บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ในเบื้องต้นเป็นการศึกษาเพื่อเลือกอีพ๊อกซีสูตรที่มีแนวโน้มให้สมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีที่อบในเตาอบไมโครเวฟสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับอีพ๊อกซีที่อบในเตาอบความร้อน จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีเรซินทั้ง 5 สูตร ทั้งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและไม่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว พบว่าอีพ๊อกซีเรซินสูตรที่อบในเตาอบไมโครเวฟแล้วให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่สูงกว่าที่อบในเตาอบความร้อนได้แก่สูตร II และ VIII แต่เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว พบว่าสูตร II เพียงสูตรเดียวที่อบในเตาอบไมโครเวฟแล้วให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่สูงกว่าที่อบในเตาอบความร้อน ดังนั้นจึงเลือกสูตร II ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 4% เพื่อศึกษาและพัฒนาสมบัติเชิงกลให้สูงขึ้น นอกจากจะเลือกสูตร II แล้วยังเลือกที่จะศึกษาสูตร I ด้วย ถึงแม้ว่าสูตร I ไม่ทราบทั้งชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และจากสมบัติเชิงกลที่ศึกษาก็พบว่าอีพ๊อกซีสูตร I ที่อบในเตาอบไมโครเวฟให้สมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ต่ำกว่าที่อบในเตาอบความร้อน แต่อีพ๊อกซีสูตร I เป็นสูตรที่ใช้อยู่จริงในภาคอุตสาหกรรม จึงเลือกที่จะพัฒนาสูตร I ด้วย

2. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของอีพ๊อกซีคอมโพสิท เช่น ค่ามอดุลัสของแรงดึงของสูตร II เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 4% จะให้ค่าสูงกว่าที่ใช้ตัว เร่งปฏิกิริยา 1% แต่สูตร IV, VI และ VIII เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 4% จะให้ค่ามอดุลัสของแรงดึงต่ำกว่าที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1%

3. จากผลการทดสอบอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร I อบแบบหลายระดับความร้อน พบว่าอบแบบ 2S ให้ค่าสมบัติเชิงกล เช่น มอดุลัสของยัง ความคงทนต่อแรงดึง มอดุลัสของการดัดโค้ง ความเครียดดัดโค้ง และ ค่าการต้านทานแรงกระแทกที่สูงกว่าการอบแบบ OV, 1S และ 3S

4. จากผลการทดสอบอีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิทสูตร II อบแบบหลายระดับความร้อน พบว่าการอบแบบ 3S ให้ค่าสมบัติเชิงกล เช่น มอดุลัสของยัง ความคงทนต่อแรงดึง มอดุลัสของการดัดโค้งและความเครียดดัดโค้งที่สูงกว่าการอบแบบ OV, 1S และ 3S ส่วนค่าการต้านทานแรงกระแทกให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการอบแบบอื่นๆ

5. อีพ๊อกซีเส้นใยแก้วคอมโพสิททั้งสูตร I และ II ที่อบแบบหลายระดับความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟมีลักษณะทางกายภาพ เช่นสี ความใส ความเรียบที่ผิวเหมือนกับการอบด้วยเตาอบความร้อน

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1. จากผลการวิเคราะห์อีพ๊อกซีคอมโพสิทสูตร I พบว่าปริมาณการยึดติดระหว่างอีพ๊อกซีกับเส้นใยแก้วของการอบแบบ 2S มีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับการอบแบบ OV, 1S และ 3S ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสมบัติเชิงกล

2. จากผลการวิเคราะห์อีพ๊อกซีคอมโพสิทสูตร II พบว่าปริมาณการยึดติดระหว่างอีพ๊อกซีกับเส้นใยแก้วของการอบแบบ 3S มีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับการอบแบบ OV, 1S และ 2S ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสมบัติเชิงกล

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมททริค อนาไลเซอร์ (TGA)

1. จากผลการวิเคราะห์อีพ๊อกซีสูตร I พบว่าการอบแบบ 2S มีความเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการอบแบบ 3S ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสมบัติเชิงกลที่การอบแบบ 2S ให้ค่าสูงกว่าการอบแบบ3S

2. จากผลการวิเคราะห์อีพ๊อกซีสูตร II พบว่าการอบแบบ 3S มีความเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการอบแบบ 2S และ 1S ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสมบัติเชิงกลที่การอบแบบ 3S ให้ค่าสมบัติเชิงกลบางค่าสูงกว่าการอบแบบ 1S และ 2S

5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์ (DMTA)

การวิเคราะห์ด้วย DMTA ทำการวิเคราะห์เฉพาะอีพ๊อกซีสูตร II โดยค่า T_g ที่ได้จากการทดสอบพบว่า การอบแบบ 3S ให้ค่า T_g สูงกว่าการแบบ 1S แต่ให้ค่าต่ำกว่าการอบด้วยเตาอบความร้อนซึ่งขัดแย้งกับผลการทดสอบเชิงกลซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิทนั้นพิจารณาเฉพาะค่า T_g เพียงค่าเดียวไม่ได้ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นด้วย เช่น การยึดติดระหว่างอีพ๊อกซีกับเส้นใยแก้ว เป็นต้น

