บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในโครงงานนี้ทำการศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวกับ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกระเบื้องโปร่งแสงไฟเบอร์กลาส จากเส้นใยแก้วชนิด อี-กลาส เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้บรรลุตามจุดประสงค์ที่วางไว้ ผู้ทำการวิจัยได้กำหนดเนื้อหาของทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

2.1 วัสดุเชิงประกอบ

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

2.3 เส้นใยแก้ว

2.4 เรซิ่นหรือโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

2.1 วัสดุเชิงประกอบ [5]

วัสดุเชิงประกอบ เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) จะรองรับวัสดุเสริมแรง (reinforcement) ที่กระจายตัวในเนื้อหลักให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่ม หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่า เมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง

2.1.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. วัสดุเชิงประกอบที่มีเนื้อหลักเป็นพอลิเมอร์ (polymer matrix composites-PMCs) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของวัสดุเชิงประกอบกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสต่าง ๆโดยมีพอลิเมอร์ ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนเส้นลวดโลหะเป็นต้น

2. วัสดุเชิงประกอบที่มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก (ceramic matrix composites-CMCs) คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเสริมแรงที่มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

3. วัสดุเชิงประกอบที่มีเนื้อหลักเป็นโลหะ (metal matrix composites-MMCs) วัสดุเชิงประกอบกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม สำหรับวัสดุเสริมแรงของวัสดุเชิงประกอบกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

แม้ว่าวัสดุเชิงประกอบจะมีขอบข่ายกว้างครอบคลุมวัสดุ 3 ประเภทข้างต้น แต่ในที่นี้ขอพูดถึงเฉพาะวัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเนื้อหลักเท่านั้น

พอลิเมอร์บางชนิด เช่น อีพ็อกซี่ และโพลิเอสเทอร์มักมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ แต่พอลิเมอร์มีจุดเด่นเรื่องขึ้นรูปง่าย สามารถขึ้นรูปทรงที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ขณะที่วัสดุ เช่น แก้วอะรามีด (aramide) และโบรอน (boron) มีจุดเด่นเรื่องความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงกด (compressive strength) สูง แต่ว่าวัสดุที่กล่าวมานั้นเมื่อปรากฏในรูปของของแข็งแล้ว สมบัติเด่นเหล่านี้ปรากฏออกมาได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากวัสดุสามารถแตกหักจาก ความเค้น (stress) ได้ง่ายเพียงแค่ผิวของวัสดุมีรอยตำหนิขนาดเล็กเท่านั้น

ดังนั้น การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้วหรือเส้นใยคาร์บอนจะทำให้วัสดุมีสมบัติดีขึ้น เพราะเป็นการรวมเอาจุดเด่นของวัสดุพอลิเมอร์ กับจุดเด่นของเส้นใยเสริมแรง เข้าไว้ด้วยกัน (โดยเนื้อหลักของพอลิเมอร์ทำหน้าที่กระจายแรง ที่กระทำต่อวัสดุลงไประหว่าง เส้นใยแต่ละเส้น และพอลิเมอร์ยังทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไม่ให้เสียหาย เนื่องจากการเสียดสีและ การกระแทก ผลของการรวมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง ทำให้วัสดุเสริมแรงที่มีพอลิเมอร์ เป็นเนื้อหลักมีจุดเด่นหลายอย่าง เช่น มีค่าความแข็งแรงและความแข็งตึง (stiffness) สูง สามารถขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

1. สมบัติของเส้นใยเสริมแรง
2. สมบัติขอพอลิเมอร์ (เรซิ่น)
3. สัดส่วนของเส้นใยเสริมแรง (Fiber Volume Fraction FVF) เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยเสริมแรง มักมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าพอลิเมอร์ ดังนั้นหากวัสดุเชิงประกอบมีเส้นใยเสริมแรงมากขึ้น จะทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้น แต่การผสมเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์ก็มีขีดจำกัดเนื่องจากเส้นใยเสริมแรง ควรมีเนื้อพอลิเมอร์ห่อหุ้มอยู่โดยรอบ
4. โดยทั่วไปการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบ นิยมขึ้นรูปด้วยวิธีที่เรียกว่า แฮนด์เลย์อัพ (hand lay-up) ซึ่งจะมีสัดส่วนของเส้นใยเสริมแรงประมาณ 30-40% แตกต่างจากชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการบิน และอวกาศที่ผลิตด้วย เทคโนโลยีขั้นสูงจะมีสัดส่วนของเส้นใยประมาณ 70% ในเนื้อหลัดเนื่องจากเส้นใยเสริมแรงให้ค่าสมบัติเชิงกลตามแนวยาวสูงกว่าแนวขวาง ดังนั้นหากเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันแล้ว สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่แสดงออกมาจะมีค่าแตกต่างกัน ตามแนวแรงที่กระทำ ดังนั้นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบคือ ขนาดและลักษณะแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

2.1.3 การรับแรงของวัตถุ โดยทั่วไปแรงที่กระทำต่อวัตถุมีด้วยกัน 4 ประเภทคือ

1. แรงดึง (Tension) ลักษณะแรงดึงที่กระทำต่อวัสดุเชิงประกอบ การตอบสนองต่อแรงกระทำของวัสดุขึ้นอยู่กับแรงดึง และความแข็งแรงเชิงกลของ เส้นใยเสริมแรงที่ใช้

2. แรงกดอัด (Compression) ลักษณะวัสดุเชิงประกอบที่ได้รับแรงกดอัด ในสภาพนี้ความแข็งแรงของวัสดุจะขึ้นกับสมบัติความแข็งตึง และการยึดติด (adhesion) ของเนื้อพอลิเมอร์เป็นหลัก เนื่องจากพอลิเมอร์ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงให้อยู่ในลักษณะเส้นตรง และป้องกันไม่ให้เส้นใยโค้งงอ

3. แรงเฉือน (Shear) ลักษณะแรงที่กระทำต่อวัสดุเชิงประกอบมีทิศทางตรงข้ามกัน และแนวแรงอยู่ต่างระดับกัน ภายใต้สภาวะแบบนี้พอลิเมอร์จะมีบทบาทอย่างมาก ในเรื่องการยึดติดกับเส้นใยเสริมแรงไม่ใช่ในเรื่องสมบัติความแข็งแรงเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเชิงประกอบที่มีการเรียงเส้นใยเสริมแรงเป็นชั้น ๆ

4. แรงดัด (Flexure) ลักษณะของแรงที่กระทำกับวัตถุมีลักษณะผสมของแรงดึง แรงเฉือน และแรงกดอัด 3 แรงเข้าด้วยกัน เห็นได้ว่ากึ่งกลางของด้านบนของวัตถุถูกแรงกดอัดกระทำ ขณะที่ใต้วัตถุจะถูกแรงยืดและแรงเฉือนจากการยืดตัวของวัตถุ

เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 4 ข้อแล้ว ก็สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาเลือกชนิดเส้นใยเสริมแรง และชนิดพอลิเมอร์ที่เหมาะสม รวมถึงทิศทางของแรงที่กระทำเพื่อจัดวางตำแหน่งเส้นใยเสริมแรง ให้เหมาะสม เพื่อผลิตชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบออกมาให้ได้สมบัติเชิงกลตามต้องการ

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Tests) [6]

วัสดุต่าง ๆ โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุล (molecular feature) เช่น การจัดเรียงอนุภาคในโมเลกุล รูปร่างของโมเลกุล และพลังงานพันธะ เป็นต้น ในขณะที่วิศวกรหรือผู้ที่นำวัสดุนั้น ไปใช้งานมักจะมุ่งความสนใจไปที่ลักษณะสมบัติของวัสดุ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ถึงแม้ว่าในระยะหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์ในขั้นสูงแล้วก็ตาม โดยทั่วไปพบว่าเราไม่สามารถทำนายสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของพอลิเมอร์โดยอาศัยความรู้จากโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีได้อย่างแม่นยำ เช่น ความแข็งแรง (strength) ที่แท้จริงของพอลิเมอร์อาจมีค่าเพียง 0.1-0.01 เท่าของค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความรู้พื้นฐานจากความแข็งแรงของพันธะ และแรงระหว่างโมเลกุล เพราะฉะนั้นในปัจจุบันการทดสอบสมบัติเชิงกล จึงเป็นวิธีที่ดีที่จะศึกษาถึงสมบัติและความเป็นไปได้ในการนำเอาพอลิเมอร์ไปใช้งาน

2.2.1 ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) [7]

ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ความเค้น (σ) คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ดังสมการที่ 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น

F คือ แรง

A คือ พื้นที่หน้าตัด

ความเครียด (ε) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \tag{2.2}$$

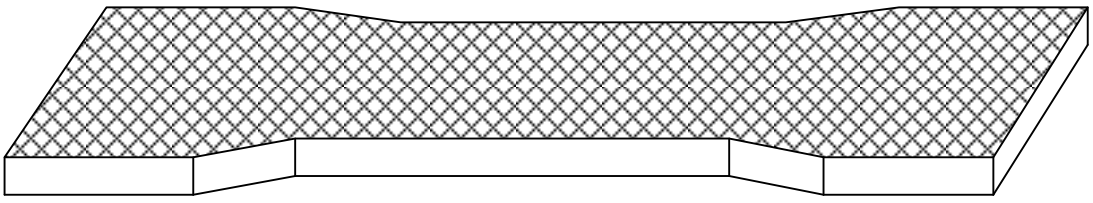
$$Modulus = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{2.3}$$

เมื่อ ε คือ ความเครียด

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป

L คือ ความยาวเดิม

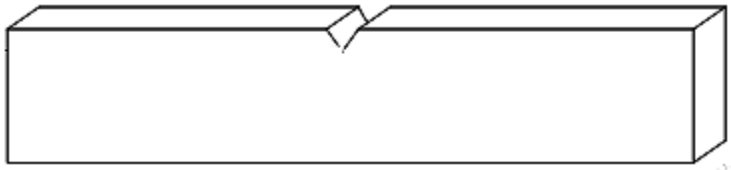
เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงไว้ข้างล่าง



รูปที่ 2.1 รูปร่างชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาสตาม ASTM D638 [7]

2.2.2 ความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) [8]

ความต้านทานต่อแรงกระแทกมักจะสัมพันธ์กับค่าความเหนียว พอลิเมอร์ที่มีแนวโน้มจะแตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทก มักไม่ค่อยมีประโยชน์ในการนำไปใช้ การทดสอบโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การเหวี่ยงลูกตุ้ม (pendulum) จากความสูงต่าง ๆ ให้กระแทกตัวอย่างพอลิเมอร์ หรือการปล่อยก้อนน้ำหนักจากระดับความสูงต่าง ๆ ให้ตกลงมากระแทกตัวอย่าง โดยเพิ่มน้ำหนักหรือแรงกระแทกจนตัวอย่างพอลิเมอร์แตก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบค่า ความเหนียว โดยต้องคำนึงถึงขนาดและความหนาของตัวอย่างด้วย



รูปที่ 2.2 รูปร่างชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาส ตาม ASTM D256 [8]

2.3 เส้นใยแก้ว (Fiberglass) [8]

เส้นใยแก้วเป็นวัสดุสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการขึ้นรูปงานไฟเบอร์กลาส โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทใยแก้วออกเป็นชนิดต่างๆ ตามคุณสมบัติ ดังนี้

1. ชนิด A glass (Alkali) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นด่าง
2. ชนิด C glass (Chemical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นกรดและกัดกร่อน
3. ชนิด E glass (Electrical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงและเป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้าได้ดี
4. ชนิด S glass (High Strength) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงสูงที่สูงกว่าชนิด E glass

2.3.1 เส้นใยแก้วเส้นด้าย (Roving)

เป็นเส้นใยแก้วยาวตลอดทั้งม้วน เรียกตามน้ำหนัก/ความยาว 1 กิโลเมตร เช่น TEX1200 คือความยาว 1 กิโลเมตร หนัก 1 กิโลกรัม ที่นิยมใช้มีขนาด 1200, 2200, 2400 และ 4800 เป็นต้น แบ่งตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1. แบบพ่น (spray up roving) ใช้กับเครื่องพ่นใยแก้วนิยมใช้เบอร์ 2400
2. แบบพัน (filament roving) ใช้ในการพันท่อทำถังน้ำกับเครื่องพัน นิยมใช้เบอร์ 600, 800, 1100, 2200, 2400 และ 4800

3. แบบดึง (pultrusion roving) ใช้ในกระบวนการผลิตแบบดึงยาว นิยมใช้เบอร์ 2400 และ 4800

4. แบบ SMC (sheet molding compound) ใช้ทำแผ่น SMC นิยมใช้เบอร์ 2400

5. แบบ PANEL (corrugated sheet) ใช้ทำหลังคาโปร่งแสง นิยมใช้เบอร์ 2400

รูปที่ 2.3 เส้นใยแก้ว

ที่มา : http://ctsresin.lnwshop.com/article/

2.4 โพลีเอสเตอร์เรซิ่น [10]

โพลีเอสเตอร์เรซิ่น หรือ เรซิ่น เป็นพลาสติกชนิดหนึ่ง ปกติจะอยู่ในรูปของเหลวข้นเหนียวเหมือนน้ำมันเครื่อง มีกลิ่นฉุน เรซิ่นสามารถหล่อเป็นรูปต่างๆ ได้ตามแบบพิมพ์ เรซิ่นเมื่อผสมตัวทำแข็งแล้วสามารถแข็งตัวได้เองที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาประมาณ 30 ถึง 120 นาที ปัจจุบันนิยมนำมาใช้ทำเป็นชิ้นงานหลากหลาย เช่น นำมาใช้เคลือบรูป ทำแก้วเทียม หล่อชิ้นงาน รูปปั้น เครื่องประดับ ทำกระดุม ทำสีโป๊ว รถยนต์ หรือเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ซึ่งแม้งานที่ทำจากเรซิ่นอาจจะไม่ใช่งานใหม่-สินค้า

โพลีเอสเตอร์เรซิ่น มีหลายชนิดแล้วแต่การใช้งาน เช่น ใส ทนความร้อน ทนกรดด่างเป็นพิเศษ และชนิดธรรมดา ดังนั้นก่อนจะซื้อควรศึกษาข้อมูลให้ถูกต้องรู้จริงและต้องรู้ว่าจะนำไปใช้ทำอะไร แล้วเลือกให้ถูกชนิด

2.4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

คุณสมบัติทางกายภาพ โพลีเอสเทอร์เรซิ่น มีคุณสมบัติ แข็ง ใส เงา สามารถนำไปใช้ในงานอุณหภูมิสูงกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก และปัจจุบันมีการเสริมแรงด้วยใยแก้ว หรือไฟเบอร์กลาส ทำให้มีคุณสมบัติเบาเหนียวไม่เปราะ และมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับน้ำหนัก

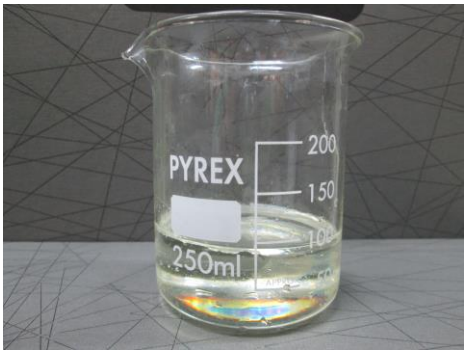
คุณสมบัติทางไฟฟ้า โพลีเอสเทอร์เรซิ่น มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าครบถ้วน สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้คุณสมบัติทางเคมี โพลีเอสเทอร์เรซิ่น มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีและไม่เป็นสนิม

รูปที่ 2.4 เรซิ่น

2.4.2 เรซิ่นแยกตามเนื้อ

สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

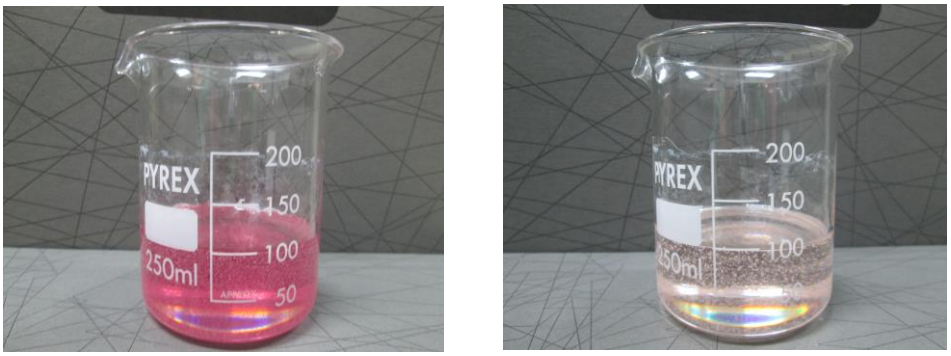
1. Non-promote คือ เรซิ่นชนิดที่ยังไม่ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมัน มีใสใสอมเหลือง จุดเด่นคือมีอายุการเก็บ 3 เดือน (สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนชื้นควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน เพราะเมื่อเข้าสู่เดือนที่ 2 และ 3 เรซิ่นจะเริ่มมีความหนืดข้นขึ้นเรื่อยๆ) และยังสามารถประยุกต์สูตรได้อีกมากมาย เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบงานต่าง ๆ



รูปที่ 2.5 โพลีเอสเทอร์เรซิ่น ชนิด non promote

2. promote คือ เรซิ่นชนิดที่ผสมสารช่วยเร่ง ฯ มาแล้ว ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง แต่มีสีชมพูบานเย็นเพราะเป็นเรซิ่นที่ได้ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้ว เมื่อนำมาใช้งานก็แค่เติมสารเร่งฯลงไป ในเรื่องของสีเรซิ่นนั้นบางบริษัทผู้ผลิตอาจมีการใช้สารช่วยเร่งที่

แตกต่างดังนั้นเรซิ่นชนิดผสมสารช่วยเร่งบางตัวจะมีสีคล้ำคล้ายน้ำเฉาก๊วย และสำหรับชนิดที่ใช้กับงานหล่อใสแล้วเรซิ่นจะมีสี ใสอมน้ำเงินอ่อน ๆ จุดเด่น คือ ใช้งานง่ายและคล่องไม่ยุ่งยากแต่ข้อเสีย คือ มีอายุการเก็บสั้น อายุการเก็บไม่เกิน 2 เดือน ในการใช้งานจริงควรใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน



(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 ชนิดเรซิ่น (ก) แบบงานหล่อทั่วไป (ข) แบบงานหล่อใส

2.4.3 ลักษณะการใช้งานของโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

เรซิ่นนำไปใช้งานได้มากมายหลายกลุ่มงาน แต่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ที่นิยมใช้ในบ้านเรา ได้แก่

1. กลุ่มงานหล่อ (casting) เช่น หล่อพระ หล่อของชำร่วย หล่อตุ๊กตา หล่อกระดุม หล่อแก้วเทียม ฯลฯ
2. กลุ่มงานเคลือบ (laminate) เช่น งานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์
3. กลุ่มงานขึ้นรูปแบบ (molding) เช่น การผลิตงานไฟเบอร์กลาส หรือ FRP (fiberglass reinforced plastic) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

2.4.4 การแข็งตัวของเรซิ่น

โพลีเอสเทอร์เรซิ่นสามารถแข็งตัวได้หลายวิธี ดังนี้

1. โดยใช้ตัว Mepkpo หรือตัวทำให้แข็งกับความร้อน
2. โดยใช้ตัว Mepkpo หรือตัวทำให้แข็งกับตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา promote / accelerator ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยใช้แสงอุลตร้าไวโอเลต
4. โดยใช้อิเลคตรอน
5. โดยให้แสงแดด
6. โดยใช้ความร้อน

โดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซิ่นแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 gel time คือช่วงหลังจากเติมตัว Mepkpo แล้วจนเรซิ่นจับตัวเป็นวุ้นช่วงที่ 2 cure time คือช่วงที่เรซิ่นแข็งตัวเต็มที่และเป็นช่วงที่เรซิ่นเย็นตัวลงหลังจากที่มีความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา

2.4.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของเรซิ่น

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงเรซิ่นแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณตัวเร่งฯ และ ตัวช่วยเร่งฯปริมาณที่มากแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณที่น้อย
3. ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูงการแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลง ผิวงานขึ้นฝ้ามัว โดยปกติปริมาณน้ำที่อยู่ในเรซิ่นจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%
4. ปริมาณออกซิเจน ออกซิเจนเป็นตัวป้องกันการแข็งตัวของเรซิ่น ถ้าปริมาณออกซิเจนสูง เช่น การกวนเรซิ่นมากๆ นานๆ การแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลง และออกซิเจนมีประโยชน์มากในเรื่องการยืดอายุการเก็บของเรซิ่น หากเริ่มเก็บเรซิ่นไว้นานขึ้น ควรสร้างออกซิเจนให้เกิดในถังด้วยการกลิ้งถังไปมา เพื่อให้เรซิ่นข้างในเกิดการเคลื่อนไหว จะเกิดออกซิเจน และจะทำให้เรซิ่นมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เฉลิมชัย ไชยธงรัตน์ และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความร้อนและเวลา ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างพอลิคาร์บอเนตผสม ชิ้นตัวอย่างพอลิคาร์บอเนตผสมจะถูกอบที่อุณหภูมิ 75, 90, 105 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง ผลของการศึกษาพบว่า การอบชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิและเวลาการอบที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิคาร์บอเนตผสมเกิดการเปลี่ยนแปลง จากวัสดุเหนียวเป็นวัสดุเปราะ จากการวิเคราะห์ทางความร้อนพบว่า เวลาที่ใช้ในการอบไม่มีผลต่อโครงสร้างหลักของพอลิคาร์บอเนตและสัดส่วนองค์ประกอบของชิ้นตัวอย่างพอลิคาร์บอเนตผสม แต่ความร้อนจะส่งผลให้ ครงสร้างภายในของสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงเป็นระเบียบมากขึ้น

P. Noorunnisa Khanam และคณะ [12] ได้ศึกษาความแข็งแรงของวัสดุเสริมแรงประเภทไฟเบอร์กลาสโดยการนำเส้นใยจากมะพร้าว โดยการตัดเป็นความยาวขนาด 1, 2 และ 3 เซนติเมตร โดยทำการอบที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ขนาดความยาวของเส้นใยแก้วมีผลต่อความแข็งแรงด้านการต้านทานแรงดึง 15.01 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ที่ 2 เซนติเมตรได้ความแข็งแรง 17.24 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรและที่ 3 เซนติเมตร ได้ความแข็งแรง 16.11 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เนื่องจากความยาวเส้นใยแก้วที่ 2 เซนติเมตร มีความแข็งแรงดัดและ

แรงดึงสูง ที่พื้นผิวนี้มีการยึดเกาะอินเตอร์เฟส และเมทริกซ์เป็นการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติทางกลอีกด้วย

Hsuan-Teh. H. and Wen-Pin, L. [13] ได้ศึกษาปัจจัยความสูญเสียของวัสดุเชิงประกอบด้วยการลามิเนตภายใต้ภาระแรงดึง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสียหายของวัสดุวัสดุเชิงประกอบไฟเบอร์ลามิเนตภายใต้ภาระแรงดึง ได้แก่ความหนาของชิ้นงาน และเปอร์เซ็นของเส้นใยแก้ว

M. A. Kumar และคณะ [14] ได้ศึกษาถึงผลค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและความแข็งมีผลกระทบต่อความต้านทานความแข็งแรงทางเคมีของวัสดุเสริมเรซิ่นและใยแก้ว อีพ็อกซี่คอมโพสิตไฮบริด เพื่อพัฒนาเส้นใยแก้วและศึกษาค่าแรงกระแทก ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และทนต่อสารเคมีของวัสดุผสม การเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อสารเคมีที่ถูกศึกษามีความยาวเส้นใยแก้วที่แตกต่างกัน เช่น 1, 2 และ 3 เซนติเมตร

A. P. Mouritz [15] ได้ศึกษาถึงการแตกหักและความล้าแรงดึงของวัสดุผสมเส้นใยแก้ว พบว่าวัสดุผสมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำจาก E-glass หรือใยแก้วที่สานกันเป็นแผ่น (แม็ท) และเรซิ่นวัสดุสองประเภทนี้ถูกนำมาใช้เสริมในวัสดุเชิงประกอบโดยจะใช้วัสดุทดลอง คือ แม็ท (ความหนาแน่น 600 กรัมต่อตารางเมตร และขนาดความหนาแน่น 300 กรัมต่อตารางเมตร) โดยการซ้อนแม็ททั้งสองชนิดสลับกันรวมทั้งหมด 14 ชั้น และถูกเย็บแล้วโดยใช้จักรเย็บผ้าอุตสาหกรรม และเส้นใยที่เย็บกันเป็นผืนมาขึ้นรูปโดยการใช้เรซิ่นเป็นตัวเชื่อผสานภายไต้สภาวะสูญญากาศ