

การจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนภายในอิฐทนไฟ NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN FIRECLAY BRICK

ประยูร จอมหล้าพีรติกุล¹ และ อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล²

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

150 ถ.ศรีจันทร์ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000,

¹prayoon_eng@hotmail.com, ²sesaku_cmu@hotmail.com

Prayoon Jomlapelatikul¹ and Apaporn Jomlapelatikul²

^{1,2}Lecturer, Department of Post- Harvest and Processing Engineering, Faculty of

Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

150 Sri Chant Rd., Amphoe Mueang, Khon Kaen 40000, Thailand,

¹prayoon_eng@hotmail.com, ²sesaku_cmu@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนภายในอิฐทนไฟแบบ 2 มิติ ในสภาวะคงที่ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดให้อิฐทนไฟเป็นรูปสี่เหลี่ยม การศึกษาแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบและการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนภาพ (AR) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบของแบบจำลองมี 3 แบบ คือ (1) กำหนดให้ผิว 3 ด้านมี อุณหภูมิผิว (T_s) = 227 °C และอีก 1 ด้าน สัมผัสกับอุณหภูมิอากาศ (T_∞) = 27 °C (2) กำหนดให้ผิว 2 ด้านมี T_s = 227 °C และอีก 2 ด้าน T_∞ = 27 °C และ (3) กำหนดให้ผิว 1 ด้านมี T_s = 227 °C และอีก 3 ด้าน T_∞ = 27 °C พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอิฐในกรณีที่ 1, 2 และ 3 คือ 189.66, 141.41 และ 90.71 °C ตามลำดับ มีทิศทางการกระจายอุณหภูมิจากมุมของด้านประกอบมีอุณหภูมิต่างกัน สูง และส่งผลให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิแปรเตียนสูงด้วย จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลง AR โดยใช้เงื่อนไขขอบของแบบที่ 1 พบว่า AR มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำลง และเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองกับวิธีผลต่างสืบเนื่องให้ผลของอุณหภูมิแต่ละโหนดสอดคล้องกัน

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, การจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข, อิฐทนไฟ

ABSTRACT

This research aimed to investigate the heat transfer in 2D fireclay brick in steady state with finite element method. A quadrilateral fireclay brick was fixed. In this work, the modeling approach was divided into two cases: the study on effects of different boundary conditions and different aspect ratios (AR). The results of model simulations to change boundary conditions showed that, the modeling approach was divided into three model: (1) three surfaces of surface temperature (T_s) = 227 °C and one surface of air temperature (T_∞) = 27 °C (2) two surfaces of T_s = 227 °C and two surface of T_∞ = 27 °C (3) one surface of T_s = 227 °C and three surfaces of T_∞ = 27 °C. The results showed that average temperature of surface in model 1, 2 and 3 were 189.66, 141.41 and 90.71 °C, respectively. The directions of temperature distribution form the corner with high temperature difference. The side which had a great different temperature provides high gradient temperature, especially at the corners. Further the results of change in AR by used boundary condition of first model, it was found that an increase in AR on average temperature reduction. By comparing validation of model-predicted with finite different method, the temperature of each node was similar.

KEYWORDS: Heat transfer, Numerical Simulation, Fireclay Brick

1. บทนำ

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และยากที่จะทราบถึงอุณหภูมิทุกจุดภายในวัสดุ ซึ่งต้องมีความเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อน โดยหลักการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุอธิบายได้ตามหลักการนำความร้อน และเมื่อวัสดุสัมผัสกับอากาศภายนอก สามารถอธิบายได้ตามปรากฏการณ์การพาความร้อน จากหลักการที่กล่าวมาสามารถเขียนในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) และจากสมการเชิงอนุพันธ์นำไปสู่การหาผลเฉลย (Solution) เพื่อหาคำตอบของสมการ ในการหาผลเฉลยสามารถหาได้หลายวิธีการ เช่น วิธีการผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution Method) วิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Different Method) หรือวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นต้น แต่การหาค่าผลเฉลยโดยวิธีการผลเฉลยแม่นยำตรง จะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบหรือรูปร่างของโดเมนที่ซับซ้อนมากขึ้น จะแก้ปัญหามหาการได้ยากมากในการหาผลเฉลยทั้งภายในและขอบของโดเมน ส่วนการหาค่าผลเฉลยด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมนั้นมีข้อดีคือเข้าใจง่ายในการศึกษา [1] จากรายงานการวิจัยของ ธนกฤษ ถิ่นถาน และ วีระชัย สาระคร [2] เปรียบเทียบผลการจำลองแมกนีโตเทลลูริกในสองมิติ ด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม และวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าถ้า