5.5 สรุปผลการวัดความหนืดและอุณหภูมิของอีพ๊อกซีที่เวลาอบต่างๆ ในเตาอบความร้อนและเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อนต่างๆ

1. อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดของการอบอีพ๊อกซีเรซินสูตร I ที่เวลาอบต่างๆของ OV และ L2 ช่วงแรกมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดต่ำ ช่วงต่อมาอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วน L3 และ L4 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดสูงกว่า OV และ L2 โดย L4 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดสูงกว่า L3

2. อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดของการอบอีพ๊อกซีเรซินสูตร II ที่เวลาอบต่างๆคล้ายกับอีพ๊อกซีสูตร I คือ OV และ L2 ช่วงแรกมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดต่ำ ช่วงต่อมาอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วน L3 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดสูงกว่า OV และ L2

3. อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดเมื่อเวลาอบนานขึ้นของอีพ๊อกซีเรซินที่อบในเตาไมโครเวฟระดับความร้อนที่ 2 มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับการอบในเตาอบความร้อน ทั้งอีพ๊อกซีสูตร I และ II คือในช่วงแรกความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงต่อมาความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คล้ายกับการอบที่ระดับความร้อนที่ 3 และ 4

4. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอีพ๊อกซีเรซินสูตร I อบแบบขั้นตอนเดียวเรียงจากต่ำไปสูงคือ L2 $\leq$ OV < L3 < L4 < L5 < L6

5. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอีพ๊อกซีเรซินสูตร II อบแบบขั้นตอนเดียวเรียงจากต่ำไปสูงคือ L2 < OV < L3 < L4

6. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอีพ๊อกซีเรซินอบแบบ 2S และ 3S ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงต่อมาอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คล้ายกับการอบแบบขั้นตอนเดียว ทั้งอีพ๊อกซีสูตร I และ II

7. อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอีพ๊อกซีเรซินอบแบบ 2S และ 3S มีแนวโน้มที่คล้ายกับอีพ๊อกซีที่อบในเตาอบความร้อนทั้งอีพ๊อกซีเรซินสูตร I และ II

5.6 สรุปผลการวัดเวลาที่ใช้ในการอบอีพ๊อกซีเปรียบเทียบระหว่างการอบในเตาไมโครเวฟกับเตาอบความร้อน

1. อีพ๊อกซีสูตร I อบด้วยเตาไมโครเวฟใช้เวลาอบจริงเพียง 22.6–26.2% ของเวลาที่ใช้ในเตาอบความร้อน (คิดจากการอบแบบ 2S)

2. อีพ๊อกซีสูตร II อบด้วยเตาไมโครเวฟใช้เวลาอบจริงเพียง 30.56–41.67 % ของเวลาที่ใช้ในเตาอบความร้อน (คิดจากการอบแบบ 3S)

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเตาไมโครเวฟที่ใช้เป็นเตาสำหรับปรุงอาหารตามบ้านเรือน จึงมีข้อจำกัดในการทดลอง ดังนั้นจึงควรมีการออกแบบเตาไมโครเวฟเพื่อให้เหมาะสำหรับงานวิจัย เช่น การออกแบบให้สามารถปรับกำลัง ความถี่ หรือการควบคุมอุณหภูมิของเตาไมโครเวฟได้ ตลอดจนการหาตำแหน่งและทิศทางการตกกระทบของคลื่นไมโครเวฟ เพื่อศึกษาการกระจายความร้อน

2. ควรจะติดมิเตอร์เพื่อวัดกำลังของเครื่อง หรืออุณหภูมิระหว่างการอบในเตาไมโครเวฟเพื่อคำนวณเปรียบเทียบกับการอบด้วยเตาอบความร้อน

3. ควรออกแบบเบ้าพิมพ์ที่สามารถทนต่อการขีดข่วนได้มากขึ้น เนื่องจากในการทดลองพบว่าเบ้าพิมพ์ที่ทำจากเทฟลอนนั้นจะเป็นรอยได้ง่ายทำให้ตัวอย่างที่เตรียมได้มีตำหนิเนื่องมาจากการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มในด้านการเปลี่ยนชนิดของเส้นใยแก้วที่ใช้โดยอาจใช้เส้นใยแก้วแบบสั้น หรือเส้นใยยาวว่ามีผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างไร

5. จากผลการทดลองพบว่าความหนืดและเวลาอบของอีพ๊อกซีเป็นตัวกำหนดการยึดติดเส้นใยแก้วของอีพ๊อกซีซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของระบบคอมโพสิท จึงควรใช้ความหนืดและเวลาอบเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการเลือกใช้สูตรที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต