

ผลกระทบของรูปทรงและขนาดของผงอะลูมิเนียมต่อความแข็งแรงของวัสดุประเภท อีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม

Effects of Shape and Grain Size of Aluminum Powder on the Mechanical Strength of Aluminum Filled Epoxy Resin

สุนิติ เกิดหนูวงศ์^{1*} อัญชนา วงษ์โต¹ ชัชพล ชังชู¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2913-2500 ต่อ 6437 โทรสาร 02-587-4356 *อีเมลล์ snt@kmitnb.ac.th

Suniti Kerndnoonwong^{1*}, Anchana Wongsto¹, Chatchapol Chungchoo¹

¹ Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Bangkok 10900, Thailand,

Tel: 0-2913-2500 Ext 6437, Fax: 0-2587-4356, *E-mail: snt@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมภายใต้อัตราส่วนผสมเชิงมวลระหว่างมวลอีพ็อกซีเรซินกับอะลูมิเนียม ที่อัตราส่วนเชิงมวล 40:60, 45:55, 50:50 และ 55:45 ตามลำดับ ในการทดลองได้นำวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินผสมอะลูมิเนียมที่อัตราส่วนข้างต้นมาทดสอบการดึงและอัดเพื่อพิจารณาพฤติกรรมของความเค้นและความเครียด (Stress-strain behavior) ที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์โดยใช้โมเดลแบบไมโครแมคคานิกส์ (Micromechanics Model) ซึ่งสมมติให้ผงอะลูมิเนียมมีรูปทรงเป็นแบบทรงกลม

จากผลการทดสอบพบว่า กรณีการทดสอบการดึงของวัสดุที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 วัสดุสามารถทนต่อสภาพความเค้นดึงได้มากที่สุดเท่ากับ 50 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเชิงมวลอื่นๆ สำหรับกรณีการทดสอบการอัดของวัสดุพบว่า ทุกๆ อัตราส่วนเชิงมวลสามารถทนต่อสภาพความเค้นอัดได้ใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 85.2 MPa สำหรับผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์ของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุพบว่า กรณีการดึงที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 ของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุพบว่าเกิดความเค้นฟอนมิสเชส (von Mises stress) บนอีพ็อกซีเรซินมากที่สุดเท่ากับ 109 MPa สำหรับกรณีการอัดพบว่า ทุกๆ อัตราส่วนเชิงมวลมีค่าความเค้นฟอนมิสเชสบนอีพ็อกซีเรซินใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 184.4 MPa

งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 เป็นอัตราส่วนเชิงมวลที่มีความเหมาะสมโดยรวมมากที่สุดในด้านความแข็งแรงของวัสดุในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์ เกิดจากรูปทรงและ

ขนาดของอะลูมิเนียมที่ใช้มีรูปทรงที่ไม่แน่นอนและมีขนาดไม่คงที่

คำสำคัญ: อีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม, ไฟไนท์เอลิเมนต์, ไมโครแมคคานิกส์

Abstract

This study is to investigate the mechanical behaviors of Aluminum Filled Epoxy Resin under mass mixture ratios between epoxy resin and aluminum powder at 40:60, 45:55, 50:50 and 55:45 respectively. Tensile and compressive tests were conducted to determine stress-strain behaviors for all mass mixture ratios. The experimental results were compared with the results obtained by finite element analysis based on micromechanics model. In addition, the spherical shape of aluminum powder was assumed in the finite element models.

It has been found from experiment that the mass mixture ratio at 45:55 gives the highest tensile strength of about 50 MPa, while the compressive stresses for all mass mixture ratios are fairly similar. The averaged value of compressive strength of 85.2 MPa was obtained by experiment. In the case of tensile test, the finite element analysis predicted the highest value of von Mises stress of about 109 MPa at the mass mixture ratio of 45:55. The averaged value of von Mises compressive stress for all mixture ratios of 184.4 MPa is obtained by finite element analysis.

It can be concluded from this study that the suitable mass mixture ratio is 45:55 in term of mechanical strength. This mixture

ratio suits for variety of engineering applications. The discrepancy between experimental results and finite element results is due to the variations in shape and grain size of aluminum powder used in this work.