แบบจำลองไม่มีความซับซ้อนมาก จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่งานวิจัยนี้มีเงื่อนไขขอบหลายแบบ และต้องการทราบอุณหภูมิทุกจุดบนวัสดุ ถ้าเลือกใช้วิธีผลต่างสลับเนื่องจะต้องสร้างสมการในการคำนวณหลายสมการทำได้ยุ่งยาก และเสียเวลาในการหาคำตอบ

ด้วยเหตุผลข้างต้นในการแก้ปัญหาเงื่อนไขขอบที่หลากหลายมากขึ้น จึงมีงานวิจัยหลายเรื่องที่ใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปแบบต่างๆ จากการประมวลผลได้ค่าที่แม่นยำ [3-6] นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติในวัสดุพอร์ซเลนโดเมนปีดรูบทรงต่างๆ [7-10] แต่ไม่ได้ทำวิเคราะห์การนำความร้อนในวัสดุและที่ผิวมีการพาความร้อนสู่อากาศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนภาพ ต่อการกระจายอุณหภูมิจากการนำความร้อนในวัสดุและการพาความร้อนจากผิวสู่สิ่งแวดล้อม แบบ 2 มิติ ที่สภาวะคงที่ วัสดุตัวอย่างในการศึกษาคือ อิฐทนไฟ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากโปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL MULTIPHYSICS พร้อมทั้งเปรียบเทียบความถูกต้องจากการคำนวณด้วยวิธีผลต่างสลับเนื่องเพื่อยืนยันตามถูกต้อง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่มีลักษณะเดียวกันได้

2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดในการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้ กำหนดให้วัสดุตัวอย่างเป็นอิฐทนไฟ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) เท่ากับ 1 W/m K (ที่ $T \approx 205 \text{ }^\circ\text{C}$) [11] และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เท่ากับ $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ มีการกำหนดสมมติฐานของแบบจำลอง ดังนี้

1. พิจารณาอุณหภูมิที่สภาวะคงที่
2. เป็นการนำความร้อนแบบ 2 มิติ
3. คุณสมบัติของวัสดุคงที่
4. ไม่มีความร้อนภายในวัสดุ

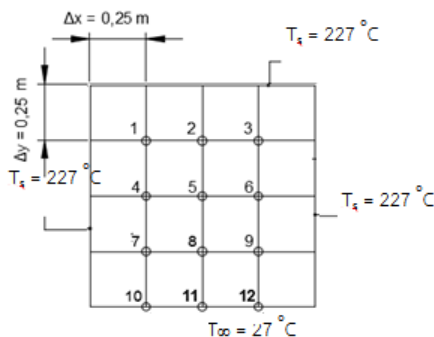
2.1 ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบ

ทำการศึกษาโดยให้อิฐทนไฟรูปสี่เหลี่ยมขนาด $1 \times 1 \text{ m}^2$ แบ่งเอลิเมนต์เป็นแบบสี่เหลี่ยมจำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 16 เอลิเมนต์ ตามแนวแกน x และ y จะได้ $\Delta x = \Delta y = 0.25 \text{ m}$ มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบเป็น 3 แบบ ดังนี้

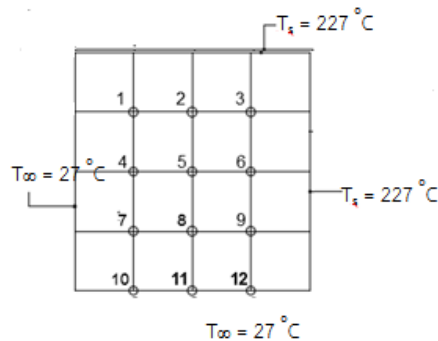
แบบที่ (1) กำหนดให้อุณหภูมิผิว 3 ด้าน มีอุณหภูมิ $227 \text{ }^\circ\text{C}$ ผิวอีก 1 ด้านสัมผัสกับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิ $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ดังรูปที่ 1 (ก)

แบบที่ (2) กำหนดให้อุณหภูมิผิวทั้ง 2 ด้าน มีอุณหภูมิ 227 °C ผิวอีก 2 ด้านสัมผัสกับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิ 27 °C ดังรูปที่ 1 (ข)

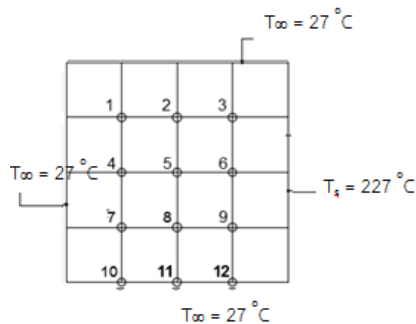
แบบที่ (3) กำหนดให้อุณหภูมิผิว 1 ด้าน มีอุณหภูมิ 227 °C ผิวอีก 3 ด้านสัมผัสกับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิ 27 °C ดังรูปที่ 1 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 และ(ค) แบบที่ 3

2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนภาพ (Aspect Ratio, AR)

นำแบบจำลองจากการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขขอบแบบที่ 1 มาเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนภาพ แบ่งเป็น 5 แบบ คือ 0.25, 0.5, 1, 2 และ 4 มีลักษณะดังตารางที่ 1

3. การหาผลเฉลย

ในการหาผลเฉลยของอุณหภูมิในวัสดุ งานวิจัยนี้ได้ศึกษา 2 วิธี คือ วิธีการแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และ วิธีการผลต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.1 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

การศึกษาระบายการกระจายอุณหภูมิภายในวัสดุ ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL MULTIPHYSICS เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการหาคำตอบ มีรายละเอียดดังนี้

(1) สร้างแบบจำลอง และประมวลผลหาความแตกต่างในจำนวนเอลิเมนต์ พบว่าผลการกระจายตัวของอุณหภูมิให้ค่าไม่แตกต่างกัน อาจจะเป็นเนื่องมาจากวัสดุมีรูปทรงและเงื่อนไขขอบไม่ซับซ้อน ดังนั้นจำนวนเอลิเมนต์ในการศึกษานี้จึงไม่มีผลกระทบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ [12]

(2) กำหนดเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง






(3) การประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ของแบบจำลอง มีสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนของอิฐทนไฟใน 2 มิติ ที่สภาวะคงที่ คำนวณได้จากสมการการนำความร้อน ตามสมการที่ (1)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \tag{1}$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิใดๆ

x และ y คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ลักษณะของอัตราส่วนภาพต่างๆ

อัตราส่วนภาพ (AR)	ลักษณะ
0.25	
0.5	
1	
2	
4	

สภาวะขอบเขตผิวของอิฐทนไฟที่มีการพาความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม คำนวณตามสมการที่ (2)

$$-n \cdot k \nabla T = h(T_{\infty} - T) \quad (2)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

T_{∞} คือ อุณหภูมิที่สิ่งแวดล้อม

3.2 วิธีการผลต่างสี่เหลี่ยม

เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟในเอลิเมนต์ จึงได้มีการเปรียบเทียบอุณหภูมิแต่ละโหนดด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมซึ่งมีหลักในการสร้างสมการและการหาคำตอบตั้งรายละเอียดต่อไป

การวิเคราะห์การนำความร้อนภายในอิฐทนไฟในกรณีที่ $\Delta x = \Delta y$ โดยใช้สมการที่ (3)

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4T_{m,n} = 0 \quad (3)$$

เมื่อ $T_{m,n}$ คือ อุณหภูมิที่โหนด m และ n

Δx คือ ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน x

Δy คือ ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน y

การวิเคราะห์เงื่อนไขขอบที่มีการพาความร้อนด้วย โดยใช้สมการที่ (4)

$$\left(2T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}\right) + \frac{2h\Delta x}{k}T_{\infty} - 2\left(\left(\frac{h\Delta x}{k} + 2\right)T_{m,n}\right) = 0 \quad (4)$$

การวิเคราะห์เงื่อนไขขอบที่มุมและมีการพาความร้อนร่วมด้วย ดังสมการที่ (5)

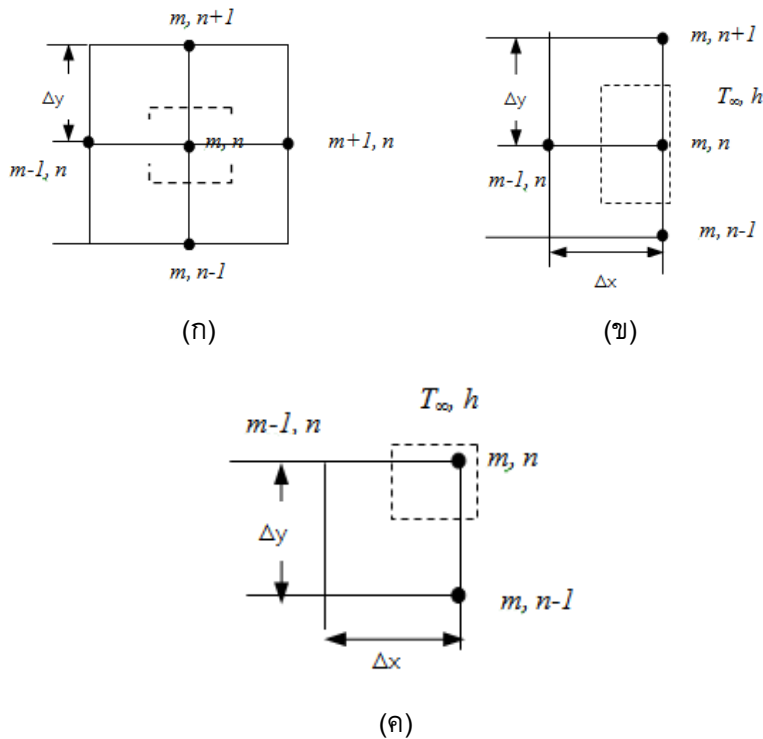
$$\left(2T_{m,n-1} + T_{m-1,n}\right) + \frac{2h\Delta x}{k}T_{\infty} - 2\left(\left(\frac{h\Delta x}{k} + 1\right)T_{m,n}\right) = 0 \quad (5)$$

จากสมการ (3)-(5) ใช้สำหรับวิเคราะห์ตำแหน่งโหนดต่างๆ ดังรูปที่ 2 จากนั้นสร้างสมการตามเงื่อนไขขอบต่างๆ ทั้ง 3 แบบ และหาคำตอบจากสมการที่โหนดต่างๆ โดยการหาค่าอินเวอร์สของเมทริกซ์ จะได้อุณหภูมิแต่ละโหนดดังสมการที่ (6)

$$[T] = [A]^{-1} [C] \tag{6}$$

เมื่อ $[T]$ และ $[A]$ คือ เมทริกซ์ของอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิในแต่ละโหนด $[C]$ คือ เมทริกซ์ค่าคงที่ เช่น Δx , h , k และ T_∞ ของแต่ละสมการ

แต่วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีนี้ เมื่อมีโหนดจำนวนมากขึ้น จำนวนสมการก็จะมากขึ้นด้วย การแก้สมการหาอุณหภูมิก็จะยุ่งยากและเสียเวลามากขึ้น ถึงแม้จะมีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณก็ตาม การยืนยันคำตอบจากแก้ปัญหาของสภาวะเงื่อนไขขอบแบบที่ 1 ของ AR เท่ากับ 1 มีการหาคำตอบผลเฉลยอุณหภูมิของแต่ละโหนดด้วยวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ว [11]



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ตำแหน่งต่างๆ [12] (ก) โหนดภายในวัสดุ (ข) โหนดที่มีการพาความร้อน และ (ค) โหนดมุมและมีการพาความร้อน

4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาระยะการกระจายอุณหภูมิแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

(1) ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของไฟไนเอลิเมนต์กับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม จากการศึกษาค่าผลกระทบบของอุณหภูมิเงื่อนไขขอบทั้ง 3 แบบ ดังรูปที่ 3 พบว่าอุณหภูมิแต่ละโหนดมีค่าใกล้เคียงกันมาก มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเชื่อถือได้ เนื่องจากได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สมบัติ ทำนา และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ [13] ที่ได้ทำการพิสูจน์ความถูกต้องผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับการทดลองในการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานภายในท่อกลมมีความคลาดเคลื่อนระหว่าง 4.7-11.8% และงานวิจัยของ Hii และคณะ[14] ที่เปรียบเทียบการทำนายผลของอุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดกาแฟกับการทดลอง มีความคลาดเคลื่อนระหว่าง 3.1-12.1%

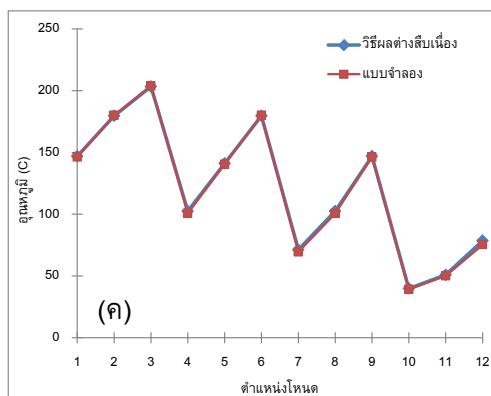
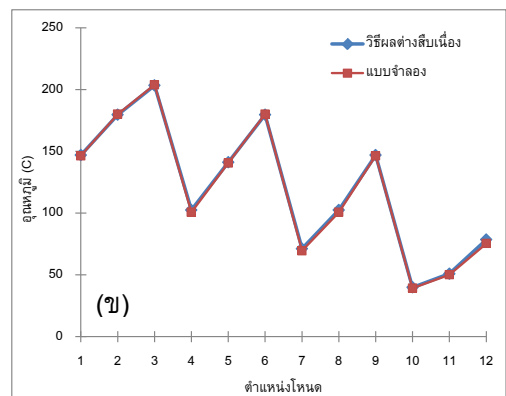
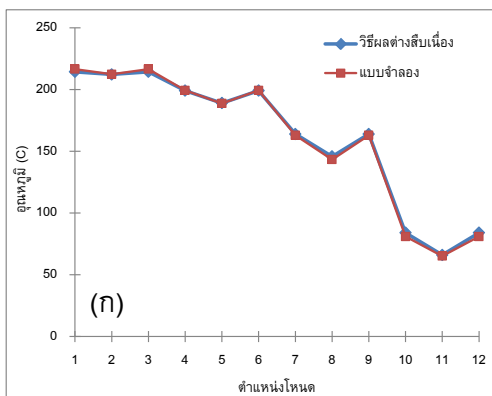
(2) ผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเงื่อนไขขอบทั้ง 3 แบบ ของแบบจำลองไฟไนเอลิเมนต์ต่อการกระจายอุณหภูมิและอุณหภูมิแกรเดียน จะสังเกตได้ว่าการกระจายอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าแบบที่ 1 บริเวณด้านล่างมีอุณหภูมิที่กระจายมาสู่ผิวด้านบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากมีการกำหนดเงื่อนไขให้อุณหภูมิผิวทั้ง 3 ด้าน (บน-ซ้าย-ขวา) มีอุณหภูมิสูง และด้านล่างมีการพาความร้อนกับอากาศด้านนอกที่มีอุณหภูมิต่ำ สำหรับแบบที่ 2 มีการกระจายอุณหภูมิจากมุมบนซ้ายและมุมล่างขวา เนื่องจากได้กำหนดให้ผิวด้านบนและด้านขวามีอุณหภูมิผิวสูง และแบบที่ 3 มีการกระจายอุณหภูมิจากมุมขวาบนและมุมซ้ายล่าง เนื่องจากได้กำหนดให้ด้านซ้ายมีอุณหภูมิผิวสูงด้านเดียว และทั้ง 3 แบบ มีการกระจายอุณหภูมิจากมุมที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงไปสู่อีกมุมที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงเช่นกัน ส่วนอุณหภูมิแกรเดียน ดังรูปที่ 5 พบว่าแบบที่ 1 มุมด้านล่างขวาและล่างซ้ายอุณหภูมิแกรเดียนจะสูง เนื่องจากผิวด้านล่างสัมผัสกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านล่างจึงสูง ส่วนแบบที่ 2 มุมบนด้านซ้ายและมุมล่างด้านขวา จะมีอุณหภูมิแกรเดียนสูงเนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในด้านประกบทั้งสองมุมสูง และแบบที่ 3 มุมบนและล่างด้านขวาจะมีอุณหภูมิแกรเดียนสูง เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านขวาที่มีอุณหภูมิสูง จากทั้ง 3 แบบ พบว่า ด้านประกอบที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากจะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิแกรเดียนสูง [1] โดยเฉพาะบริเวณมุมของด้านประกอบ และจากตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยแบบที่ 1 มีอุณหภูมิสูงที่สุด จากนั้นเป็นแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

(3) ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลง AR โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิแกรเดียน ดังตารางที่ 3 พบว่า เมื่อ AR มากอุณหภูมิเฉลี่ยจะต่ำกว่า AR น้อย เพราะ AR มากจะมีพื้นที่ผิวด้านล่างที่มีการพาความร้อนมากกว่า ส่วนอุณหภูมิแกรเดียน พบว่าที่ AR จาก 0.25 ถึง 2 อุณหภูมิแกรเดียนจะเพิ่มขึ้น แต่ที่ AR เท่ากับ 4 พบว่าอุณหภูมิแกรเดียนต่ำกว่า AR เท่ากับ 2

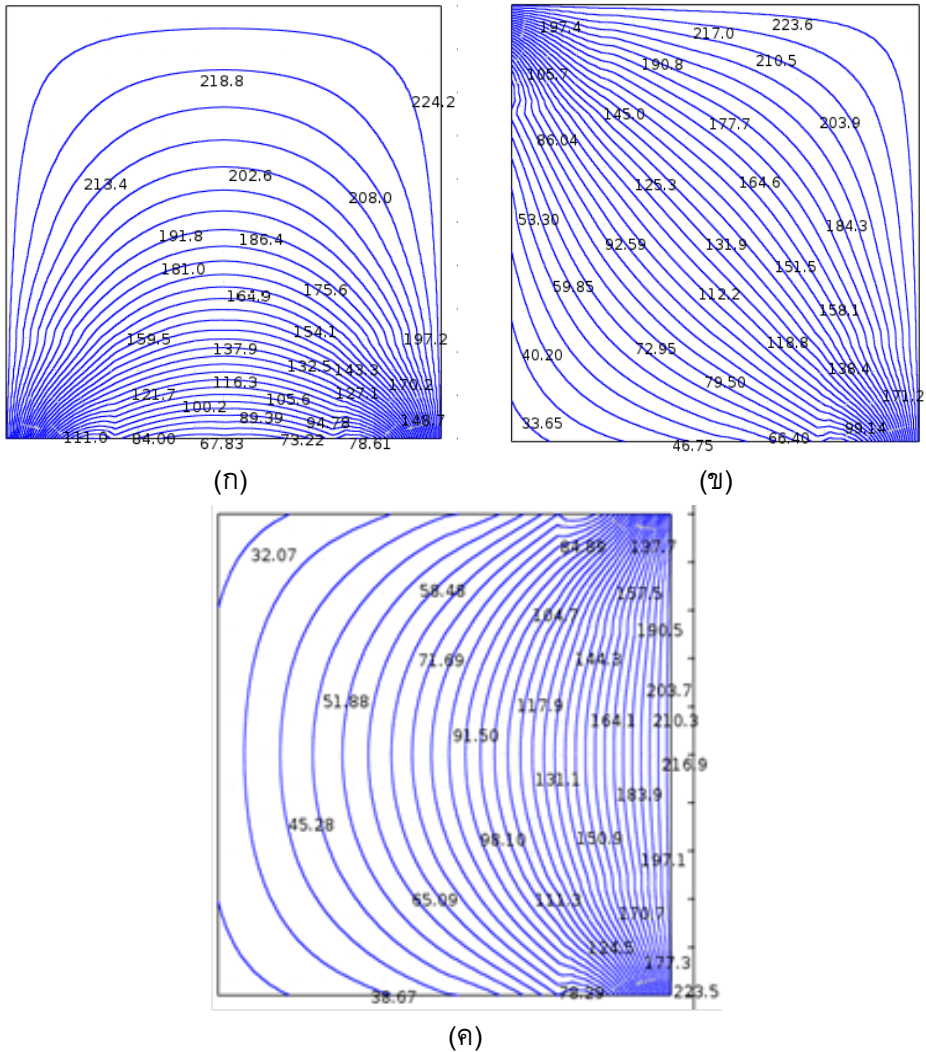
เล็กน้อย เนื่องจาก AR เท่ากับ 4 มีพื้นที่ในการพาความร้อนมากขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในมีความแตกต่างกันน้อยลง ส่วนลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ AR แตกต่างกัน ดังรูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิจะเป็นแบบสมมาตร ซึ่งให้ผลขัดแย้งกับงานวิจัยของ Kaya และคณะ [15] ที่การกระจายอุณหภูมิไม่สมมาตร อาจเนื่องมาจากงานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์การแพร่ของมวลร่วมด้วย อีกทั้งยังมีเงื่อนไขขอบอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน จึงเป็นผลให้การกระจายอุณหภูมิมียุลักษณะแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิเกรเดียนต์ของเงื่อนไขขอบทั้ง 3 แบบ

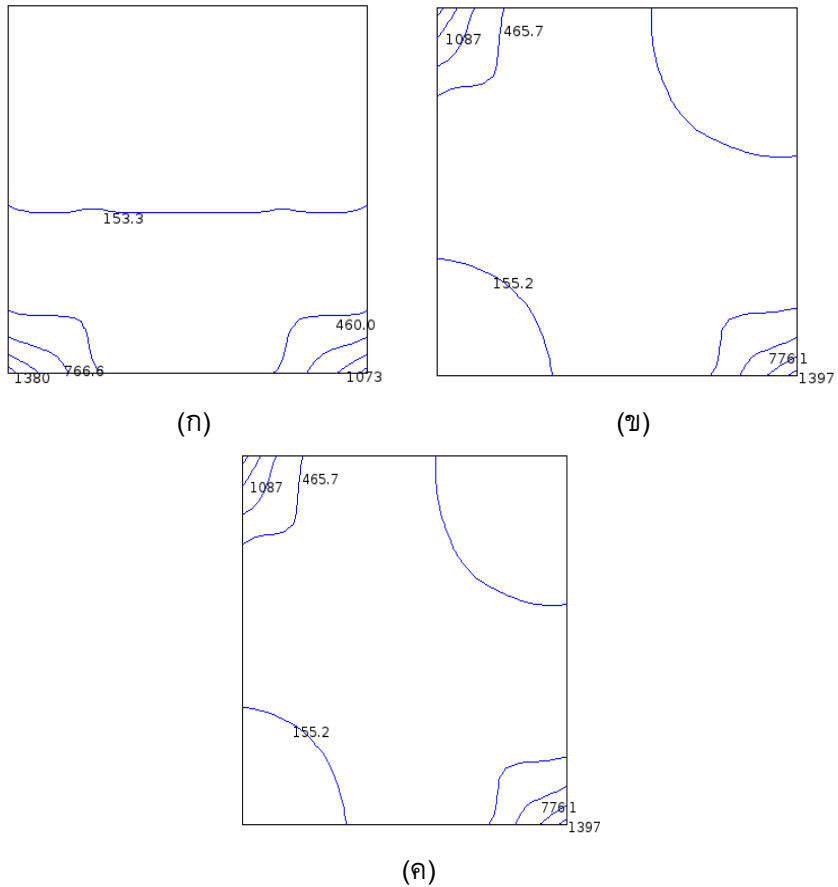
เงื่อนไขขอบ	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิเกรเดียนต์ (K/m)
แบบที่ 1	189.66	192.21
แบบที่ 2	141.41	248.85
แบบที่ 3	90.71	229.35



