

## Executive Summary

### ปัญหาที่ทำการวิจัยและความสำคัญของปัญหา

โครงการวิจัยนี้เป็นโจทย์ที่ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมนำเสนอให้ผู้เสนอโครงการวิจัยทำวิจัย โดยต้องการเปลี่ยนกระบวนการอบเพื่อทำปฏิกิริยา (cure) ของอีพ็อกซีที่ใช้ในอุตสาหกรรมคอมโพสิต (glass fiber - epoxy composite) จากกระบวนการอบคือการใช้ไอน้ำร้อน (steam) มาเป็นการใช้คลื่นไมโครเวฟ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดต้นทุนการผลิต การใช้คลื่นไมโครเวฟนี้มีข้อได้เปรียบ 3 ประการ คือ (1) ด้านสิ่งแวดล้อม: การใช้คลื่นไมโครเวฟจะไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น เป็นกระบวนการที่สะอาดกว่า การใช้ไอน้ำนั้นจะต้องมีการบำบัดน้ำก่อนเข้าหม้อต้ม และ การบำบัดน้ำจะต้องมีการใช้สารเคมีที่มีสภาพเป็นกรด-ด่างทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้น สร้างปัญหาด้านมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม (2) ด้านพลังงาน: การใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยประหยัดพลังงาน เป็นการประหยัดการนำเข้าน้ำมัน (3) ด้านการผลิต: การใช้คลื่นไมโครเวฟให้ความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิสูงกว่าการใช้ไอน้ำ ผู้เสนอโครงการวิจัยได้ทำการศึกษาจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากเป็นวัสดุคอมโพสิต (ระบบอีพ็อกซี-แอนไฮไดรด์) ที่ยังไม่เคยมีการศึกษาวิจัยที่ปรากฏในเอกสารอ้างอิง และเทคนิคการใช้ไมโครเวฟสามารถทำได้ในอีพ็อกซีคอมโพสิต ดังนั้น โครงการวิจัยนี้นับได้ว่าเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่และนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

มีการสนใจนำไมโครเวฟอบวัสดุพลาสติกคอมโพสิต เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งเกิดจากความยากในการอบเทอร์โมเซตด้วยไอน้ำ ที่ต้องใช้เวลานานทำให้เกิดการสะสมความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาคายความร้อน ก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชิ้นงาน เกิดความเค้นอันเนื่องมาจากความร้อน และอาจเกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน มีบทความที่ได้กล่าวถึงการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบพลาสติก เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาด้วยไมโครเวฟ งานอีพ็อกซีที่มีการวิจัยด้วยการใช้ไมโครเวฟ ส่วนใหญ่จะเป็นระบบที่ใช้เอมีนทั้งสิ้น มีการรายงานไม่มากนักที่มีการใช้กลุ่มแอนไฮไดรด์

การศึกษาการอบอีพ็อกซีด้วยไมโครเวฟนี้ นอกจากจะมีประโยชน์โดยตรงกับอุตสาหกรรมคอมโพสิตแล้วยังมีประโยชน์กับอุตสาหกรรมด้านอื่น ๆ อีกด้วย เนื่องจากอีพ็อกซีถูกนำไปใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์ กาว สารเคลือบผิว และทันตกรรม นอกจากนี้การวิจัยการอบด้วยไมโครเวฟนี้ผู้เสนอโครงการวิจัยจะนำไปประยุกต์ใช้กับการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วย กล่าวโดยสรุปดังนี้คือ การศึกษาการอบวัสดุคอมโพสิต (อีพ็อกซี-แอนไฮไดรด์ เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว) ด้วยไมโครเวฟเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในสาขาพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยเปรียบเทียบการอบระบบอีพ็อกซี-แอนไฮไดรด์ด้วยความร้อนกับไมโครเวฟ และทำความเข้าใจขั้นพื้นฐานการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุระบบนี้ พัฒนาเทคนิค/กระบวนการอบด้วยไมโครเวฟให้เหมาะสม เพื่อเตรียมเข้าสู่ภาคปฏิบัติจริงในอุตสาหกรรม โครงการวิจัยนี้ยังเป็นความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่น ๆ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการอบเพื่อทำปฏิกิริยา (curing) ระบบอีพ็อกซี-แอนไฮไดรด์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ
2. เปรียบเทียบการอบเพื่อทำปฏิกิริยาอีพ็อกซีเรซินด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สภาวะการอบต่างๆ
3. เปรียบเทียบผลการอบด้วยไมโครเวฟและไอน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของอีพ็อกซี-แอนไฮไดรด์
4. เปรียบเทียบผลการอบด้วยไมโครเวฟและไอน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของอีพ็อกซีคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