Keywords: Aluminum Filled Epoxy Resin , Finite Element Method , Micromechanics

1. บทนำ

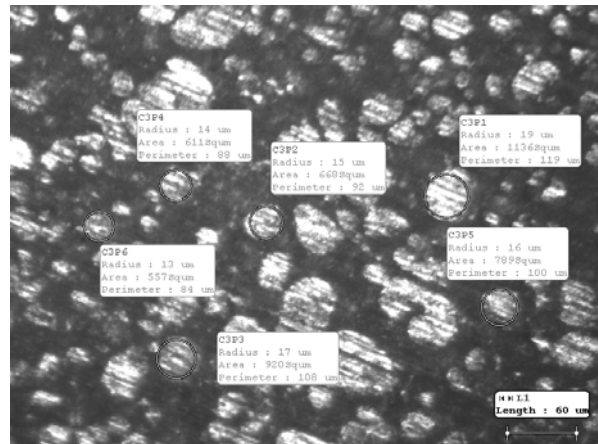
เมื่อกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดขึ้นงานพลาสติกสำหรับงานอุตสาหกรรมวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำแม่พิมพ์ทำจากเหล็กกล้ารอบสูง หรืออะลูมิเนียมเกรดต่างๆ ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่มีราคาแพงและต้องเสียเวลาสำหรับการผลิตที่ยาวนานมาก ซึ่งจากสภาพการแข่งขันทางการค้าในปัจจุบันผลกระทบของระยะเวลาและราคาต้นทุนของวัสดุที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นงานพลาสติกมีผลกระทบเป็นอย่างมาก จากเหตุผลดังกล่าวสำหรับบางประเทศ เช่น ไต้หวัน และเกาหลีใต้ สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่เรียกว่า แม่พิมพ์เร็ว (Quick mould) ให้แล้วเสร็จได้ในระยะเวลา 14 วัน (ไม่รวมขั้นตอนการออกแบบ) ซึ่งถือว่าใช้เวลาสำหรับการผลิตได้รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กกล้ารอบสูง และเหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งแม่พิมพ์ชนิดนี้สามารถที่จะตอบสนองความต้องการของสินค้าเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยซึ่งปัจจุบันแนวโน้มการผลิตแม่พิมพ์เร็วถูกนำมาใช้เป็นแนวคิดสู่การผลิตสินค้าประเภทอื่นๆ ต่อไป เมื่อกล่าวถึงวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม (Aluminum Filled Epoxy Resin) เป็นวัสดุผสมที่เกิดจากการนำผงอะลูมิเนียมผสมกับอีพ็อกซีเรซิน และนำไปเทหล่อลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนหรือเทหล่อลงบนตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ (Master Model) ที่ต้องการสำหรับผลิตแม่พิมพ์เร็ว ดังนั้นหากต้องการที่จะนำวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เร็วจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงกลไกและพฤติกรรมทางกลของวัสดุประเภทนี้ว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดที่จะนำไปทดแทนวัสดุประเภทเหล็กกล้ารอบสูงสำหรับการผลิตแม่พิมพ์เร็ว Liu and Gong [1] ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติเชิงกลในรูปแบบความเค้นอัดสำหรับวัสดุผสมประเภทพอลิเมอร์ผสมโลหะที่มีความพรุน (Metal porous polymer composites : MPPC) โดยทำการเปรียบเทียบการแทรกตัวของโครงสร้างวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีนผสมผงอะลูมิเนียม (AL-PE) และอีพ็อกซีเรซินผสมผงอะลูมิเนียม (AL- EP) จากผลการวิจัยพบว่าค่า Compressive Modulus ของ AL-EP มีค่าสูงกว่า AL-PE ขณะที่ค่าการดูดกลืนพลังงาน (Energy absorption) ของวัสดุ AL-EP เปรียบเทียบกับวัสดุ AL-PE ที่ส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 30% ที่ความเครียด 40 % พบว่าวัสดุ AL-EP มีค่าการดูดกลืนพลังงานมากที่สุดประมาณ 50 MJ/ m² ขณะที่วัสดุ AL-PE มีค่าการดูดกลืนพลังงานมากที่สุดประมาณ 20 MJ/ m² Goyanes, et al [2] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมโดยการทดสอบความเค้นอัด สำหรับวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมที่ใช้ในการศึกษานั้น ขนาดผงอะลูมิเนียมที่ใช้มีขนาด 106 -125 ไมครอน โดยใช้สัดส่วนผงอะลูมิเนียมเชิงปริมาตรสำหรับการทดสอบที่ 20 % , 25

% และ 30 % การทดสอบความเค้นอัดเป็นตามมาตรฐาน ASTM D695M-90 จากผลการวิจัยพบว่าที่สัดส่วนผงอะลูมิเนียมเชิงปริมาตร 30 % ให้ค่าความเค้นอัดสูงสุด

2. ขั้นตอนการทดสอบ

2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ

วัสดุพื้นฐานสำหรับเตรียมวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยอีพ็อกซีเรซินเหลว ชื่อทางการค้า SIKA เบอร์ L84 ของเหลวทำให้แข็งตัว (Hardener) ชื่อทางการค้า SIKA เบอร์ L84T และ ผงอะลูมิเนียมขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมอยู่ระหว่าง 10 – 70 ไมครอน จากนั้นทำการเทหล่อขึ้นทดสอบวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมสำหรับการทดสอบภาระดึงและอัดตามมาตรฐาน ASTM ลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้ สำหรับกระบวนการเทหล่อขึ้นทดสอบทำภายใต้เครื่องสูญญากาศเพื่อลดปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเทหล่อโดยใช้เวลาสำหรับขั้นตอนนี้ประมาณ 30 – 40 นาที จากนั้นปล่อยให้วัสดุแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง โดยกำหนดอัตราส่วนเชิงมวล (Mass Mixture Ratios) ของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมสำหรับการศึกษาวิจัยนี้อยู่ที่ 40:60 , 45:55 , 50:50 และ 55:45 (มวลของผงอะลูมิเนียมต่อมวลของวัสดุตั้งต้น) จำนวนขึ้นทดสอบในแต่ละกรณีใช้จำนวนขึ้นทดสอบทั้งหมดกรณีละ 5 ขึ้นทดสอบ



รูปที่ 1 ภาพถ่ายโครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55

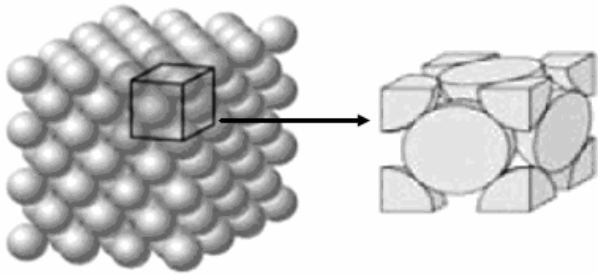
2.2 ขั้นตอนการทดสอบหาสมบัติเชิงกล

หลังจากเตรียมขึ้นทดสอบจากขั้นตอนข้างต้น จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาทดสอบภายใต้ภาระดึงและอัดด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) สำหรับหาสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของวัสดุได้แก่ ค่าความเค้นสูงสุด (Ultimate Strength) , ค่าภาระสูงสุด (Maximum Load), ค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain) และค่าคงที่ความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) โดยข้อมูลสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบสำหรับพิจารณาถึงแนวโน้มของสมบัติเชิงกลเหล่านี้กับอัตราส่วนเชิงมวลของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม

3. ขั้นตอนประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์

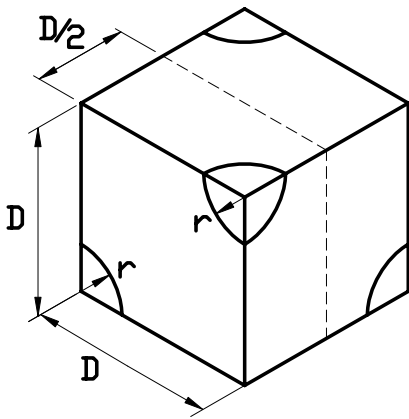
3.1 แบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม

จากภาพถ่ายโครงสร้างวัสดุตามรูปที่ 2 พบว่าลักษณะของรูปทรงและขนาดของอนุภาคอะลูมิเนียมมีขนาดและรูปทรงที่ไม่แน่นอน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมให้มีความถูกต้องจึงเป็นสิ่งที่ปฏิบัติได้ลำบาก ดังนั้นสำหรับแนวคิดของงานวิจัยนี้ได้ทำการสมมติให้โครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินโดยให้อนุภาคอะลูมิเนียมเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและกำหนดให้รูปทรงของอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม (sphere) โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ทุกอนุภาค และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใช้ค่าเฉลี่ยที่ 30 ไมครอน ขณะที่ระยะห่างระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนเชิงมวล



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองโครงสร้างและหน่วยเซลล์ (UnitCell) ของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม [3]

3.2 ระยะห่างระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมบนแบบจำลองโครงสร้าง



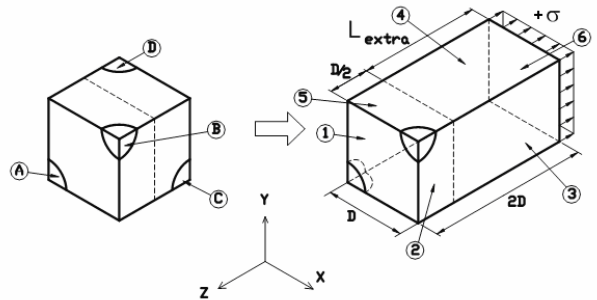
รูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม สำหรับการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์

แบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมตามรูปที่ 5 เป็นแบบจำลองที่ถูกแบ่ง 1 ใน 16 ส่วนของแบบจำลองหน่วยเซลล์ตามรูปที่ 4 สำหรับความสัมพันธ์ของระยะห่างอนุภาคอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนเชิงมวลของอะลูมิเนียม หาได้จากสมการที่ (2)

$$\%m_{Al} = \left[\frac{m_{Al}}{m_{Al} + m_R} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{\pi r^3 (180 - \%m_{Al})}{0.6 \%m_{Al}}} \quad (2)$$

โดย D	ระยะระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียม (μm)
r	รัศมีอนุภาคอะลูมิเนียม (μm)
m _{Al}	มวลอนุภาคอะลูมิเนียม (g)
m _R	มวลอีพ็อกซีเรซิน (g)
%m _{Al}	อัตราส่วนเชิงมวล (%)



รูปที่ 4 แสดงพื้นผิวในแต่ละส่วนบนแบบจำลองสำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

ขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมAbaqusโดยกำหนดรูปแบบการประมวลผลเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Analysis) โดยใช้แบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมตามรูปที่ 5 สำหรับการประมวลผล โดยมีข้อกำหนดเริ่มต้นจะไม่คำนึงในส่วนของผลกระทบทางความร้อน (Thermal Effect) เนื่องจากระหว่างกระบวนการหล่อวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม ก่อนที่วัสดุเกิดการแข็งตัวพบว่า มีความร้อนระหว่างการผสมเกิดขึ้นอยู่ที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 100 – 120 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงโครงสร้างวัสดุ

จากรูปที่ 5 ลักษณะเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาสำหรับการวิเคราะห์เป็นดังนี้

- พื้นผิว 1 (ด้านหน้าระนาบ xy) ทำการยึดการขจัดตามแนวแกน z
- พื้นผิว 2 (ด้านล่างระนาบ zx) ทำการยึดการขจัดตามแนวแกน y
- พื้นผิว 3 (ด้านหน้าระนาบ yz) ทำการยึดการขจัดตามแนวแกน x
- พื้นผิว 4 (ด้านหลังระนาบ yz) ทำการยึดการขจัดตามแนวแกน x
- พื้นผิว 5 (ด้านบนระนาบ zx) ทำการยึดการขจัดตามแนวแกน y
- พื้นผิว 6 (ด้านหลังระนาบ xy)

σ มีค่าบวก (+) สำหรับกรณีทดสอบภาระดึง

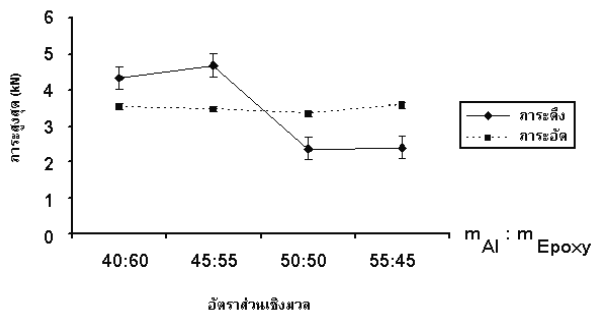
σ มีค่าลบ (-) สำหรับกรณีทดสอบภาระอัด

แบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมพบว่าอนุภาคอะลูมิเนียมที่อยู่ชิดกันมากที่สุดอยู่บนพื้นผิว 1 คืออนุภาค A

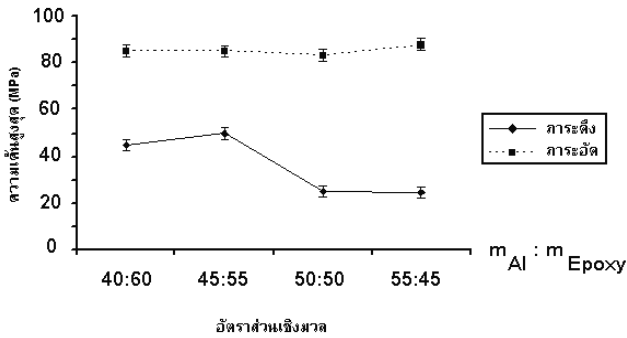
และ B โดยที่ L_{extra} ถูกใช้สำหรับการลดผลกระทบของความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นตามผล Saint-Venant's Effect ทั้งนี้เนื่องจากต้องการศึกษาการกระจายของความเค้นระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมทั้งสอง ซึ่งเป็นตัวกำหนดการแตกหักเสียหายระดับจุลภาคของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมนี้ สำหรับขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์ใช้วิเคราะห์หาสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงในส่วนของอีพ็อกซีเรซิน ได้แก่ ค่าความเค้นพอนมิสเชส (von Mises stress) , ค่าความเค้นหลัก (Principal Stress) และค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain)

4. ผลการทดสอบ

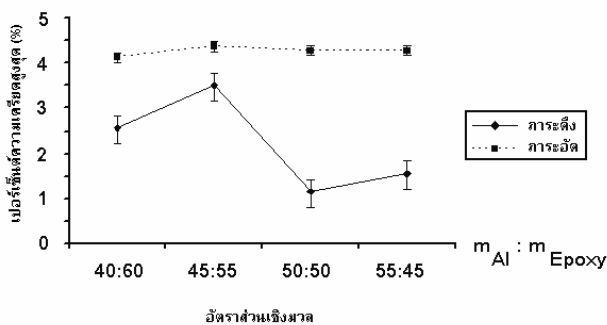
4.1 ผลการทดสอบหาสมบัติเชิงกลจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์



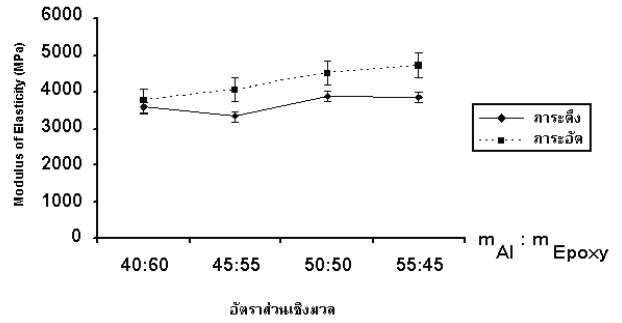
รูปที่ 5 กราฟแสดงแนวโน้มค่าการะสูงสุดกับอัตราส่วนเชิงมวล



รูปที่ 6 กราฟแสดงแนวโน้มค่าความเค้นสูงสุดกับอัตราส่วนเชิงมวล

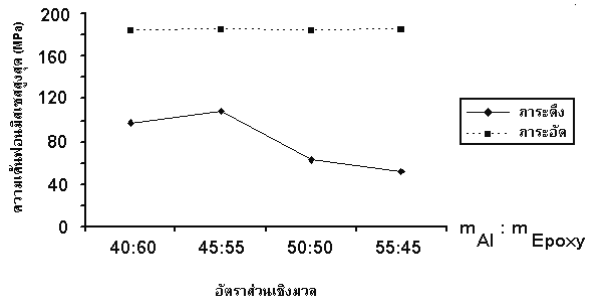


รูปที่ 7 กราฟแสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูงสุดกับอัตราส่วนเชิงมวล

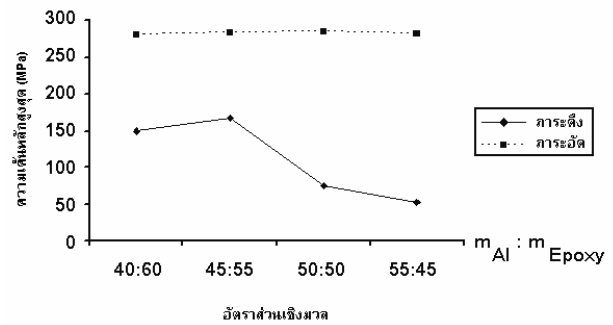


รูปที่ 8 กราฟแสดงแนวโน้มค่าคงที่ความยืดหยุ่นกับอัตราส่วนเชิงมวล

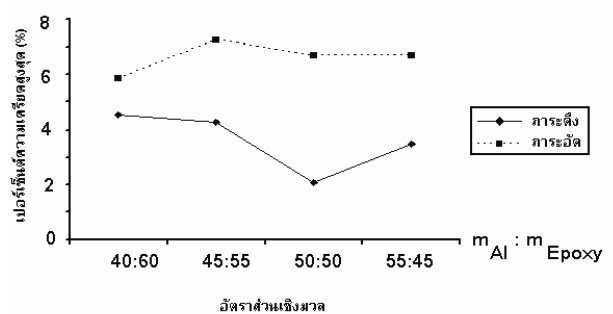
4.2 ผลการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์หาสมบัติเชิงกลบนแบบจำลอง



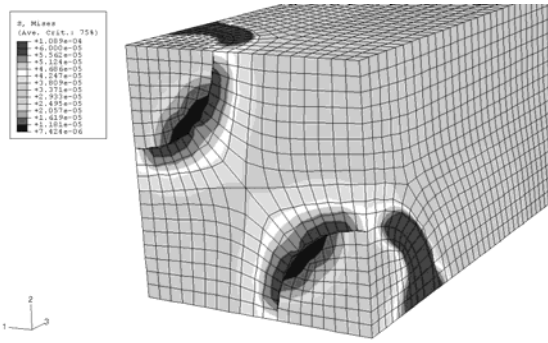
รูปที่ 9 กราฟแสดงแนวโน้มค่าความเค้นพอนมิสเชสกับอัตราส่วนเชิงมวล



รูปที่ 10 กราฟแสดงแนวโน้มค่าความเค้นประธานกับอัตราส่วนเชิงมวล

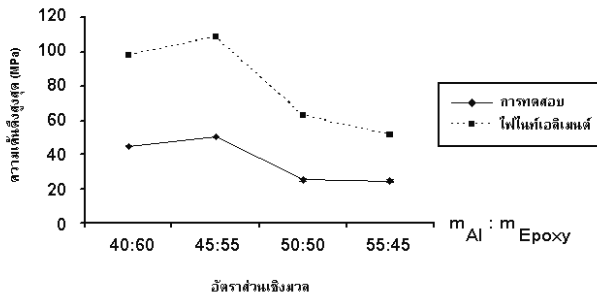


รูปที่ 11 กราฟแสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูงสุดกับอัตราส่วนเชิงมวล

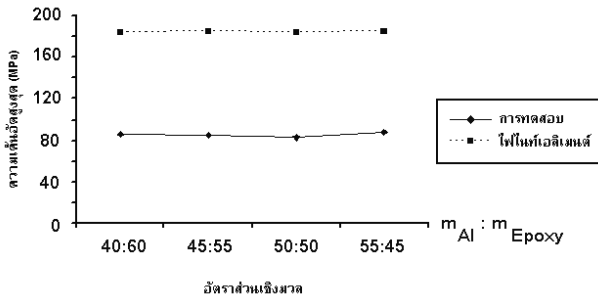


รูปที่ 12 แสดงการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์หาค่าความพอนนิสซสที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55

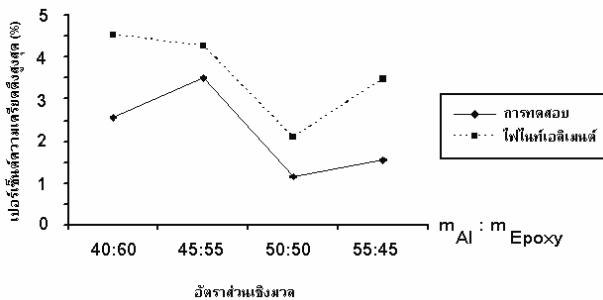
4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์



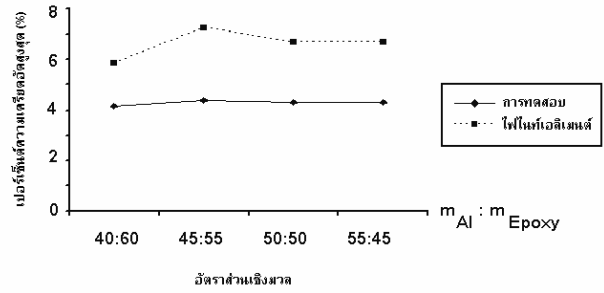
รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่าความเค้นดึงสูงสุด



รูปที่ 14 เปรียบเทียบค่าความเค้นอัดสูงสุด



รูปที่ 15 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเคียดึงสูงสุด



รูปที่ 16 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเคียดึงสูงสุด

5. วิเคราะห์ผลการวิจัย

5.1 ผลการทดสอบหาสมบัติเชิงกลจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

จากการทดสอบภาระดึงและอัด สำหรับหาอัตราส่วนเชิงมวลที่เหมาะสมระหว่างมวลของผงอะลูมิเนียมกับมวลของสารตั้งต้น ผลการทดสอบภาระดึงพบว่าอัตราส่วนเชิงมวล 45:55 ให้ค่าความเค้นดึงสูงสุด เท่ากับ 50 MPa ขณะที่เปอร์เซ็นต์ของความเคียดึงที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความเคียดึงมากที่สุดเท่ากับ 3.495% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเชิงมวลอื่นๆ ผลการทดสอบภาระอัดพบว่าทุกอัตราส่วนเชิงมวลให้ค่าความเค้นอัดสูงสุดใกล้เคียงกันเฉลี่ยเท่ากับ 85.2 MPa

5.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์

จากการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์บนแบบจำลองโครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมสำหรับงานวิจัยนี้ พบว่าผลจากการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์มีแนวโน้มเหมือนกันกับการทดสอบจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 ให้ค่าความเค้นดึงสูงสุดเท่ากับ 108.9 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเชิงมวลอื่นๆ ขณะที่ กรณีของค่าความเค้นอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นพบว่า ทุกอัตราส่วนเชิงมวลมีค่าความเค้นอัดสูงสุดใกล้เคียงกันเฉลี่ยเท่ากับ 184.4 MPa

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมที่อัตราส่วนเชิงมวล 45:55 เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมโดยรวมมากที่สุดในด้านความแข็งแรงของโครงสร้างวัสดุ จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมต่อไป

