<EN-98> (10)

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุฉนวนกันความร้อนแบบแผ่นแซนวิชรังผึ้งไม้อัดด้วยวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

An Analysis of Heat Transfer of Thermal Insulation Materials with Plywood Honeycombs Sandwich Panels by Using Finite Element-Simulation

อำนวย เรืองวารี[1]* ศิริชัย ต่อสกุล[2] วารุณี เปรมานนท์[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10140
E-mail: storsakul@yahoo.com*

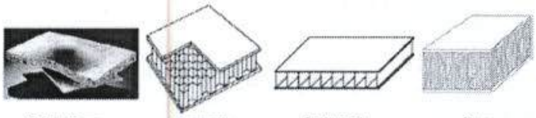
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการวิจัยการประยุกต์ใช้แผ่นแซนวิชรังผึ้งเสริมแผ่นไม้อัดสำหรับใช้เป็นโครงสร้างอาคารทดแทนวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ซึ่งเลือกใช้แผ่นไม้อัดที่มีใช้ตามท้องตลาด คือแผ่นไม้อัดจีน แผ่นไม้อัดยาง และแผ่นไม้อัดสัก เสริมในวัสดุแซนวิชชนิดรังผึ้ง โดยทำการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทดสอบการถ่ายเทความร้อนของวัสดุแซนวิชแต่ละชนิด ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าการเสริมไม้อัดในวัสดุแซนวิชทำให้ลดปริมาณการนำความร้อนลงได้ ซึ่งไม้อัดทั้งสามชนิดมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกันมาก ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนสำหรับวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดจีนให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดสัก และวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดยาง ตามลำดับ และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างประมาณ 0.1 องศาเซนเซียส

คำหลัก แซนวิชรังผึ้ง, การถ่านเทความร้อน, การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์, ไม้อัด

1. บทนำ

โครงสร้างแซนวิช (Sandwich structure) เป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งของวัสดุเชิงประกอบ (Composite material) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นประกบด้านบนและด้านล่าง (Faces) มีความบางแต่มีความแข็งแรงสูง ส่วนแกนกลาง (Core) เป็นวัสดุน้ำหนักเบา [1], [2] แผ่นประกบและแกนถูกยึดเข้าด้วยกันด้วย ดังรูปที่ 1 วัสดุแซนวิชถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง และความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยมีคุณสมบัติเด่นคือ มีโครงสร้างเบา (Lightweight Construction) [3] แผ่นประกบรับความเค้นดึง และความเค้นอัด ส่วนแกนกลางรับความเค้นเฉือนเท่านั้น [4]



รูปที่ 1 ชนิดของวัสดุแซนวิช [1]

วัสดุแซนวิชสามารถแบ่งประเภทออกได้เป็น 4 ประเภท คือ แซนวิชโฟม (Cellular foam) แซนวิชรังผึ้ง (Honeycomb) แซนวิชคอลอเกจ (Corrugated) และแซนวิชไม้ (Balsa) [5] วัสดุแซนวิชถูกนำมาใช้งานในวงการเทคโนโลยียานอวกาศ เรือ การขนส่ง และ ยานยนต์ [6], [7] เพื่อเพิ่มความเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุแซนวิชในการออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งต้องนำเทคโนโลยีไฟไนท์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้ช่วยวิเคราะห์วัสดุแซนวิช

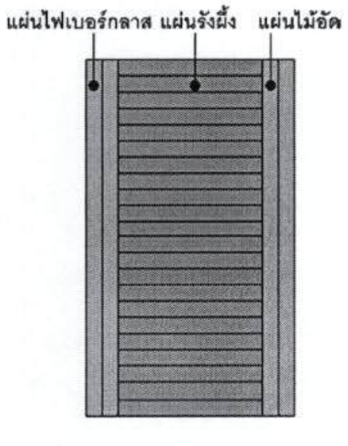
สำหรับงานวิจัยนี้ทำการวิจัยการประยุกต์ใช้แผ่นแซนวิชรังผึ้งเสริมแผ่นไม้อัดสำหรับใช้เป็นโครงสร้างอาคารทดแทนวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ซึ่งเลือกใช้แผ่นไม้อัดที่มีใช้ตามท้องตลาด คือแผ่นไม้อัดจีน แผ่นไม้อัดยาง และแผ่นไม้อัดสัก เสริมในวัสดุแซนวิชชนิดรังผึ้ง โดยทำการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทดสอบการถ่ายเทความร้อนของวัสดุแซนวิชแต่ละชนิด ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการนำไปใช้งานต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์

การออกแบบโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้หลักการออกแบบรูปร่างของแกนรังผึ้ง ตามทฤษฎีของ Zenkert [5] ซึ่งโมเดลมีขนาดมิติ คือ 300 x 300 x 40 มิลลิเมตร ประกอบด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาสเป็นแผ่นประกบ ไม้อัด (ไม้อัดจีน ไม้อัดยาง และไม้อัดยาง) และ

แกนกลางเป็นพอลีโพรไพลีน (Polypropylene) เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ถูกต้อง ทำการสร้างโมเดลในโปรแกรม Solid work โดยการแปลงไฟล์เป็นนามสกุล IGES เพื่อให้สามารถนำไปเปิดได้ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ลักษณะโมเดลที่ได้ออกแบบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบโมเดลวัสดุแซนวิช

2.2 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์วัสดุแซนวิชชนิดรังผึ้ง

เนื่องจากโครงสร้างของแซนวิชรังผึ้งมีลักษณะสมมาตรกันในการจำลองจึงสร้างโมเดลเพียงรังผึ้งเดียว เพื่อลดความผิดพลาดในการจำลองและเวลาในการคำนวณเอลิเมนต์ การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถดำเนินการอยู่สามขั้นตอน [2], [8] ดังนี้

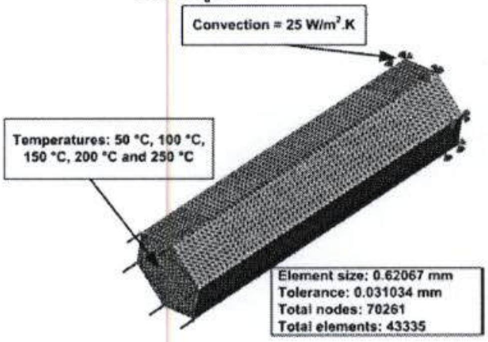
ขั้นตอนที่ 1 เตรียมโมเดล (Pre-processor)

1. กำหนดชนิดการวิเคราะห์แบบ Structure Analysis
2. กำหนดเอลิเมนต์ของโครงสร้างแบบ Brick Element (Solid)
3. กำหนดวัสดุ แบบ Isotropic Material
4. แบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ (Model Mesh Settings) ขนาด 0.62067 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเอลิเมนต์

รายละเอียด	จำนวน
Element size	0.62067 mm.
Tolerance	0.031034 mm.
Total Nodes	70,261
Total Elements	43,335

5. กำหนดเงื่อนไขขอบ Boundary Conditions (Constrains and Loads)
   - กำหนดอุณหภูมิ 50, 100, 150, 200 และ 250 องศาเซลเซียส กำหนด Heat transfer mechanism: Convection เท่ากับ 25 W/m^2.K แสดงดังรูปที่ 3



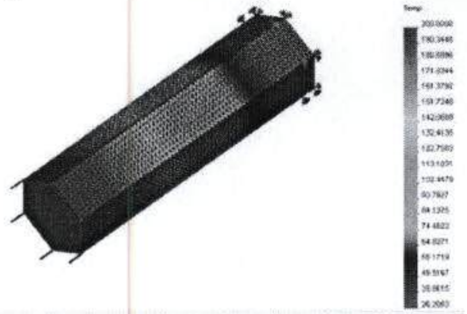
รูปที่ 3 การกำหนด Boundary Conditions

ขั้นตอนที่ 2 ประมวลผล (Solve)

ขั้นตอนที่ 3 แสดงผลลัพธ์ (Post-processor)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

