บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการทดลองการรีไซเคิลอีพ็อกซีเรซินในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิด FR-4 ด้วยวิธีทางเคมี คือ การใช้ตัวทำละลายร้อน และวิธีทางกล คือ การบด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรีไซเคิลด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด และสามารถเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพของการรีไซเคิลสูงสุด การทดลองของงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวทำละลายทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน เมทิลลีนคลอไรด์ เอทิลอะซีเตท อะซีโตน และเมทานอล เพื่อเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และศึกษาปัจจัยรวมถึงสภาวะที่มีผลต่อการรีไซเคิล ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาขนาดอนุภาคของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการรีไซเคิล โดยเลือกใช้แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดหยาบ ขนาดอนุภาค 3–4 มิลลิเมตร และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดละเอียด ขนาดอนุภาค 0.075-0.097 มิลลิเมตร และศึกษาเวลาในการรีไซเคิลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการรีไซเคิล โดยเลือกใช้ช่วงเวลาทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ 4 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการรีไซเคิล เพื่อเลือกใช้และเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิคในการรีไซเคิล ในการทดลองนี้ใช้เทคนิคในการรีไซเคิลทั้งหมด 4 เทคนิค ได้แก่ เทคนิครีฟลักซ์ เทคนิคซอกเลต เทคนิคผสมระหว่างเทคนิครีฟลักซ์กับเทคนิคซอกเลต และเทคนิคถังความดัน และทำการทดสอบหมู่ฟังก์ชันหลักของรีไซเคิลเรซินด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรสโคปี หลังจากนั้นนำรีไซเคิลเรซินมาผสมกับอีพ็อกซีเรซินใหม่ เพื่อเปรียบเทียบกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดผสมกับอีพ็อกซีเรซินใหม่ โดยเลือกใช้แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดขนาด 60-80 mesh 80-160 mesh และ 160-200 mesh ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และทดสอบความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดดึง มอดูลัส ลักษณะสัณฐานวิทยา อุณหภูมิคล้ายแก้ว และอุณหภูมิการสลายตัว

จากการศึกษาและทดลอง พบว่า การรีไซเคิลแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคถังความดัน ตัวทำละลายเอทิลอะซีเตท 200 มิลลิลิตร แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดอนุภาค 0.075-0.097 มิลลิเมตร 20 กรัม อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง ความดัน 15 บาร์ มีประสิทธิภาพของการรีไซเคิลสูงสุด สามารถรีไซเคิลอีพ็อกซีเรซินในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นผลิตภัณฑ์ร้อยละ 50.46 เนื่องจาก การรีไซเคิลอีพ็อกซีเรซินในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคถังความดันจะเกิดความดันขึ้นภายในถังความดัน 15 บาร์ ดังนั้นอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทในถังความดันสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทที่ความดันปรกติ เมื่อทดสอบเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันหลักของรีไซเคิลเรซินจากการรีไซเคิลด้วยเทคนิคถังความดัน ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปคโทรสโคปี พบว่า หมู่ฟังก์ชันสำคัญภายโครงสร้างของรีไซเคิลเรซินมีลักษณะใกล้เคียงกับหมู่ฟังก์ชันสำคัญภายโครงสร้างของ Diglycidylether of Bisphenol A ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันอะโรมาติก ที่ความยาวคลื่น 1480-1540 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน phenyl-O-C ที่ความยาวคลื่น 1020-1040 cm^{-1} หลังจากผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าชิ้นงานทดสอบอีพ็อกซีเรซิน อีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซินและอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บด ขนาด 60-80 mesh 80-160 mesh และ 160-200 mesh ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน แต่ค่าความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดดึง มอดูลัสยืดดึง ความต้านทานแรงดัดงอและมอดูลัสยืดดึงของชิ้นงานทำสอบอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซินมีค่าสูงกว่าอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บด เนื่องจากรีไซเคิลเรซินมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดใกล้เคียงกับเรซินใหม่ จึงสามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับอีพ็อกซีเรซินใหม่ได้ดีกว่าแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดที่มีลักษณะเป็นของแข็ง และที่อัตราส่วนผสมของรีไซเคิลเรซินและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดดึงมอดูลัสยืดดึงและมอดูลัสยืดดึง มากกว่าอัตราส่วนผสมของรีไซเคิลเรซินและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ เนื่องจาก ปริมาณของรีไซเคิลเรซินและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 มีปริมาณน้อย ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดดึงและมอดูลัส มีค่ามากกว่าและใกล้เคียงกับอีพ็อกซีเรซินมากที่สุด ลัษณะสัณฐานวิทยาของชิ้นงานทดสอบอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซินและอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บด

ขนาด 60-80 mesh 80-160 mesh และ 160-200 mesh ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า อีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซิน อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี และอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์บดไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้และเกิดช่องว่างบริเวณรอบเส้นใยแก้ว เกิดการหลุดออกของเส้นใยแก้วจากอีพ็อกซีเรซินใหม่ และจากการทดสอบอุณหภูมิคล้ายแก้วและอุณหภูมิการสลายตัวของอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซิน ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า อุณหภูมิคล้ายแก้วของอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซิน ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 มีค่าสูงสุด คือ 79.9 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของรีไซเคิลเรซิน เนื่องจาก รีไซเคิลเรซินมีอุณหภูมิคล้ายแก้วสูงกว่าอีพ็อกซีเรซินใหม่ เมื่อผสมรีไซเคิลเรซินในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิคล้ายแก้วของอีพ็อกซีเรซินใหม่ผสมรีไซเคิลเรซินมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิการสลายของอีพ็อกซีเรซินผสมรีไซเคิลเรซิน ในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สามารถสลายตัวได้มากที่สุดและมีแนวโน้วของการสลายตัวลดลงตามปริมาณของรีไซเคิลเรซิน เนื่องจาก การรีไซเคิลอีพ็อกซี เรซินในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวทำละลาย อุณหภูมิ และความดัน ทำให้โมเลกุลของรีไซเคิลเรซินเกิดการเสื่อมสภาพ น้ำหนักโมเลกุลลดลง และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น เมื่อผสมรีไซเคิลเรซินในปริมาณมากขึ้น ส่งผลการสลายตัวเกิดได้เพิ่มมากขึ้น

5.2 ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ตัวอย่างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิด FR-4 จากบริษัท Aspocomp มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื่องจากเป็นความลับของทางบริษัทที่ไม่สามารถเปิดเผยได้

5.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบบางชนิดไม่เพียงพอต่อการใช้งานและมีปริมาณการใช้งานหนาแน่น