จากการประมวลผลไฟไนท์เอลิเมนต์ของแบบจำลองวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมพบว่า ผลจากการประมวลผลค่าความเค้นสูงสุดทั้งในรูปแบบภาระดึงและอัดพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดมีแนวโน้มในรูปแบบแนวเดียวกับผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ทุกๆ อัตราส่วนเชิงมวล แต่ปัญหาที่พบค่าความคลาดเคลื่อนของสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์กับผลที่ได้จากการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์มีค่าที่สูงมาก จากผลการวิจัยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ข้อจำกัดของแบบจำลองโครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียม

แบบจำลองโครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมที่สำหรับงานวิจัยนี้ทำการจำลองแบบรูปทรงของอนุภาคอะลูมิเนียมให้มีลักษณะเป็นทรงกลมเท่านั้น ในความเป็นจริงรูปทรงของอนุภาคอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นแบบรูปทรงที่หาความแน่นอนไม่ได้ (Irregular Shape) สาเหตุอีกประการหนึ่งกล่าวคือระยะห่างระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมบนแบบจำลองโครงสร้างของวัสดุ กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมคงที่ทุก ๆ อนุภาคอะลูมิเนียม ในความเป็นจริงจากภาพถ่ายโครงสร้างอนุภาคในรูปที่ 2 ระยะห่างระหว่างอนุภาคอะลูมิเนียมแต่ละคู่มีระยะที่ไม่คงที่

2. เงื่อนไขที่กำหนดสำหรับขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์

จากขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์บนแบบจำลองโครงสร้างของวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมนี้ สำหรับงานวิจัยนี้รูปแบบของการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์สำหรับหาสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้นในส่วนของอีพ็อกซี

เรซินใช้รูปแบบการประมวลผลแบบเชิงเส้น และไม่คำนึงถึงผลทางความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงของการเตรียมวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมซึ่งระหว่างการเตรียมได้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นซึ่งเกิดความร้อนขึ้นประมาณ 100 – 120 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่ามีผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้นในส่วนของอีพ็อกซีเรซินบนแบบจำลองโครงสร้าง

7. ข้อเสนอแนะ

จากข้อสรุปของความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 กรณี พบว่าสำหรับกรณีแบบจำลองโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินชนิดจำกัดดังกล่าวถือว่ายากต่อการปรับปรุงรูปแบบโครงสร้าง แต่สำหรับกรณีข้อกำหนดสำหรับขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์นั้นสามารถที่จะเปลี่ยนรูปแบบการประมวลผลจากเดิมที่เป็นแบบเชิงเส้นเปลี่ยนไปใช้รูปแบบการประมวลผลแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Analysis) จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเพิ่มเติมในรูปแบบของผลกระทบทางความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหล่อวัสดุ ซึ่งจากเหตุผลประการหลังสามารถที่ลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของโครงสร้างวัสดุประเภทอีพ็อกซีเรซินเติมอะลูมิเนียมได้

กิตติกรรมประกาศ

ทางที่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.กิตตินันท์ อ้นนันทน์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาต้นแบบรวดเร็ว ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

เอกสารอ้างอิง

[1] LIU, Y. and GONG, X., 2006. Compressive behavior and energy absorption of metal porous polymer composite with interpenetrating network structure. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, s439 - s443.

[2] Goyanes, S. et al., 2003. Yield and internal stresses in aluminum filled epoxy resin. A Compression test and positron annihilation analysis. Polymer, pp. 3193 - 3199.

[3] Shackelford, J.F., 1990. Introduction to Materials Science For Engineerings, New York, U.S.A.

[4] Agarwal, B.D. and Broutman, L.J., 1979. Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

[5] Rees, H., 1995. Mold Engineering, Hanser Publisher, New York, U.S.A.

[6] อัญชนา วงษ์โต, 2550. การพัฒนาแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์สำหรับขั้นตอนการประมวลผลทางไฟไนท์เอลิเมนต์. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.