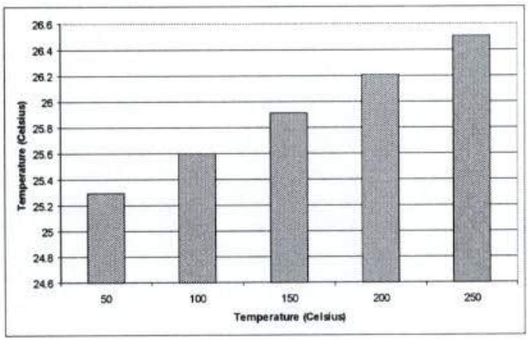
ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีความร้อนกระทำตั้งแต่อุณหภูมิ 50 °C 100 °C 150 °C 200 °C และ 250 °C พบว่าลักษณะการถ่ายเทความร้อนเหมือนกันกล่าวคือ เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน ซึ่งการนำความร้อนเกิดได้ไม่ดีในช่วงของวัสดุแซนวิชรังผึ้งเพราะมีช่องว่างของอากาศทำให้อุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็ว แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C

3.1 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดสัก

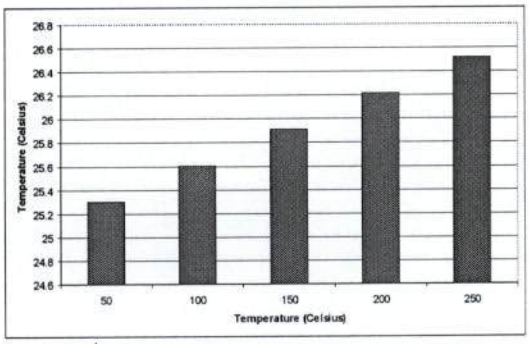
ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิอีกด้านของผนังมีค่าสูงสุด ซึ่งจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่อุณหภูมิ 50-250 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 50-200 °C ของไม้อัดสัก

3.2 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดยาง

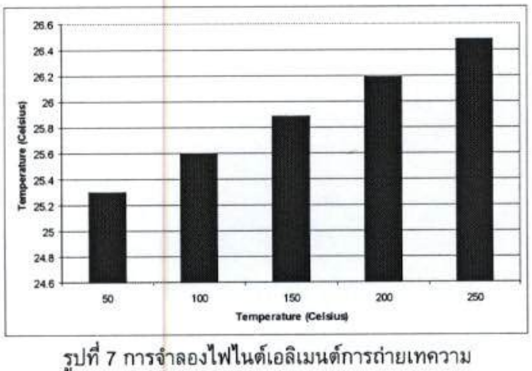
ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปที่ 6 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิอีกด้านของผนังมีค่าสูงสุด ซึ่งจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่อุณหภูมิ 50-250 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.304 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 50-200 °C ของไม้อัดยาง

3.3 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดจีน

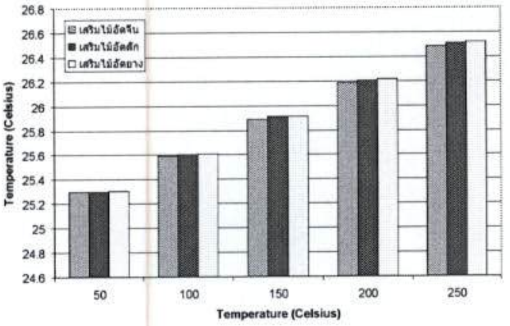
ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิอีกด้านของผนังมีค่าสูงสุด ซึ่งจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่อุณหภูมิ 50-250 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.2964 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 50-200 °C ของไม้อัดจีน

