

การสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการนำความร้อนในวัสดุไม่เอกพันธ์
Construction an apparatus for studying heat conduction
in non-homogeneous materials

ศุภกร ธรรมศิริ^{1*} ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง^{2*} เตชสิทธิ์ สุขชุ่ม³ สมยศ เรืองพุทธ⁴ ภาณุวัชร อึ้งโสภภาพงษ์⁵

^{1,2,3,4,5} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ

กรุงเทพ 10800 โทร 0-2913-2500 โทรสาร 0-2587-4350

*ติดต่อ E-mail: tss@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและสร้างชุดทดลองการนำความร้อนในวัสดุไม่เอกพันธ์ ประกอบด้วย วัสดุอิฐมวลเบา, ไฟเบอร์ซีเมนต์ และแคลเซียมซิลิเกต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm มีความยาว 50 mm ใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนขนาด 2 W. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm และความยาว 50 mm การออกแบบชุดทดลองใช้แนวทางของมาตรฐาน ASTM (American Society of Testing and Materials) ASTM C1044, ASTM C1047, ASTM C1113 และ ASTM C1114 ผลการจำลองแบบทางทฤษฎีเพื่อศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนด้วยแกรเดียนของอุณหภูมิ (dt/dr) ซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ANSYS 13.0 เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง ผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และผลลัพธ์เฉลี่ยที่ได้นำมาสร้างสมการเส้นโค้ง พบว่าค่าผิดพลาดของแกรเดียนอุณหภูมิของอิฐมวลเบา 5.3%, ไฟเบอร์ซีเมนต์ 4.9% และ แคลเซียมซิลิเกต 2.9% ตามลำดับ

คำสำคัญ: สร้างชุดทดลอง, การนำความร้อน, วัสดุไม่เอกพันธ์, การทดลอง, การจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Abstract

This project is to design and construct an apparatus for studying a behavior of heat conduction in non-homogeneous materials such as the concrete light weight, the fiber cement, and the calcium silicate which have diameter of 200 mm and 50 mm length. Generating the heat power to the testing materials by 2 W heater which has 10 mm diameter and 50 mm length. The apparatus is designed and constructed by following the standard of ASTM (American Society Testing Material) ASTM C1044, ASTM C1047, ASTM C1113, and ASTM C1114. Moreover, the theoretical simulation results for studying the heat conduction behavior with the temperature gradient (dt/dr) which calculated by computer program Ansys13.0 are compared with the experiment results of the apparatus. The results of experiment are compared with the simulation results by computer program and average the results to the curve fitting. The errors of temperature gradient in the concrete light weight, the fiber cement, and the calcium silicate are 5.3%, 4.9% and 2.9% respectively.

Keywords: construction an apparatus, gradient temperature, heat conduction, non-homogeneous materials

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิต พบว่าแหล่งกำเนิดความร้อนส่วนใหญ่มีความร้อนสูญเสียเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับความร้อนที่สูญเสีย การป้องกันเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจำเป็นต้องหุ้มด้วยฉนวนหุ้ม เช่น อิฐมวลเบา, ไฟเบอร์ซีเมนต์และแคลเซียมซิลิเกต อย่างไรก็ตามปัญหาการเลือกใช้ฉนวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของฉนวนนั้น มีความสำคัญต่อการกำหนดขนาดความหนาของฉนวน สิ่งที่สำคัญคือการสร้างชุดทดสอบค่าการนำความร้อนให้เหมาะสม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบวัสดุที่ไม่เอกพันธ์ ซึ่งปัจจุบันยังคงมีความต้องการเครื่องมือที่ใช้วัดสมบัติของฉนวนที่เป็นวัสดุไม่เอกพันธ์ (Non-homogenous Materials) จากการศึกษามาตรฐานเพื่อใช้เป็นแนวทางออกแบบและสร้างชุดทดลองพบว่ามาตรฐาน ASTM C1044 : [1] เป็นการทดสอบการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหล่งกำเนิดความร้อนแบบแผ่น ทำการทดสอบในระบบปิดที่มีแผ่นฉนวนหรือหุ้มวัสดุกันความร้อนไว้ มาตรฐาน ASTM C1045 : [2] เป็นการทดสอบการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงตัว (Steady State Thermal Analysis) หนึ่งมิติ โดยใช้ค่ามาตรฐานของวัสดุต่างๆ เช่น ค่าการนำความร้อน ค่าความต้านทานความร้อน มาช่วยในการวิเคราะห์ผล. มาตรฐาน ASTM C1113 : [3] เป็นการทดสอบวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนตั้งแต่ 0-15 W/m·K ใช้อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 1500°C มาตรฐาน ASTM C1114 : [4] เป็นการทดสอบวัสดุไม่เอกพันธ์ ใช้แท่งฮีตเตอร์ให้ความร้อนในอัตราคงที่สม่ำเสมอมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 5-20 mm และวัสดุทดสอบมีความหนาในช่วง 30-150 mm. J.J. del Coz Diaz, P.J. Garcia Nieto, C.Betegon Biempica, M.B. Prendes Gero, [5] ได้วิเคราะห์และหาจุดเหมาะสมของการให้ความร้อนแก่ฉนวนคอนกรีตกลวงเบา ซึ่งออกแบบนำไปใช้เป็นผนังอิฐโดยใช้วิธีการไฟไนต์อีเลเมนต์, J.J. del Coz Diaz, P.J. Garcia Nieto, A. Martin Rodriguez, A. Lozano Martinez-Luengas, C.Betegon Biempica,[6] ทำการวิเคราะห์ทางความร้อนที่ไม่เป็นเชิงเส้นของผนังอิฐ

