้ค่าความแข็งกดลดลงเป็น 73.40 Shore D เนื่องจาก EVA มีความยืดหยุ่นตัวสูงเมื่อทำการเติมลงในวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้แล้วจึงทำให้วัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้มีความนิ่มเพิ่มขึ้นส่งผลให้รับแรงกดได้มากขึ้น เมื่อทำการเติม Silane 10 phr (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, Silane 10 phr) ให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 78.60 Shore D เนื่องจาก Silane มีผลต่อการเข้าไปยึดเกาะระหว่างเฟสของพีวีซีและผงไม้ แต่เมื่อทำการเติม EVA 10 phr ลงไปเพิ่ม (สูตรที่เติม PVC, ไม้, CPE, EVA 10 phr, Silane 10 phr) ค่าความแข็งกดลดลงเป็น 76.20 Shore D ส่วนการปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย NaOH และ Silane ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงไม้ พบว่าค่าความแข็งกดของวัสดุผสมมีค่าเปลี่ยนแปลง เล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตร PVC, ผงไม้, CPE, EVA 10 phr ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวผงไม้

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของไม้ พบว่าไม้ ทั้งไม้แบบตามเส้น และไม้ทางขวาง ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption) แตกต่างกันเล็กน้อยแต่มีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ ซึ่งสูตรที่เติม PVC, CPE ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ต่ำที่สุดและค่อนข้างคงที่ เมื่อเทียบกับการเติมผงไม้ในสูตรอื่นๆ ซึ่งพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัดเจน

ค่าความหนาแน่นไม้แบบตามเส้นกับไม้แบบทางขวางมีความหนาแน่น 0.61 g/cc และ 0.64 g/cc ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ พบว่าค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมาก อาจเนื่องจากไม้แบบตามเส้นกับไม้แบบทางขวางมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.61 g/cc – 0.64 g/cc และสูตร PVC, CPE มีความหนาแน่น 1.41 g/cc ทำให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ของสูตรต่างๆ มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันมาก

## 5.6 การวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ และไม้ยางพารา

คิดต้นทุนของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้ ที่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีคือ สูตร PVC Scrap ที่ปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักผงไม้ ให้สมบัติความทนแรงกระแทก (Impact strength) ที่สูงที่สุดมีต้นทุนของวัตถุดิบ 28.26 บาทต่อกิโลกรัม และสูตร PVC Scrap เติม Silane 10 phr ให้สมบัติความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ที่สูงที่สุดมีต้นทุนของวัตถุดิบ 176.11 บาทต่อกิโลกรัม

ถ้านำราคาต้นทุนของวัตถุดิบมาคิดเปรียบเทียบกับ PVC Virgin จะพบว่าต้นทุนของ PVC Virgin ในการนำมาทำวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้จะมีราคาต้นทุนของวัตถุดิบอยู่ที่ 72.88 บาทต่อกิโลกรัม (PVC Virgin 100 บาทต่อกิโลกรัม) ทำให้ทราบว่าสูตร PVC Scrap ที่ปรับปรุงผิวผงไม้ด้วย Silane 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักผงไม้ ให้สมบัติความทนแรงกระแทกที่สูงที่สุด มีต้นทุนของวัตถุดิบถูกกว่าการใช้ PVC Virgin ที่ 44.62 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนสูตร PVC Scrap เติม Silane 10 phr ให้สมบัติความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอที่สูงที่สุด มีต้นทุนของวัตถุดิบสูงกว่าการใช้ PVC Virgin ที่ 103.23 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งไม้ยางพารามีราคาขายที่ 30 บาทต่อกิโลกรัม

## 5.7 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการนำวัสดุธรรมชาติชนิดอื่นๆ มาทำการผสมกับเศษพีวีซี เช่น แกลบ เส้นใยชนิดอื่น
2. ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของผงไม้ ที่มีต่อวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้
3. ศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เช่น สารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสง สารกันเชื้อรา
4. ศึกษาอิทธิพล อุณหภูมิในการผสมและขึ้นรูปที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสมพีวีซีกับผงไม้