บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลงานวิจัยที่ผ่านมา

วัสดุผสม (Composite material) คือ วัสดุที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่าผสมรวมกันโดยมีองค์ประกอบหลัก คือ วัสดุเมทริกซ์ และองค์ประกอบรอง คือ วัสดุเสริมแรงกับสารเชื่อมประสานพวกเรซิ่นที่เข้ากันได้ เมื่อผสมรวมกันและผ่านกระบวนการแปรรูป จะทำให้ได้วัสดุที่มีลักษณะเฉพาะตามที่ต้องการ การผลิตวัสดุผสมจึงเป็นการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ เพื่อใช้งานด้านวิศวกรรม ซึ่งสมบัติของวัสดุผสมขึ้นอยู่กับ การยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง สมบัติของเมทริกซ์และสารเสริมแรง ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง ปริมาณสารเสริมแรง กระบวนการผลิต การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง และช่องว่างภายในวัสดุผสม สำหรับงานวิจัยนี้วัสดุในการวิจัย ประกอบด้วย

2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composite)

พอลิเมอร์คอมโพสิตเป็นวัสดุที่มีหลายเฟสอยู่รวมกัน โดยมีองค์ประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดผสมรวมกัน [4] พอลิเมอร์คอมโพสิต ประกอบด้วย องค์ประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่าผสมอยู่ร่วมกัน โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) องค์ประกอบรองคือ วัสดุเสริมแรง (Reinforcing agent) เมื่อองค์ประกอบทั้ง 2 ชนิดอยู่ร่วมกันทำให้ได้วัสดุที่มีลักษณะเฉพาะตามที่ต้องการ การผลิตวัสดุเชิงประกอบจึงเป็นการปรับปรุงสมบัติของวัสดุเพื่อการใช้งานทางวิศวกรรม สมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชิงประกอบ ขึ้นอยู่กับ [6]

1. การยึดเหนี่ยวระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง
2. สมบัติของเมทริกซ์และสารเสริมแรง
3. ปริมาณของสารเสริมแรง
4. ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
5. กระบวนการผลิต
6. การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง
7. ช่องว่างและความสม่ำเสมอภายในวัสดุเชิงประกอบ
8. รูปร่างและสมบัติของหน้าตัดรวมถึงลักษณะการจัดวางวัสดุในการใช้งาน

2.2 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix)

พอลิเมอร์เมทริกซ์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มและยึดส่วนวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกัน [7] ดังนั้นพอลิเมอร์เมทริกซ์มักมีความเหนียวสูง มีค่าความแข็งแรง และมอดูลัสต่ำกว่าสารเสริมแรง หน้าที่หลักๆ ของพอลิเมอร์เมทริกซ์ คือ

- รักษาความเสถียรในรูปร่างและขนาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต
- ช่วยทำให้วัสดุเสริมแรงกระจายตัว
- สามารถกระจายถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังวัสดุเสริมแรงได้
- ช่วยให้วัสดุมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้

พอลิเมทริกซ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการแปรรูปหรือพฤติกรรมในกระบวนการแปรรูปเมื่อได้รับความร้อน คือ เทอร์โมเซ็ท (Thermoset) และเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) โดยในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะเทอร์โมพลาสติกกลุ่มที่เป็นพลาสติกทางการค้าหรือพลาสติกที่มีการใช้งานสูง (Commodity thermoplastic) กล่าวคือ มีปริมาณการผลิตและการใช้งานสูงสุดประมาณ 65-70% ของปริมาณการใช้พลาสติกทั้งหมด [8] ซึ่งได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride or PVC) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีค่ากำลังสูงสุด เมื่อเทียบกับพลาสติกประเภทอื่นๆ และคาดว่าจะเป็นพลาสติกกลุ่มแรกที่ใช้ได้ในงานโครงสร้างทางด้านวิศวกรรมโยธา พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี สามารถแบ่งประเภทตามปริมาณสารพลาสติไซเซอร์ ได้ดังนี้ [9]

2.2.1 พีวีซีชนิดแข็ง

เป็นพีวีซีที่ไม่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ โดยทั่วไปอะตอมคลอรีนทำให้โมเลกุลพีวีซีมีความเป็น อสัณฐานสูง และมีปริมาณผลึกต่ำแต่อะตอมคลอรีนมีสภาพเป็นขั้วจึงทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้พีวีซีมีความแข็ง มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อยู่ในช่วง 60-85 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิการใช้งานของพีวีซีจะต่ำกว่าค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจึงทำให้พีวีซีมีความแข็งแต่เปราะ

2.2.2 พีวีซีชนิดนิ่ม

เป็นพีวีซีที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ทำให้มีความนิ่มและยืดหยุ่น เนื่องจากเกิดการบวมพอง (Swelling) ในตัวทำละลาย (พลาสติไซเซอร์) นอกจากนี้โมเลกุลลดการเกี่ยวพันกันและมีการทำลายพันธะเคมีระหว่างโมเลกุล แต่ยังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากพอทำให้พีวีซีมีสถานะเป็นของแข็งที่นิ่มไม่เปราะและแข็งเหมือนพีวีซีแข็ง ค่าความเหนียวหรือการทนทานต่อการกระแทกของพีวีซีนิ่มจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลาสติไซเซอร์ในระยะแรก แต่จะลดต่ำลงถ้าปริมาณพลาสติไซเซอร์

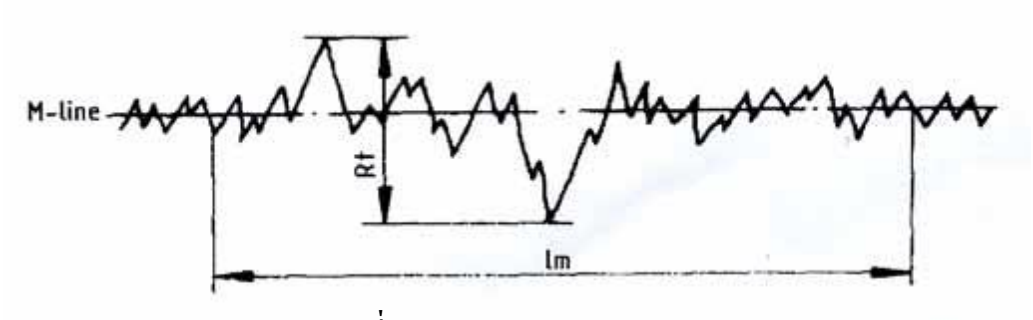
เกินจุดพอดีจุดหนึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการผสมพีวีซีกับพลาสติไซเซอร์ทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดต่ำลงอาจจะต่ำถึงอุณหภูมิห้อง ทำให้สมบัติของพีวีซีเปลี่ยนจากแข็งเป็นเปราะเป็นลักษณะคล้ายยาง ซึ่งมีความเหนียวเพิ่มขึ้น สมบัติทางกลของพีวีซีนั้น ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลสารเพิ่มความยืดหยุ่น และระดับการหลอมตัวของพีวีซี โดยทั่วไปสมบัติทางโมเลกุลนั้นเป็นผลมาจากน้ำหนักโมเลกุล เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นสมบัติทางกลในด้านความแข็งแรงก็สูงขึ้นตามไปด้วย ในการนำพีวีซีไปใช้งานนั้นมีวิธีการมากมาย โดยการนำผงพีวีซีส่วนที่ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่เรียกว่า พีวีซีเรซิ่น ไปเติมสารเติมแต่งเสียก่อนเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ตามต้องการและง่ายต่อการขึ้นรูป จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การปรับปรุงสมบัติของพีวีซีนั้นมีเทคนิคที่หลากหลายกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ โดยการนำพีวีซีเรซิ่นผสมกับสารเติมแต่งในส่วนผสมที่พอเหมาะ ซึ่งเรียกพีวีซีที่มีการผสมสารเติมแต่งพร้อมนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนี้ว่า พีวีซีคอมปาวด์ (PVC compound)

2.3 ค่าความหยาบของผิว

การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิววัสดุตามมาตรฐานของ ISO/IEC 17025 [10] การวัดค่าความหยาบละเอียดของผิววัสดุที่ผ่านกระบวนการพ่นทรายมาแล้ว ซึ่งจะหาค่าความหยาบได้จากค่า Rt, Ra และ Rz

2.3.1 ค่าความหยาบ Rt

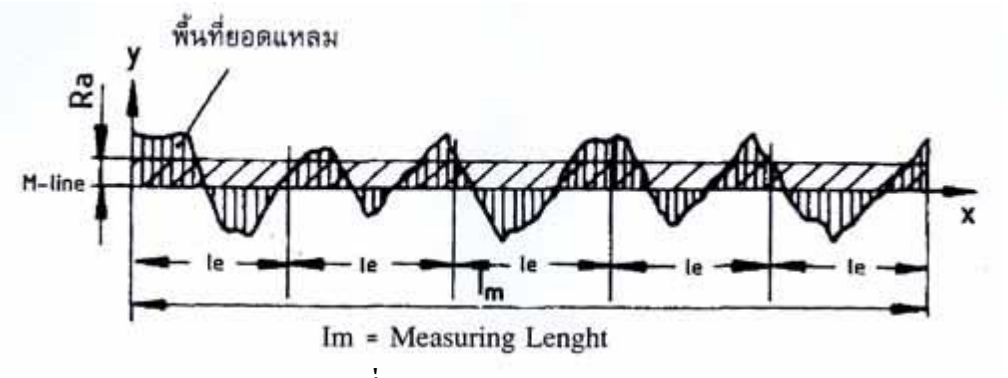
ค่าความหยาบ Rt คือค่าวัดจากจุดสูงสุดไปยังจุดต่ำสุดของผิววัสดุซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (μm) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การวัดค่าความหยาบ Rt

2.3.2 ค่าความหยาบ Ra

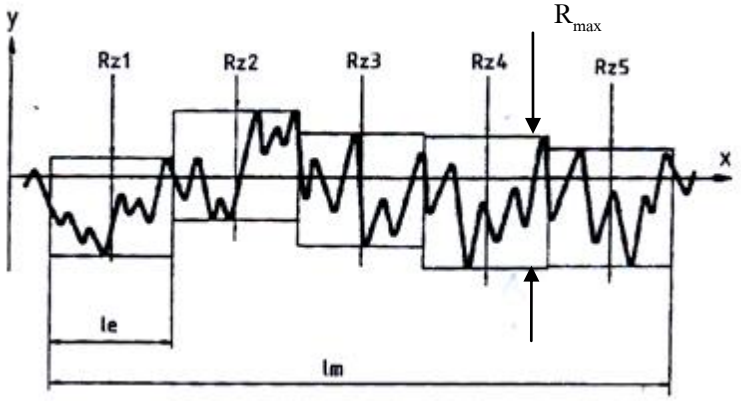
ค่าความหยาบ Ra หมายถึง ค่าความหยาบผิวที่หาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลาง หารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยที่ค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การวัดค่าความหยาบ Ra

2.3.3 ค่าความหยาบ Rz

ค่าความหยาบ Rz หมายถึง ค่าความหยาบผิว ซึ่งหาได้จากการวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ดังรูปที่ 2.3



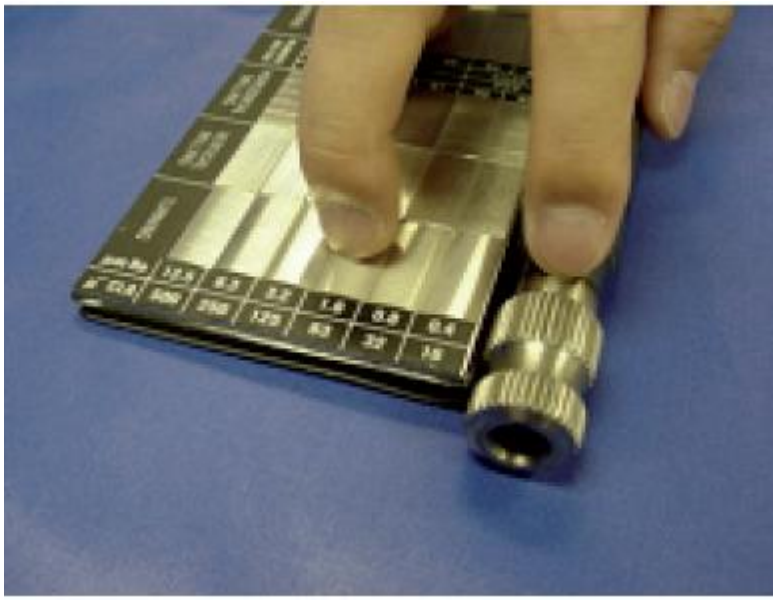
รูปที่ 2.3 การวัดค่าความหยาบ Rz

2.3.4 ค่าความหยาบผิวสูงสุด R_{max}

ค่าความหยาบผิวสูงสุด R_{max} หมายถึง ความลึกสูงสุดของร่องความหยาบที่มีอยู่ในระยะทดสอบ ดังรูปที่ 2.3

2.4 เครื่องมือวัดค่าความหยาบของผิววัสดุ

แผ่นเทียบผิวมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมวางเรียงกันเป็นชุดตามลำดับความหยาบและแต่ละแผ่นจะมีสัญลักษณ์บอกระดับความหยาบไว้ เวลาใช้งานต้องนำแผ่นเทียบผิวไปเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงานค่าความหยาบของผิวงานก็สามารถอ่านจากแผ่นเทียบผิวที่มีผิวตรงกับผิวของชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.4 [10]



รูปที่ 2.4 การวัดค่าความหยาบโดยใช้นิ้วสัมผัส [10]

2.5 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงขนานกับผิวสัมผัส

ในการทดสอบแบบนี้จะให้แรงดึงกระทำในแนวขนานกับพื้นที่รับแรง แต่มีทิศทางตรงข้ามโดยถือว่าแรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด หน่วยแรงที่เกิดขึ้นนี้ถือว่ามีค่าสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด ดังรูปที่ 2.5 [11] พิจารณารูปที่ 2.5 สามารถหาค่ากำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงขนานกับผิวสัมผัสได้ โดยสมการที่ 2.1

$$\sigma_v = \frac{F_{\max}}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ_v คือ กำลังยึดเหนี่ยวทดสอบแบบให้แรงดึงขนานกับผิวสัมผัส (N/mm^2)

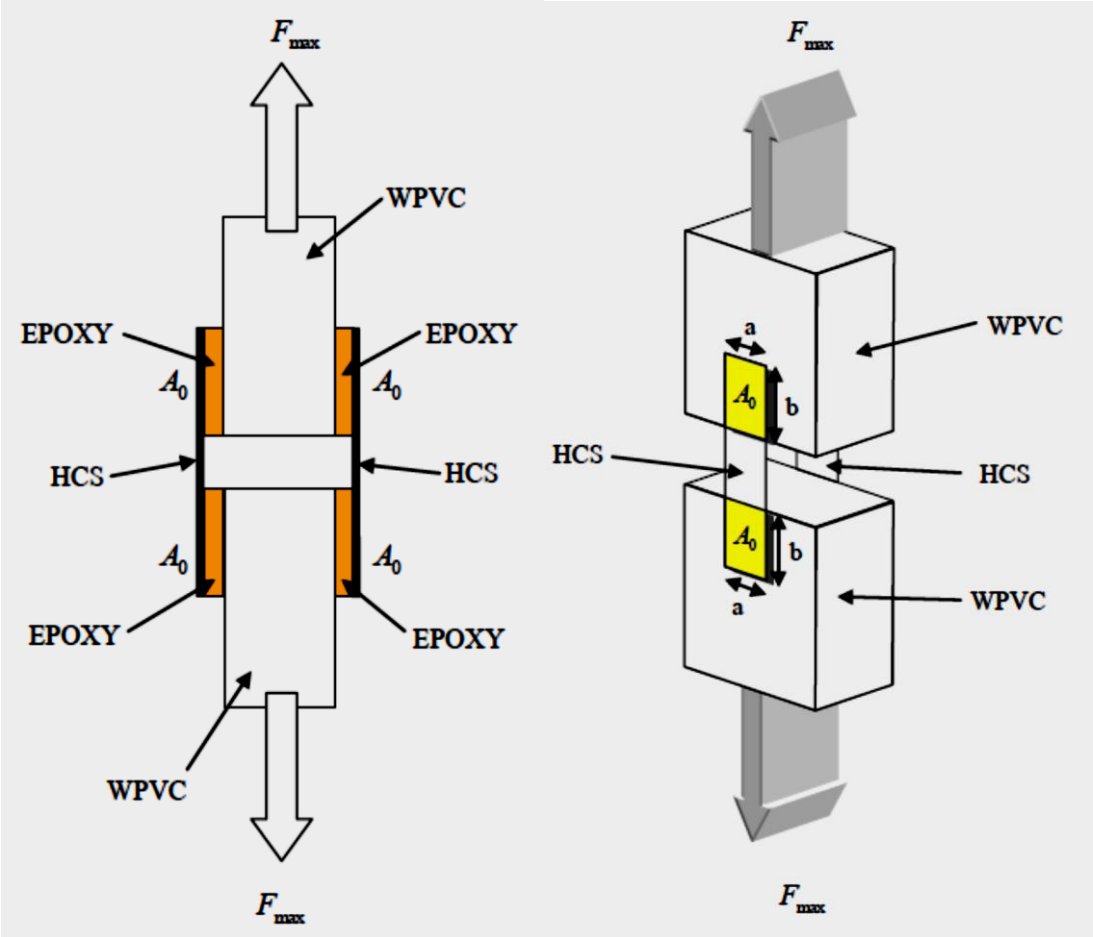
$F_{\max}$ คือ แรงดึงประลัย (Ultimate tensile force) (N)

A คือ พื้นที่รับแรงยึดเหนี่ยวที่ขนานกับแรงที่กระทำ เท่ากับ 2 A_0 (mm^2)

A_0 คือ พื้นที่สัมผัสระหว่างแผ่น HCS และ WPVC ซึ่งเท่ากับ a x b (mm^2)

a คือ ความกว้างของพื้นที่สัมผัส (mm)

b คือ ระยะทาบสัมผัส (Bondline) ของพื้นที่รับแรง (mm)



(a) (b)

รูปที่ 2.5 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงขนานกับผิวสัมผัส
(a) ภาพด้านข้างของตัวอย่างการทดสอบ (b) ภาพสามมิติ

2.6 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงตั้งฉากกับผิวสัมผัส

การทดสอบแบบนี้จะให้แรงดึงกระทำตั้งฉากกับหน้าตัดผิวสัมผัส แต่มีทิศทางตรงข้ามโดยถือว่าแรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัด หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นนี้ถือว่ามีค่าสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด ดังรูปที่ 2.2 [12] พิจารณารูปที่ 2.6 สามารถหาค่ากำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงตั้งฉากกับผิวสัมผัสได้ โดยสมการที่ 2.2

$$\sigma_T = \frac{F_{max}}{A_0} \qquad (2.2)$$

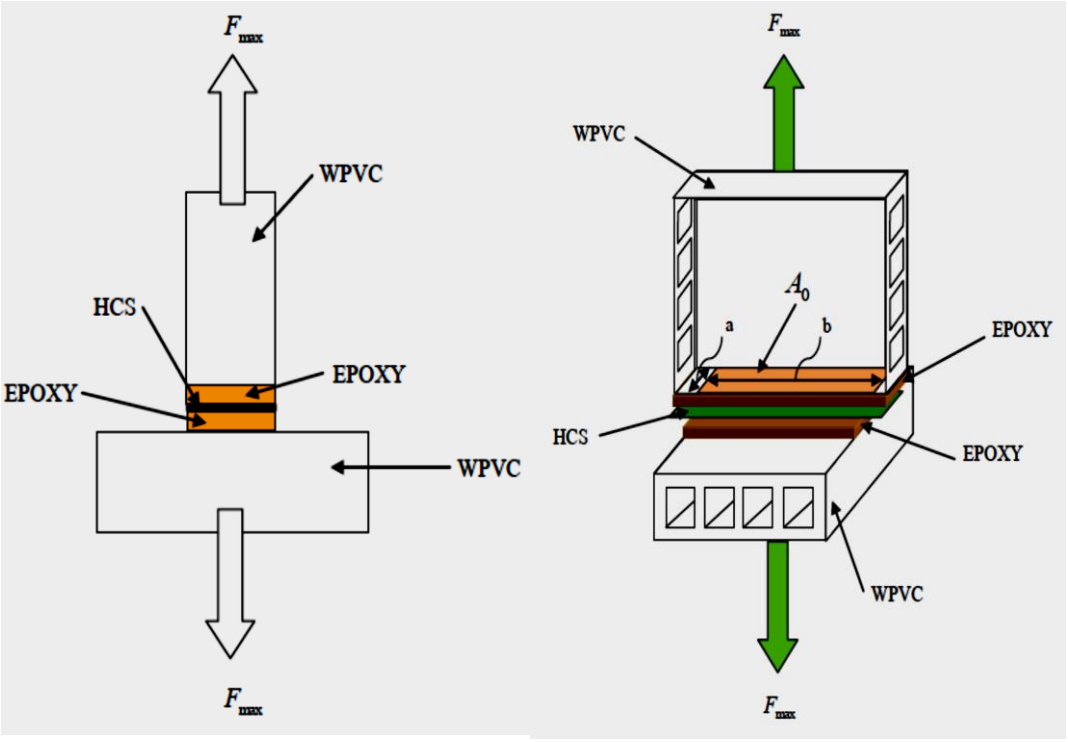
เมื่อ σ_T คือ กำลังยึดเหนี่ยวทดสอบแบบให้แรงดึงตั้งฉากกับผิวสัมผัส (N/mm^2)

F_{max} คือ แรงดึงประลัย (Ultimate tensile force) (N)

A_0 คือ พื้นที่รับแรงยึดเหนี่ยว (Bonding area) ซึ่งเท่ากับ a x b (mm^2)

a คือ ความกว้างของพื้นที่รับแรง (mm)

b คือ ความยาวของพื้นที่รับแรง (mm)



(a) (b)

รูปที่ 2.6 การทดสอบกำลังยึดเหนี่ยวแบบให้แรงดึงตั้งฉากกับผิวสัมผัส

(a) ภาพด้านข้างของตัวอย่างการทดสอบ (b) ภาพสามมิติ

2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา

Rammer [13] ได้ศึกษาความสามารถในการรับกำลังเฉือนของตงและพื้นไม้ที่ทำจากแผ่นไม้อัดกาว โดยพิจารณาผลของขนาดชิ้นงานที่มีต่อกำลังการรับแรงเฉือนในแนวแกน โดยประยุกต์ใช้วิธีการดัดแบบ 5 จุด (Five point bending test) ในการหาค่าแรงเฉือน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าขนาดของชิ้นงานทดสอบมีผลต่อค่ากำลังการรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

Saccani และ Magnaghi [14] ได้ศึกษาถึงการนำเอาอีพ็อกซี่เรซิ่นมาเป็นวัสดุพื้นฐานในการใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมกรณีเกิดความเสียหายในงานปูนซีเมนต์โดยอีพ็อกซี่เป็นที่นิยมและรู้จักกันมาก่อนในการใช้งานซ่อมแซมหรือนำมาประยุกต์ใช้ในงานซ่อมแซมซึ่งผลสรุปได้ว่าอีพ็อกซี่สามารถเป็นวัสดุประสานได้อย่างดีเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีและมีกำลังรับแรงยึดเหนี่ยวที่สูงเนื่องจากโครงสร้างที่มีลักษณะเดียวกัน

Haiar [15] ได้ทำงานวิจัยเพื่อหาค่าสมบัติเชิงกำลังของวัสดุผสมระหว่างไม้และพลาสติก 2 ชนิดคือ polyvinyl chloride (PVC) และ High-density polyethylene (HDPE) ซึ่งประกอบด้วย ค่ามอดูลัสการดัด ค่ากำลังอัด แรงเฉือน และแรงกระแทก ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างพื้น สำหรับอาคารที่อยู่ติดกับทะเล (Marine structure) และงานก่อสร้างสะพาน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ต้องสัมผัสกับความชื้นสูง และการกัดกร่อนจากน้ำทะเล

Brandt [16] ได้ทำการศึกษาสมบัติของวัสดุผสมระหว่างไม้และพลาสติก 2 ชนิดคือ PVC และ HDPE โดยเน้นไปที่สมบัติที่ขึ้นกับเวลา ได้แก่ การคืบตัว (Creep) ซึ่งทำให้โครงสร้างมีการเสียรูปมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป งานวิจัยนี้เสนอผลของอัตราการให้น้ำหนักบรรทุก (Rate of loading) ที่มีต่อสมบัติเชิงกำลังเนื่องจากการดัด (Flexural properties) ด้วย จากงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าอัตราการให้น้ำหนักส่งผลโดยตรงต่อค่ามอดูลัสการแตกหัก และอิลาสติกมอดูลัสของวัสดุผสม

Brandt and Fridley [17] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะเวลาการให้น้ำหนัก (Load-duration behavior) พฤติกรรมการคืบตัว (Creep) ของวัสดุผสมระหว่างพลาสติก และขี้เลื่อยไม้เช่นกัน ซึ่งพลาสติกที่ใช้มี 2 ชนิด คือ PVC และ HDPE โดยผู้วิจัยได้แสดงการเปรียบเทียบของพฤติกรรมการคืบระหว่างวัสดุผสมและไม้จริงและพบว่าวัสดุผสมระหว่างไม้และพลาสติกมีการคืบที่ชัดเจนมากกว่าวัสดุไม้จริง ซึ่งทำให้ผู้วิจัยต้องนำเสนอวิธีการหาค่าปรับแก้ (Adjustment factor) ของวัสดุผสมระหว่างไม้และพลาสติกโดยอ้างอิงตามวิธีการปรับแก้ของวัสดุไม้จริง

Slaughter [18] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่างขี้เลื่อยไม้และพลาสติกประเภท Polypropylene (PP) และทำการศึกษาพฤติกรรมวัสดุผสมเมื่อรับแรงแบบซ้ำไปซ้ำมา (Cyclic load) โดยใช้วิธี Power law model ในการวิเคราะห์หาอายุของโครงสร้างและยังศึกษาลักษณะรอยแตกร้าวที่เกิดเนื่องจากการล้า

Liu and Vipulanandan [12] ได้ศึกษากำลังยึดเหนี่ยวโดยการทดสอบแบบแรงดึงระหว่างอีพ็อกซี่และคอนกรีต พบว่าอีพ็อกซี่เมื่อเวลาทาที่สภาพพื้นผิวเปียกและแห้งส่งผลกระทบกับกำลังยึดเหนี่ยว การทาอีพ็อกซี่แบบเปียกให้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวต่ำกว่าประมาณ 75% ของการทาอีพ็อกซี่แบบแห้ง ส่วนการทาอีพ็อกซี่ที่หนากว่าจะให้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวมากกว่า 1.3 เท่า ของการทาอีพ็อกซี่ที่มีความหนาน้อยกว่า

Pooler and Smith [19] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อวัสดุผสมระหว่างขี้เลื่อยไม้และพลาสติกสำหรับการทดสอบวัสดุที่ขึ้นกับเวลา คือการคืบและการล้า รวมทั้งการทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด ซึ่งผลของการศึกษาที่ได้สามารถนำมาอธิบายถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อวัสดุที่เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear material) ได้ต่อไป

อโณทัย ผลสุวรรณ และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาสมบัติของ HDPE ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 18 และ 40 โดยใช้เทคนิคการผสมแบบลูกกลิ้งคู่ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE ต่อขี้เลื่อยไม้ยางพารา เท่ากับ 50:50, 60:40 และ70:30 จากผลการวิจัย พบว่า ค่าการรับแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณไซเลน (Silane) ที่เพิ่มขึ้นที่ปริมาณไซเลนเท่าๆกัน ส่วนผสมของ HDPE ที่มากกว่า จะให้ค่าการรับแรงดึงที่มากขึ้นเช่นกัน ค่าของการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของไซเลนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ ตามเมื่อใช้ ไซเลนในปริมาณที่ เท่ากันแล้วปริมาณของ HDPE ไม่มีผลมากนักต่อค่าของการทนต่อแรงกระแทก

Kobbe [21] ได้ทำการศึกษาสมบัติของวัสดุผสมระหว่างไม้และพลาสติกประเภท PP เมื่อได้รับแรงดึง แรงอัด และแรงดัด พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์โครงสร้างเมื่อรับแรงดัดโดยใช้วิธี Moment-curvature และยังทำการศึกษาพฤติกรรมการคืบตัวของวัสดุผสมนี้แบบ Short-term โดยใช้วิธี Findley's power law และ Time-temperature-stress superposition principle (TTSSP) ในการวิเคราะห์ เพื่อนำไปข้อมูลไปหาพฤติกรรมแบบ Long-term ต่อไปและพบว่าพฤติกรรมของวัสดุ PP เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear material)

Brunner and Schnueriger [22] ได้ทำการเสริมกำลังดัดให้กับคานไม้ ด้วยการยึดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใต้คานและได้ทำการให้แรงเริ่มต้น (Prestressed) กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ก่อนที่จะเสริมกำลังให้กับคานไม้ และจากการทดสอบพบว่า ถ้าให้แรงเริ่มต้นกับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ก่อนที่จะเสริมกำลังให้กับคานไม้มากเกินไป คานไม้จะเกิดรอยฉีกขาดก่อนที่จะนำไปทดสอบ เนื่องมาจากแรงดึงในแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มากเกินกว่าแรงยึดเหนี่ยวของเสี้ยนไม้ และเมื่อทดสอบการดัดแบบ 4 จุด พบว่า

คานไม้ที่เสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะรับกำลังได้สูงขึ้น 34 % และมีค่าความคาดเคลื่อนจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ประมาณ 5 %

Pramanick and Sain [23] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวัสดุผสมเมื่อพิจารณาที่ Long-term ซึ่งเมื่อศึกษาพฤติกรรมการคืบนั้นจะได้ความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างการเสียรูป เวลา อุณหภูมิ ความชื้น และความเค้น โดยอุณหภูมิกับการคืบจะมีความสัมพันธ์กันอย่างคงที่

ภาณุมาศ ตันสกุล [1] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ โดยเน้นไปที่พลาสติก 3 ชนิด คือ PE PP และ PVC ซึ่งได้ทำการทดสอบ กำลังรับแรงดัด แรงอัด แรงเฉือน แรงดึง และแรงกระแทก และได้นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับวัสดุไม้แดง จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ทั้ง 3 ชนิด ยังมีความสามารถในการรับกำลังด้อยกว่าไม้แดง และวัสดุผสมระหว่าง PVC และขี้เลื่อยไม้ เป็นวัสดุที่ให้ค่ากำลังสูงสุด

ชัชชัย พัดเย็นชื่น [24] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงลึกของวัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ต่อจากงานวิจัยของภาณุมาศ ตันสกุล โดยเน้นไปที่พลาสติกที่ให้กำลังได้ดีที่สุดนั่นคือ PVC โดยศึกษาผลของอัตราการให้น้ำหนักบรรทุกและผลของความยาวของวัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ พบว่า อัตราการให้น้ำหนักบรรทุกมีผลต่อค่ากำลังของวัสดุผสมน้อยมาก จึงไม่ต้องคำนึงถึงอัตราการให้น้ำหนักบรรทุกเมื่อนำวัสดุผสมไปใช้ในงานจริง แต่เมื่อวัสดุผสมมีความยาวช่วงที่สั้น ค่ากำลังของวัสดุผสมจะมีค่าน้อยลงเนื่องมาจากมีผลของแรงเฉือนเข้ามาเกี่ยวข้อง และจากการทดสอบในครั้งนี้ยังพบว่าค่ากำลังของวัสดุผสมเริ่มคงที่ที่ความยาวช่วงต่อความลึกประมาณ 10

Woo et al [25] ได้ทำการเสริมกำลังดัดให้กับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยการยึดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใต้คานและได้ทำการให้แรงเริ่มต้น (Prestressed) กับแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ก่อนที่จะเสริมกำลังให้กับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการแปรเปลี่ยนระดับการให้แรงเริ่มต้นของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และจากการทดสอบการดัดแบบ 4 จุด พบว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังดัดเพิ่มขึ้นสูงสุด 243 % และในการทดสอบได้สร้างสมการเพื่อทำนายค่าโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการเสริมกำลังโดยอาศัยแผนผังความเค้นและความเครียดของหน้าตัดคาน และมีความคาดเคลื่อน 0.3-24.7 %

ทวิช พูลเงิน และคณะ [26] ได้ทำการศึกษา วัสดุผสมระหว่างขี้เลื่อยไม้และพลาสติก PVC โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีหน้าตัดและขนาดแตกต่างกัน พบว่า หน้าตัดที่ใหญ่กว่าจะมีค่ากำลังสม่ำเสมอกว่าจึงให้ค่ากำลังดัดที่สูงและต้านทานน้ำหนักบรรทุกคงค้างและน้ำหนักบรรทุกแบบซ้ำไปซ้ำมาได้ดีกว่า ทิศ

ทางการรับแรงมีผลต่อสมบัติของวัสดุประเภทนี้เช่นกัน การรับแรงในแนวนอนจะทนทานต่อพฤติกรรมการคืบและการล้าได้ดีกว่าแนวตั้งเนื่องจากมีจำนวนเอวในการรับแรงมากกว่า งานวิจัยนี้ยังชี้ให้เห็นว่าวัสดุประเภทนี้มีพฤติกรรมการคืบมากโดยเฉพาะกรณีที่รับแรงคงค้างในระดับสูง

ชัชชัย พัดเย็นชื่น [4] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการดัดและการคืบของคานที่ทำจากวัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Wood/PVC Composite) ที่มีและไม่มีการเสริมแรงด้วยวิธีการติดแผ่นวัสดุบางที่ด้านรับแรงดึงของวัสดุผสม ผลการศึกษาพบว่า แผ่นเหล็กกำลังสูง (HCS) เป็นวัสดุที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเนื่องจากมีค่ากำลังดึงที่สูง การติดแผ่นเหล็ก HCS ที่หนา 0.5 มม. จะทำให้วัสดุผสมสามารถรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 64 และ 101 ทิศทางแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ นอกจากนั้นการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก HCS จะช่วยลดพฤติกรรมการคืบได้อย่างชัดเจน โดยเมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักคงค้างเท่ากัน

Naghipour et al [27] ได้ทำการเสริมกำลังดัดให้กับวัสดุผสมระหว่างพลาสติกและขี้เลื่อยไม้หน้าตัดรูปตัวไอ ด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นไฟเบอร์กลาสและได้แปรเปลี่ยนจำนวนชั้นของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นไฟเบอร์กลาส หลังจากการทดสอบการดัดแบบ 4 จุด พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นไฟเบอร์ วัสดุผสมจะรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้นสูงสุด 80.3 % เมื่อเสริมด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 3 ชั้น และ 76.6 % เมื่อเสริมด้วยแผ่นไฟเบอร์กลาส งานวิจัยนี้ยังเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความสามารถในการรับแรงดัดของวัสดุหลังการเสริมกำลังซึ่งพบว่า วัสดุทั้งสองจะมีค่าความผิดพลาดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 14.4 และ 5.3 % ตามลำดับ เนื่องจากการเสริมกำลังดัดด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 3 ชั้น เกิดการแตกหักที่ปีกรับแรงอัดซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Pulngern et al [5] ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการดัดและการคืบของวัสดุผสมระหว่างขี้เลื่อยไม้และพลาสติก PVC โดยใช้เหล็กแผ่นเรียบ โดยยึดติดในด้านที่รับแรงดึง ซึ่งผลของการเสริมกำลังของวัสดุผสมด้วยเหล็กแผ่นเรียบ พบว่า วิธีการนี้เหมาะสมในด้านการพัฒนากำลังของวัสดุสามารถทำให้มีกำลังมากขึ้นโดยการเพิ่มความหนาและจำนวนของแผ่นเหล็ก HCS โมเมนต์ประลัยของวัสดุผสมที่เสริมแผ่นเหล็กจะ เพิ่มขึ้นประมาณ 64% ภายใต้แรงที่กระทำในทิศทางแนวนอน และเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 101% ภายใต้แรงที่กระทำในทิศทางแนวตั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทิศทางของแรงที่กระทำมีผลต่อกำลังรับแรงของวัสดุ นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะการคืบของ ลดลง 48% ภายใต้แรงที่กระทำทิศทางแนวนอน และ 11% ภายใต้แรงที่กระทำในทิศทางแนวตั้ง

Ors et al [28] ได้ทำการศึกษากำลังยึดเหนี่ยวของกาวในไม้ที่ประกบกัน โดยการทดสอบแบบเฉือน พบว่า ไม้ที่ขัดด้วยกระดาษทรายจะให้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวที่สูงกว่าไม้ที่ไม่ได้ขัดด้วยกระดาษทราย

Meshgin et al [11] ได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์การคืบของอีพ็อกซี่ที่ผิวคอนกรีตและ FRP เป็นเวลา 9 เดือน พบว่า อีพ็อกซี่ที่ผิวคอนกรีตและ FRP มีการคืบ และพฤติกรรมการคืบเฉือนที่เสียรูปมากจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของความเค้นเฉือนจนถึงกำลังรับแรงเฉือนประลัย

จากงานวิจัยในอดีตจะเห็นได้ว่าทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ WPVC พฤติกรรมการคืบและการล้า นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเสริมแรงของ WPVC โดยใช้แผ่นเหล็ก HCS ยึดติดในด้านที่รับแรงดึง ซึ่งยังไม่มีใครศึกษาพฤติกรรมเชิงลึกที่เกี่ยวกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง WPVC และ HCS ในขณะที่วัสดุอื่น ๆ เช่น ไม้จริง และคอนกรีต มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุ WPVC และแผ่นเหล็ก HCS ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเสริมกำลังรับแรงของวัสดุ WPVC ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น