3.4 การเปรียบเทียบผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

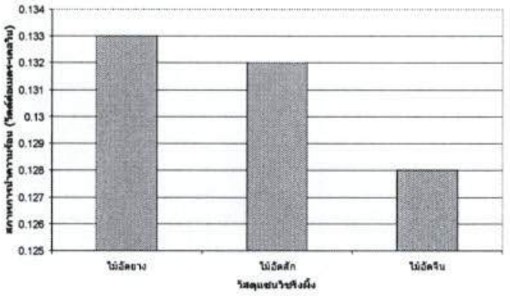
ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ารูปทรงรังผึ้ง (Cores) มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความโดยการนำความร้อน ซึ่งพบว่าสามารถเกิดการนำความร้อนไม่ได้ดี ทำให้เกิดสูญเสียความร้อนภายในเนื่องจากมีช่องว่างภายในทำให้เกิดการนำความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Zenkert [5] นอกจากนี้พบว่าการเสริมไม้อัดในวัสดุแซนวิชทำให้ลดปริมาณการนำความร้อนลงได้ ซึ่งไม้อัดทั้งสามชนิดมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกันมาก แต่ไม้อัดยางให้สมบัติการนำความร้อนต่ำกว่า ดังนั้นผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การถ่ายเทความร้อนสำหรับวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดจีนให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดสัก และวัสดุแซนวิชเสริมไม้อัดยาง ตามลำดับ



รูปที่ 8 การเปรียบผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดทั้งสามชนิด

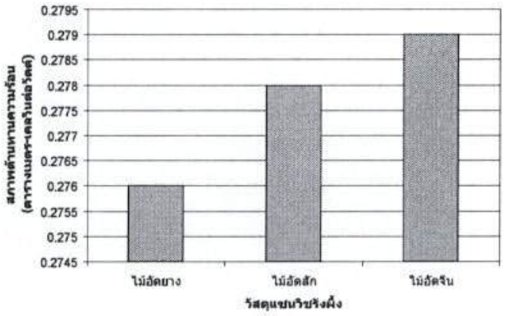
3.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 518

ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อนตามมาตรฐาน AMTM C 518 ดังรูปที่ 9 พบว่าวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้จีนให้ค่าการนำความร้อนต่ำ แสดงว่าวัสดุแซนวิชชนิดนี้มีความเป็นฉนวนได้ดี รองลงมาเป็นวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดสัก และวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดยางตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี



รูปที่ 9 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อนตามมาตรฐาน AMTM C 518

ผลการทดสอบสภาพการต้านทานความร้อนตามมาตรฐาน AMTM C 518 ดังรูปที่ 10 พบว่าวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้จีนให้ค่าการต้านทานความร้อนสูง แสดงว่าวัสดุแซนวิชชนิดนี้มีความเป็นฉนวนได้ดี รองลงมาเป็นวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดสัก และวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดยางตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี



รูปที่ 10 ผลการทดสอบสภาพการต้านทานความร้อนตามมาตรฐาน AMTM C 518

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ให้แนวทางการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุแซนวิชชนิดรังผึ้ง ซึ่งนอกจากมีความแข็งแรงแล้วยังเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสริมวัสดุไม้อัดลงไปเพื่อต้องการทราบความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมไม้อัดทั้งสามชนิดสามารถลดการนำความร้อนได้ดี โดยเฉพาะวัสดุแซนวิชรังผึ้งเสริมไม้อัดจีน สามารถลดการถ่ายเทความร้อน หรือสภาพต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างประมาณ 0.1 องศาเซนเซียส ซึ่งผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C 518

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการการอุดมศึกษา และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเลกทรอนิกส์ และ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Allen, H.G. 1969. *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels*. London: Pergamon Press.

[2] Bathe, K.J. 2002. *Finite-Elemente-Methoden*. Auflage 2. Berlin: Springer-Verlag.

[3] Pflug, J., Vagrimde, B., & Verpoest, I. (2003). *Material Efficiency and Cost Effectiveness of Sandwich Materials*. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

[4] Burman, M. 1998. *Fatigue Crack Initiation and Propagation in Sandwich Structures*. Division of Lightweight Structures, Royal Institute of Technology, Stockholm.

[5] Zenkert, D. (1997) *The Handbook of Sandwich Construction*. London: EMAS.

[6] Hohe, J. and Librescu, L. 2004 Core and Face-Sheet Anisotropy in Deformation and Buckling of Sandwich Panels, *AIAA Journal*, 42

[7] Starlinger, A. (1991). *Development of Efficient Finite Shell Elements for Analysis of Sandwich Structures under Large Instabilities*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.

[8] Kress, G., 2004. Strukturanalyse mit FEM. ETH, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zürich.