กลวงเบา โดยใช้ไฟไนต์อีเลเมนต์ และทำการทดสอบความใช้ได้. Cheng-Hung Huang, Sheng-Chieh Chin,[7] ได้ทำการศึกษาการนำความร้อนสองมิติในวัสดุที่มีเนื้อไม่เอกพันธ์. Wilfried Roetzel, Nandy Putra, Sarit K. Das[13] ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์การนำความร้อนที่เป็นนอนฟูเรียร์ (non-Fourier) ในวัสดุที่ไม่เป็นเอกพันธ์ภายในโครงสร้าง ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ผลจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าควรประยุกต์นำแนวทางการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ร่วมกัน เพื่อประยุกต์สร้างชุดทดลองการนำความร้อนในวัสดุไม่เอกพันธ์ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างชุดทดลองศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนในวัสดุไม่เอกพันธ์ ที่ผลิตและ ใช้ในอุตสาหกรรม ประกอบด้วย อิฐมวลเบา ไฟเบอร์ซีเมนต์ และ แคลเซียมซิลิเกต ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการทางทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุทรงกระบอก ดังแสดงในสมการ (1)

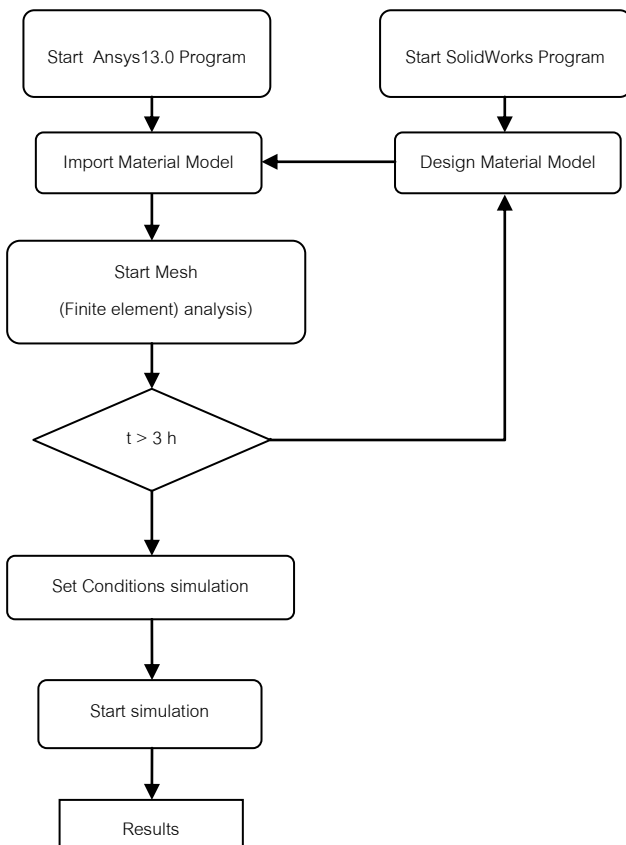
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g(r) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

สมมติฐานที่ใช้ กล่าวคือ วัสดุที่ใช้ทดสอบไม่มีการพาและแผ่รังสีความร้อนผิวโดยรอบ วัสดุทดสอบหุ้มด้วยฉนวนอุณหภูมิเริ่มต้นในวัสดุมีค่าคงที่ และ ค่ามาตรฐานของวัสดุอ้างอิงตามค่ามาตรฐานของผู้ผลิต ประกอบด้วย ค่าความต้านทานความร้อน, ความจุความร้อน, ความหนาแน่นของวัสดุ, การให้ความร้อนแก่วัสดุทดสอบเป็นแบบสม่ำเสมอที่สภาวะคงตัว มีขนาด 2 W ติดตั้งไว้ เพื่อให้ความร้อนที่จุดกึ่งกลางของวัสดุทดสอบ โดยจุดที่วัสดุทดสอบสัมผัสกับผิวของฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนอยู่ ณ ตำแหน่ง $r = 0$ mm. รัศมีภายนอกใหญ่สุดอยู่ ณ ตำแหน่ง $r = 100$ mm. ตามเงื่อนไขที่ระบุ ดังกล่าว

สมการ(1) ลดรูปสมการลง ได้เป็นสมการ (2)

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} + \frac{g(r)}{k} = 0 \quad (2)$$

จากเงื่อนไขที่กำหนด นำไปใช้ในการจำลองแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Ansys13.0 ดังแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. การสร้างและจำลองแบบชุดทดลอง

3.1 การสร้างชุดทดลอง

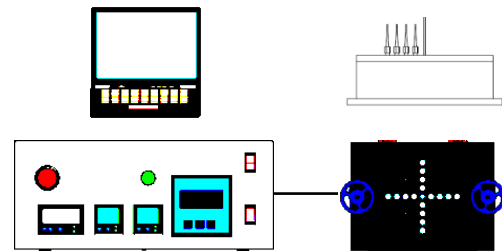
การออกแบบสร้างอุปกรณ์ทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรม การนำความร้อนในสถานะที่ให้ความร้อนคงที่ ได้ออกแบบ เพื่อกำหนดขนาดของ heater, ขนาดของวัสดุทดสอบ, การ หุ้มฉนวน และรวมทั้งการจับยึดวัสดุทดสอบแล้วนำไปเขียน แบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWorks ในส่วนที่ 1 เป็นชุดคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล, ในส่วนที่ 2 เป็นชุด

ควบคุม และส่วนที่ 3 เป็นชุดทดลอง ดังแสดงใน รูปที่ 2 ชุดทดลองนี้ ประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์หลัก 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 คอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่วัดอุณหภูมิได้ ใช้แสดงกราฟและคำนวณค่าต่างๆ ส่วนที่ 2 ชุดควบคุมการทำงานของการทดลองประกอบด้วย Temperature controller ความผิดพลาด 0.3% , Temperature indicator ความผิดพลาด 0.2 % , Watt Meter ความเที่ยงตรง 0.5%, Digital Timer ส่วนที่ 3 ส่วนให้ความร้อนด้วย Heater ขนาด 2 W และ เทอร์มอคัปเปิลใช้วัดอุณหภูมิ มีค่าความผิดพลาดในการวัด 0.75% ของค่าอุณหภูมิที่วัดได้

3.2 การจำลองแบบชุดทดลอง

การจำลองแบบชุดทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนผ่านวัสดุ ดังแสดง ภาพรวมของอุปกรณ์ชุดทดลอง รูปที่ 2

ส่วนที่ 1 คอมพิวเตอร์



ส่วนที่ 2 ชุดควบคุม

ส่วนที่ 3 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของอุปกรณ์ชุดทดลอง

4. ชุดทดลองและขั้นตอนการดำเนินงาน

ชุดทดลองนี้ ได้ออกแบบใช้ Thermocouple จำนวน 4 แห่ง ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ และตั้ง เวลาการทดลองได้ มีเสียงเตือนในกรณีกำหนดเวลาทดลอง รวมทั้ง เก็บบันทึกข้อมูลไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีให้เลือกความละเอียดตั้งแต่ วินาที นาที ชั่วโมง และมีระบบ ควบคุมความปลอดภัยของเครื่องโดยเมื่อฮีตเตอร์ ทำงานที่ อุณหภูมิสูงกว่าที่ได้ตั้งค่าไว้ ระบบต้องตัดการทำงานของฮีตเตอร์ ดังกล่าว

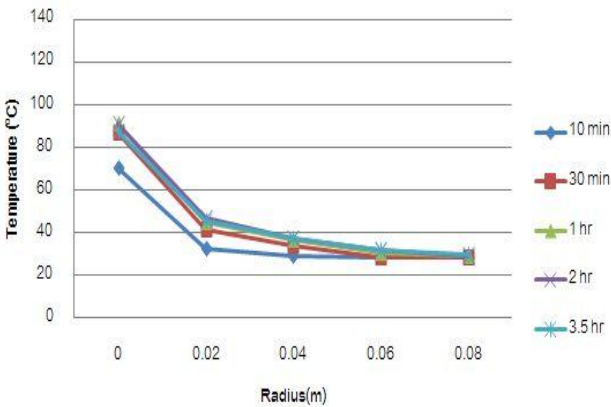


5. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

ผลการทดลองในวัสดุที่ใช้ทดสอบจริง และจากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นำมาเปรียบเทียบค่าเพื่อตรวจสอบความใช้งานได้ของอุปกรณ์ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างว่ามีค่าความถูกต้องและใช้งานได้จริง วัสดุทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุอิฐมวลเบา, วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์และวัสดุแคลเซียมซิลิเกตซึ่งให้ผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้

5.1 วัสดุอิฐมวลเบา

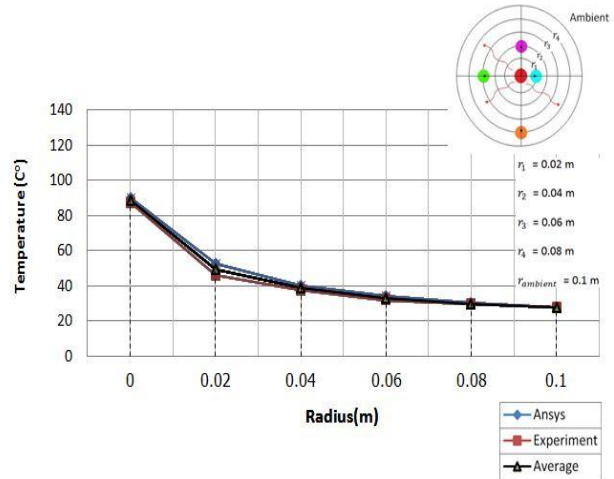
ผลจากการทดลองนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิกับระยะทางในแนวรัศมีที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 3 มีดังนี้ มีค่าความแตกต่าง 11.6% ระหว่างช่วงเวลา 10 นาที กับ 30 นาที, มีค่าความแตกต่าง 4.36% ระหว่างช่วงเวลา 30 นาที กับ 1 ชั่วโมง, มีค่าความแตกต่าง 2.7% ระหว่างช่วงเวลา 1 ชั่วโมง กับ 2 ชั่วโมงและ มีค่าความแตกต่าง 1.8% ระหว่างช่วงเวลา 2 ชั่วโมงกับ 3.5 ชั่วโมง พบว่าผลการเปรียบเทียบดังกล่าว แสดงให้เห็นถึง แนวโน้มเข้าสู่สภาวะคงตัวของการทดลองสำหรับวัสดุอิฐมวลเบาทำให้ทราบถึงอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์เวลาที่ใช้ทดลองในแต่ละความยาวตามแนวรัศมีของอิฐมวลเบา

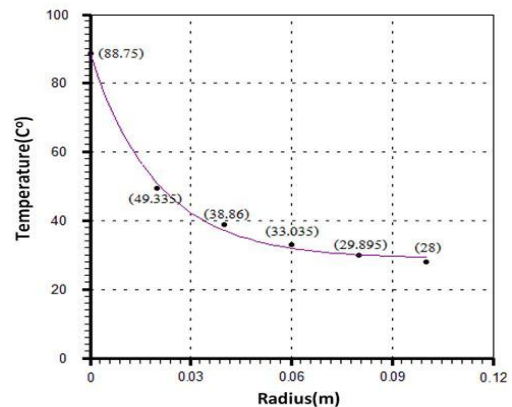
ผลจากการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4 มีค่าแตกต่างของแต่ละช่วงการวัดค่าดังนี้ มีค่าความแตกต่าง 6.799 % ที่จุด r = 0 mm, มีค่าความแตกต่าง 14.604% ที่ตำแหน่ง r = 2 mm, มีค่าความแตกต่าง 6.117% ที่ตำแหน่ง r = 4 mm, มีค่าความ

แตกต่าง 1.239% ที่ตำแหน่ง r = 6 mm, มีค่าความแตกต่าง 0.657% ที่ตำแหน่ง r = 8 mm และ มีค่าความแตกต่าง 0% ที่ตำแหน่ง r = 10 mm และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวม 4.902 %



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการวัดจริงกับผลการจำลองแบบ

การแสดงค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวในแนวรัศมี ดังรูปที่ 5 นำไปสร้างสมการเพื่อหาค่าแกรเดียนของอุณหภูมิ



รูปที่ 5 แสดงระยะทางตามแนวรัศมีกับค่าอุณหภูมิ

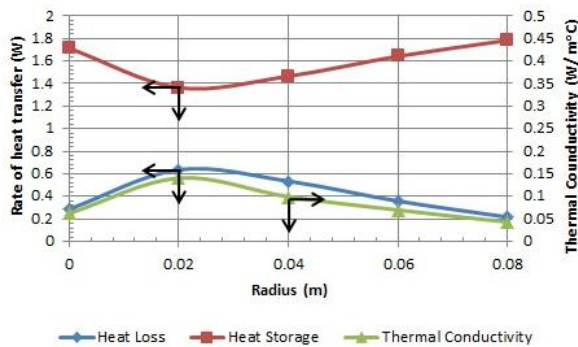
ซึ่งได้เป็น สมการ (3) ดังนี้

$$T(r) = 28.98 + 59.47e^{-49.84} \quad (3)$$



สมการ(3) แสดงถึงพฤติกรรมการนำความร้อนตามความยาวในแนวรัศมีที่เปลี่ยนแปลงของอิฐมวลเบา

ตำแหน่งกักเก็บความร้อนตามแนวรัศมีของวัสดุฉนวน ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยการลากเส้นจุดเริ่มต้นของการถ่ายเทความร้อนตัดกับเส้นกราฟในแนวนอน แสดงว่า วัสดุอิฐมวลเบา มีพฤติกรรมเป็นฉนวนอย่างมีประสิทธิภาพที่ความหนา มากกว่าหรือเท่ากับ 0.0474 m



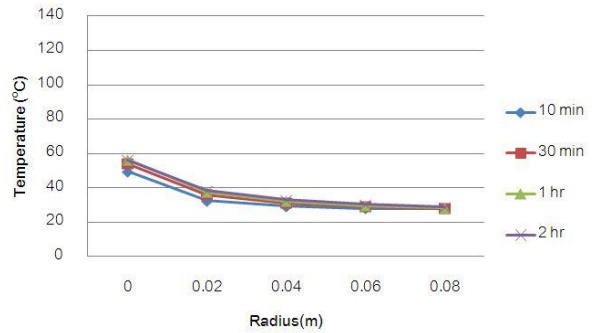
รูปที่ 6 แสดงกราฟการถ่ายเทความร้อน และการนำความร้อนตามแนวรัศมีของวัสดุฉนวนอิฐมวลเบา

วัสดุอิฐมวลเบา มีระยะวิกฤต 0.0158m มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนดีที่จุด 1.325 W ณ จุดวิกฤตมีการสะสมความร้อนน้อยที่สุด 0.675 W ซึ่งวัสดุทดลองมีพฤติกรรมเป็นฉนวนได้ดีขึ้นตามระยะทางที่เพิ่ม เนื่องจากมีพฤติกรรมสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นและค่าการนำความร้อนลดลง

5.2 วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

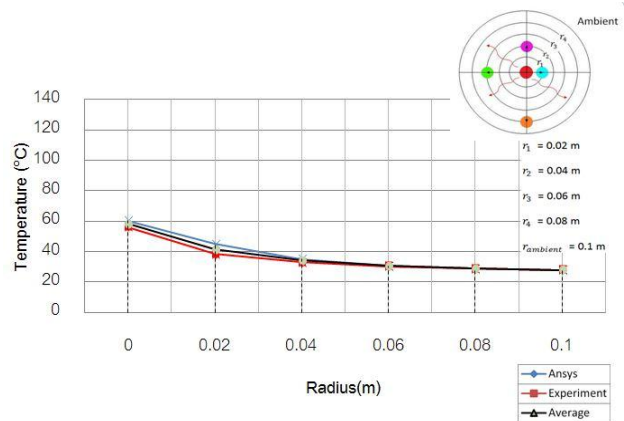
การทดลองวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 7

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยรวมของอุณหภูมิและระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาต่างๆ มีดังนี้ มีค่าความแตกต่าง 5.63% ระหว่างช่วงเวลา 10 นาที กับ 30 นาที, มีค่าความแตกต่าง 2.84% ระหว่างช่วงเวลา 30 นาที กับ 1 ชั่วโมง, มีค่าความแตกต่าง 1.51% ระหว่างช่วงเวลา 1 ชั่วโมง กับ 2 ชั่วโมง พบว่าผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นถึง แนวโน้มเข้าสู่สภาวะคงตัวของการทดลองสำหรับวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์



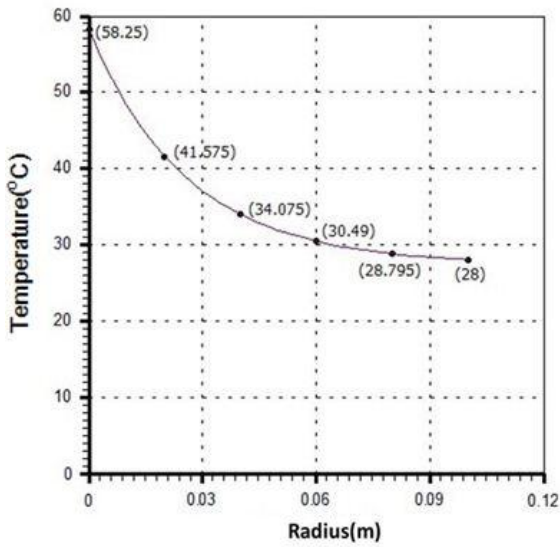
รูปที่ 7 แสดงเวลาที่ทดลองในแต่ละระยะตามแนวรัศมีของไฟเบอร์ซีเมนต์