### วิธีการดำเนินการ

1. ผสมอีพ็อกซี สารทำให้แข็ง และตัวเร่งปฏิกิริยา เข้าด้วยกันตามน้ำหนักที่กำหนด กวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ปลอ่ยทิ้งไว้ให้ฟองอากาศหายไป เเทลงในเบ้าพิมพ์ นำไปอบด้วยตู้อบหรือเตาไมโครเวฟ ถ้าเตรียมคอมโพสิตให้

นำเรซินที่มีส่วนผสมตามที่กำหนดก่อน แล้วนำแผ่นใยแก้วที่ซึ่งน้ำหนักไว้แล้ว จุ่มลงในเรซินที่เจือปนเปียกชุ่มทั่วทั้งแผ่น เทเรซินลงในเบ้าพิมพ์ให้ทั่ว วางแผ่นใยแก้วนี้บนเรซิน และเทเรซินที่เหลือให้ท่วมแผ่นใยแก้ว

2. การอบด้วยตู้อบความร้อนจะอบที่ 150°C เป็นเวลาต่างๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและความหนาของชิ้นงาน การอบด้วยเตาไมโครเวฟจะเลือกใช้สภาวะการอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสูตรเรซินและความหนาของชิ้นงาน มีการอบ 2 แบบ ดังนี้ การอบแบบชั้นตอนเดียวและการอบแบบหลายชั้นตอน (สองชั้นตอนและสามชั้นตอน) แต่ละชั้นตอนจะใช้ระดับกำลังและเวลาต่างกัน
3. ตรวจสอบความสามารถในการอบด้วยเตาไมโครเวฟของเรซินสูตรต่างๆ วิเคราะห์ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค DSC
4. ทดสอบสมบัติเชิงกลของเรซินและคอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM สมบัติเชิงกลที่ทดสอบได้แก่ tensile properties, flexural properties (three-point bending) และ impact strength เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลแต่ละประเภทระหว่างชิ้นงานที่อบด้วยตู้อบความร้อนและอบด้วยเตาไมโครเวฟ
5. วิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของเรซินและคอมโพสิตที่อบด้วยตู้อบความร้อนและเตาไมโครเวฟ ด้วยเทคนิคต่อไปนี DSC, DMTA, TGA และ SEM โดยตรวจสอบ  $T_g$ ,  $\alpha$  transition temperature, พลังงานกระตุ้น, การสลายตัว และ interfacial adhesion ระหว่างเรซินและเส้นใยแก้ว
6. ตรวจสอบความหนืดและอุณหภูมิของเรซินระหว่างการอบ

#### ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้สารเคมีและเส้นใยแก้วที่ผลิตขายทั่วไป ไม่สังเคราะห์เอง และนำมาใช้โดยไม่มีการดัดแปลงใดๆ
2. ใช้เตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน และใช้ตู้อบความร้อนชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
3. ไม่ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาเคมี
4. ไม่เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่างสูตร แต่จะเปรียบเทียบสูตรเดียวกันระหว่างที่อบด้วยตู้อบความร้อนและอบด้วยเตาไมโครเวฟ การวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ เป็นไปในทำนองเดียวกันคือ เปรียบเทียบตัวอย่างที่ได้จากการอบต่างกัน

#### สรุปผลการดำเนินการ

การทดลองบรรลุวัตถุประสงค์คือ สามารถใช้เตาไมโครเวฟอบอีพ็อกซีเรซินและอีพ็อกซีคอมโพสิต ให้มีสมบัติเชิงกลเทียบเท่าหรือดีกว่าการอบด้วยตู้อบความร้อน การอบด้วยเตาไมโครเวฟจำเป็นต้องใช้การอบแบบหลายชั้นตอน คือ มีการอุ่นเรซินก่อนแล้วจึงให้เรซินเกิดปฏิกิริยาภายหลัง วิธีนี้จะทำให้เรซินเกาะติดบนเส้นใยแก้วได้ดีขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น การอบด้วยเตาไมโครเวฟสามารถทำให้อีพ็อกซีเกิดปฏิกิริยาเคมีได้สมบูรณ์ แต่อาจมีการเชื่อมโยงโมเลกุลหรือโครงร่างแหไม่สมบูรณ์ได้ถ้าใช้สภาวะการอบไม่เหมาะสม การอบด้วยเตาไมโครเวฟมีความซับซ้อนมากกว่าการอบด้วยตู้อบความร้อน เพราะการมีความร้อนเกิดขึ้นในเรซินแตกต่างกัน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสภาวะการอบในเตาไมโครเวฟแม้เพียงเล็กน้อย ก็อาจมีผลกระทบต่อชิ้นงานที่ได้ นอกจากนี้ขนาดของชิ้นงานและสูตรเรซินมีอิทธิพลต่อการเลือกสภาวะการอบด้วยเตาไมโครเวฟด้วย เชื่อว่าการอบด้วยเตาไมโครเวฟและการอบด้วยตู้อบไม่ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของอีพ็อกซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตรวจสอบได้จากปริมาณพลังงานกระตุ้นใกล้เคียงกัน