ผลจากการเปรียบเทียบพบว่ามีค่าแตกต่างในแต่ละความยาวมีค่าดังนี้ มีค่าแตกต่าง 6.799% ที่ตำแหน่ง $r = 0$ mm, มีค่าแตกต่าง 14.604% ที่ตำแหน่ง $r = 2$ mm, มีค่าแตกต่าง 6.117% ที่ตำแหน่ง $r = 4$ mm, มีค่าแตกต่าง 1.239% ที่ตำแหน่ง $r = 6$ mm, มีค่าแตกต่าง 0.657% ที่ตำแหน่ง $r = 8$ mm และ มีค่าแตกต่าง 0% ที่ตำแหน่ง $r = 10$ mm ผลรวมมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็น 4.902% ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดจริงกับการจำลองแบบ

การถ่ายเทความร้อนที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้กับระยะทางตามแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 9 นำไปสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ ได้ดังสมการ (4)



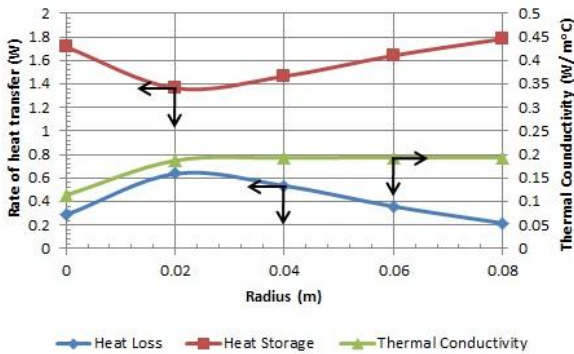
รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิที่วัดได้กับระยะทางตามแนวรัศมี

ซึ่งได้สมการจากกราฟ ดังนี้

$$T(r) = 27.39 + 30.84e^{-38.53r} \quad (4)$$

สมการ(4)นี้ แสดงถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนตามแนวรัศมีของไฟเบอร์ซีเมนต์

ระยะความยาวในแนวรัศมีที่กักเก็บความร้อนของวัสดุจากดังรูปที่ 10 โดยการลากเส้นจุดเริ่มต้นของการถ่ายเทความร้อนตัดกับเส้นกราฟตามแนวนอน แสดงว่าวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ มีประพฤติกรรมเป็นฉนวนอย่างมีประสิทธิภาพที่ความหนา ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.0693 m

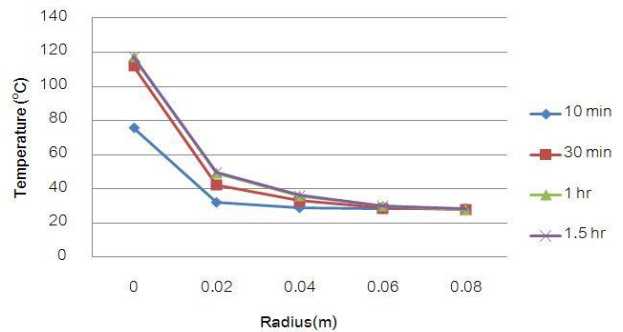


รูปที่ 10 แสดงกราฟการถ่ายเทความร้อนและค่าการนำความร้อนตามระยะในแนวรัศมีของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

ไฟเบอร์ซีเมนต์มีความหนาวิกฤต 0.021m มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน 1.367 W ณ จุดวิกฤตมีความร้อนสะสมน้อยที่สุด 0.633 W หลังจากระยะวิกฤตวัสดุทดลองมีพฤติกรรมเป็นฉนวนได้ดีขึ้น ตามความหนาที่เพิ่ม เนื่องจากมีพฤติกรรมสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นและมีค่าการนำความร้อนลดลง

5.3 วัสดุแคลเซียมซิลิเกต

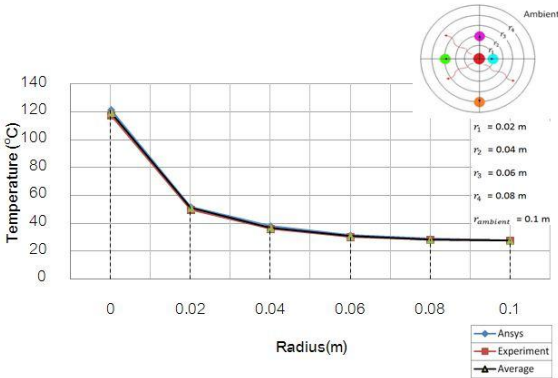
การทดลองวัสดุแคลเซียมซิลิเกต พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา และเข้าสู่สภาวะคงตัว ผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของอุณหภูมิและระยะทางตามแนวรัศมีที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาต่างๆดังรูปที่ 11 มีดังนี้ มีค่าความแตกต่าง 13.98% ระหว่างช่วงเวลา 10 นาที กับ 30 นาที, มีค่าแตกต่าง 6.3% ระหว่างช่วงเวลา 30 นาที กับ 1 ชั่วโมง, มีค่าแตกต่าง 0.76% ระหว่างช่วงเวลา 1 ชั่วโมง กับ 1.5 ชั่วโมง พบว่าผลการเปรียบเทียบแสดงแนวโน้มเข้าสู่สภาวะคงตัว



รูปที่ 11 แสดงเวลาที่ทดลองแต่ละระยะตามแนวรัศมีของแคลเซียมซิลิเกต

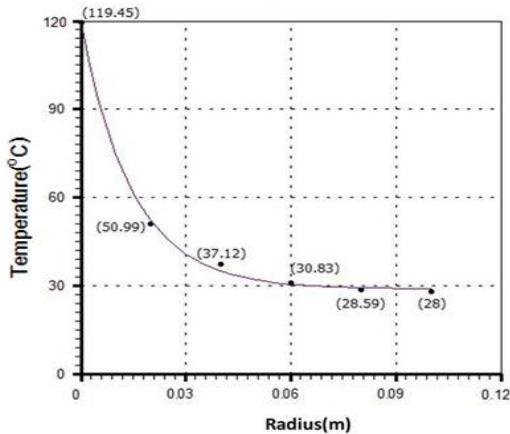
รูปที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิกับระยะห่างตามแนวรัศมีระหว่างการทดลองจริงกับการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Ansys13.0 ของวัสดุแคลเซียมซิลิเกต ผลที่ได้มีค่าแตกต่างของการวัดค่าแต่ละจุด คือ มีค่าแตกต่าง 3.05% ที่ตำแหน่ง r = 0 mm, มีค่าแตกต่าง 3.829% ที่ตำแหน่ง r = 2mm, มีค่าแตกต่าง 4.36% ที่ตำแหน่ง r = 4 mm, มีค่าแตกต่าง 4.048% ที่ตำแหน่ง r = 6 mm, มีค่าแตกต่าง 2.008% ที่ตำแหน่ง r = 8 mm

และ มีค่าแตกต่าง 0% ที่ตำแหน่ง $r = 10$ mm โดยมีค่าของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 2.883%



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าวัดจริงกับการจำลองแบบ

การถ่ายเทความร้อนโดยแสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิตามแนวรัศมี ตามรูปที่ 13



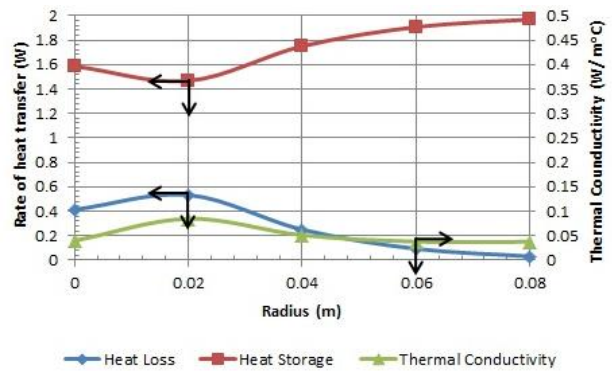
รูปที่ 13 แสดงอุณหภูมิจากการนำความร้อนตามแนวรัศมี

สร้างสมการจากกราฟ ได้ดังนี้

$$T(r) = 28.87 + 90.43e^{-67.81r} \quad (5)$$

สมการนี้แสดงพฤติกรรมการนำความร้อนของแคลเซียมซิลิเกตที่เปลี่ยนไปตามระยะทางตามแนวรัศมี การสะสมความร้อนในวัสดุ ดังแสดงรูปที่ 13 โดยการลากเส้นจุดเริ่มต้นของการถ่ายความร้อนตัดกับเส้นกราฟตามแนวนอน แสดงว่าแคลเซียมซิลิเกต มีพฤติกรรมเป็นฉนวนได้อย่างมี

ประสิทธิภาพที่ความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 0.0283 m พบว่าวัสดุแคลเซียมซิลิเกตที่ระยะวิกฤต 0.011m มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด 1.395 W ณ จุดวิกฤตมีการสะสมความร้อนน้อยที่สุด 0.605 W หลังจากระยะวิกฤตวัสดุทดลองมีพฤติกรรมเป็นฉนวนได้ดีตามระยะความยาวในแนวรัศมีที่เพิ่ม เนื่องจากมีพฤติกรรมสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นและค่าการนำความร้อนลดลง



รูปที่ 14 แสดงการถ่ายเทความร้อนและค่าการนำความร้อนตามแนวรัศมีของวัสดุแคลเซียมซิลิเกต

6. สรุป

ผลที่ได้จากการสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนในวัสดุไม่เอกพันธ์ ได้แก่ อิฐมวลเบา ไฟเบอร์ซีเมนต์ และแคลเซียมซิลิเกต โดยการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองจริงกับการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าค่าแกระเดียนของอุณหภูมิตามแนวรัศมีที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของค่าความแตกต่างเฉลี่ยตามแนวรัศมีของอิฐมวลเบา มีความแตกต่างเฉลี่ย 5.3%, ไฟเบอร์ซีเมนต์มีความแตกต่างเฉลี่ย 4.9% และ แคลเซียมซิลิเกตมีความแตกต่าง 2.9% โดยผลที่ได้จากการทดสอบชุดทดลองนี้เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบมีความสอดคล้องและไปในทิศทางเดียวกันที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพผลของชุดทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบและวัดค่าการนำความร้อนในวัสดุที่มีเนื้อไม่เอกพันธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในอุตสาหกรรมที่ผลิตฉนวนความร้อน ดังกล่าวข้างต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และศูนย์วิจัยและพัฒนากระบวนการควบคุมการตรวจวัด-พิสูจน์การใช้พลังงาน สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจพ. ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM C1044 : Standard Practice for Using a Guarded-Hot-Plate Apparatus or Thin-Heater Apparatus in the Single-Sided Mode
- [2] ASTM C1045 : Standard Practice for Calculating Thermal Transmission Properties Under Steady- State Conditions
- [3] ASTM C1113 : Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique)
- [4] ASTM C1114 : Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the thin-Heater Apparatus
- [5] Yunus A. Cengel. Heat and mass transfer. 3rd ed., 2007.
- [6] J.J. del Coz Diaz, P.J. Garcia Nieto, C.Betegon Biempica, M.B. Prendes Gero, Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method, Applied Thermal Engineering 27(2007) 1445-1456
- [7] J.J. del Coz Diaz, P.J. Garcia Nieto, A. Martin Rodriguez, A. Lozano Martinez-Luengas, C.Betegon Biempica, Non-linear thermal analysis of light concrete hollow brick walls by the finite element method and experimental validation, Engineering 26(2006) 777-786
- [8] Cheng-Hung Huang, Sheng-Chieh Chin, A two-dimensional inverse problem in imaging the thermal conductivity of a non-homogeneous medium, Int. J. of Heat and Mass Transfer 43(2000) 4061-4071
- [9] Harvey M.Deitel. Python how to program.1sted., 2002.
- [10] H.S. Carslaw, J.C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids,2nded, Oxford University Press,London, 1959,
- [11] Incropera, F.P. and D.P. DeWitt, Fundamental of Heat and Mass Transfer, 6th ed. Willey, 2006.
- [12] Liptak, B.G. Instrument Engineers Handbook, Process Measurement and Analysis,Chilton, Pennsylvania, 1995.
- [13] Wilfried Roetzel, Nandy Putra, Sarit K. Das, Experiment and analysis for non-Fourier conduction in materials with non-homogeneous inner structure, Int. J. of Heat and Mass Transfer 42(2003) 541-552
- [14] Diego C. Knupp, Carolina P. Naveira-Cotta, Joao V.C.Ayres, Renato M.Cotta, Helcio R.B. Orlande Theoretical-experimental analysis of heat transfer in nonhomogeneous solids via improved lumped formulation,integra transforms and infrared thermography, Int. J. of Heat and Mass Transfer 2012, 1-14
- [15] Wilbert F.Stoecker, Design of Thermal Systems 3rd ed., 1989
- [16] David Planchard, Marie Planchard, SolidWorks 2012 Tutorial, 2012
- [17] www.ansys.com/Resource+Library
- [18] www.qcon.co.th/products/property_1.php
- [19]www.siamfibreceement.com/smb-data-tech.php
- [20] www.topinsulation.com/calcium.htm
- [21] www.primusthai.com
- [22] www.sangchaimeter.com
- [23] www.labfit.net