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างวิธีการสลับเนื่องและแบบจำลองไฟไนเอลิเมนต์ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 และ (ค) แบบที่ 3



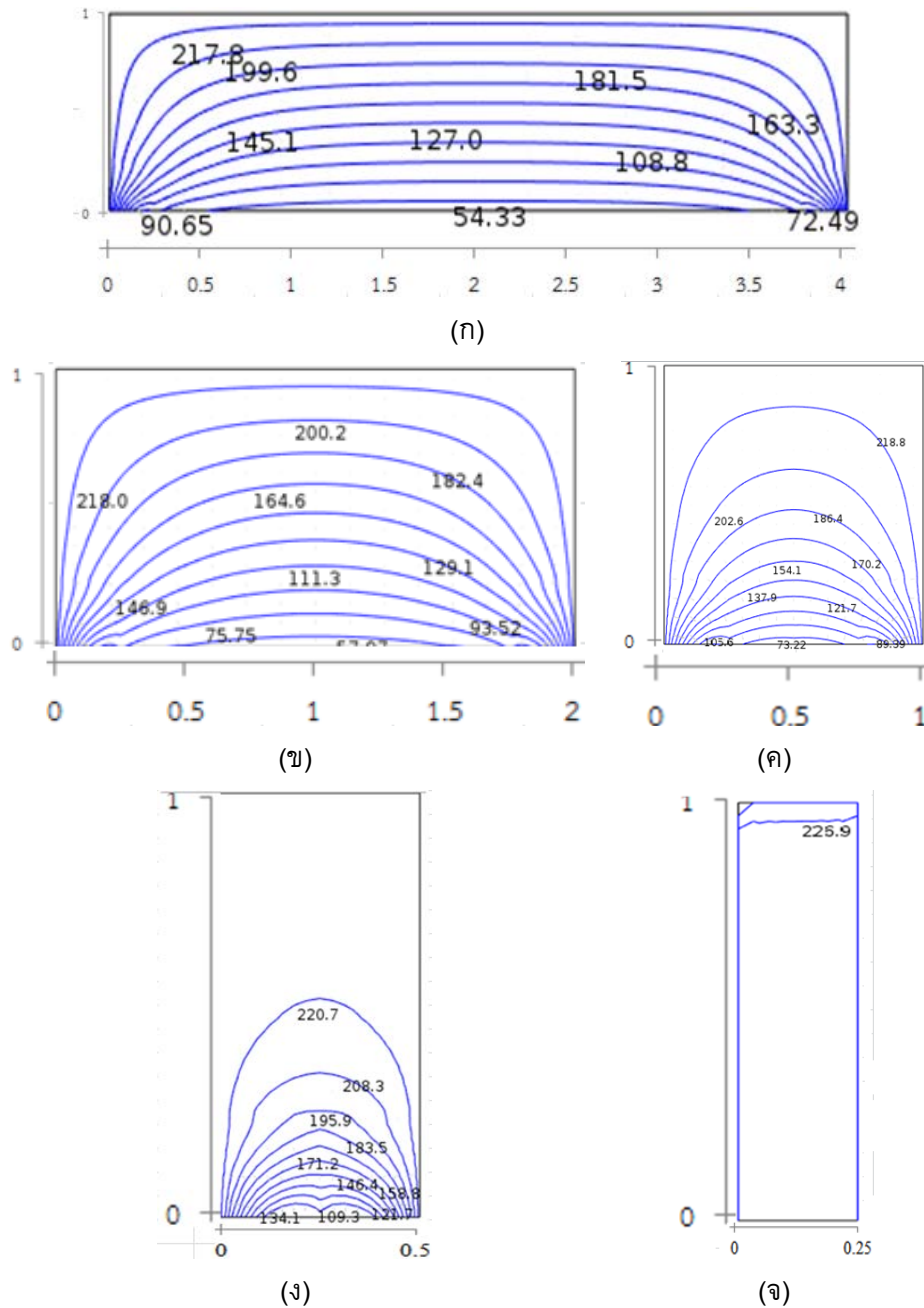
รูปที่ 4 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ (°C) ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 และ (ค) แบบที่ 3



รูปที่ 5 ลักษณะของอุณหภูมิแกรเดียนต์ (K/m) ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 และ (ค) แบบที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิแกรเดียนต์ ที่อัตราส่วนภาพต่างๆ

อัตราส่วนภาพ (AR)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิแกรเดียนต์ (K/m)
0.25	220.95	116.78
0.5	210.67	159.26
1	189.66	192.21
2	165.79	196.22
4	150.96	189.62



รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิ (°C) (ก) AR=4 (ข) AR=2 (ค) AR=1 (ง) AR=0.5 และ (จ) AR=0.25

5. สรุปผล

จากการศึกษาการการถ่ายเทความร้อนภายในอิฐทนไฟด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ ที่สภาวะคงที่

(1) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟในเอลิเมนต์กับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม ให้ผลของอุณหภูมิที่โหนดต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นที่น่าเชื่อถือ

(2) ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีแตกต่างของเงื่อนไขขอบทั้ง 3 แบบ พบว่าทิศทางการกระจายตัวของอุณหภูมิจะกระจายตัวจากมุมของด้านประกอบที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสูงไปสู่มุมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสูงเช่นกัน ในแบบที่ 1 จะมีอุณหภูมิสูงเฉลี่ยสูงที่สุด จากนั้นเป็นแบบ 2 และ 3 ตามลำดับ และอุณหภูมิแกรเดียนจะมีค่าสูงสุดที่มุมของด้านประกอบที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก

(3) จากการเปลี่ยนแปลง AR ตามเงื่อนไขขอบแบบที่ 1 พบว่า AR มากขึ้นทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยจะต่ำลง ส่วนอุณหภูมิแกรเดียนมีค่าไม่แน่นอนตามการเพิ่ม AR

แบบจำลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์หาการถ่ายเทความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุและเงื่อนไขขอบที่สภาวะอื่นๆ ได้ตามความต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนโปรแกรมสำเร็จรูป COMSOL Multiphysics

References

- [1] Pungjarernchai S. Simulation of heat transfer in heating tube bundle with finite element method, RMUTP Research Journal 2011;5:12-9. (In Thai)
- [2] Tintan T, Sarakorn V. Comparison of finite element and finite difference methods for two-dimensional Magnetotelluric Modelling, KKU Science Journal 2017;45(4):924-36. (In Thai)
- [3] Maji K, Shukla R, Nath AK, Pratihar DK. Finite element analysis and experimental investigations on laser bending of AISI304 stainless steel sheet, Procedia Engineering 2013;64:528-35.
- [4] Vemanaboina H, Akella S, Kumar R. Welding Process Simulation model for temperature and residual stress analysis. Procedia Materials Science 2014;6:1539-46.
- [5] Zhu W, Wang JW, Yang L, Zhou YC, Wie YG, Wu RT. Modeling and simulation of the temperature and stress fields in a 3D turbine blade coated with thermal barrier coatings, Surface & Coatings Technology 2017;315:443-53.

- [6] Zhang Q, Zhang S, Li, J. Three dimensional finite element simulation of cutting forces and cutting temperature in hard milling of AISI H13 steel, *Procedia Manufacturing* 2017;10:37-47.
- [7] Balla SC, Kishan N, Gorla RSR, Gireesha BJ. MHD Boundary layer flow and heat transfer in an inclined porous square cavity filled with Nanofluids, *Ain Shams Engineering Journal* 2017; 8:237-54.
- [8] Basak T, Roy S, Balakrishnan AR. Effects of thermal boundary conditions on natural convection flows within a square cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2006; 49:4525-35.
- [9] Saeid NH, Pop I. Transient free convection in a square cavity filled with a porous medium, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2004; 47:1917-24.
- [10] Sales H, Alsabery AI, Hashim I. Natural convection in polygonal enclosures with inner circular cylinder, *Advances in Mechanical Engineering* 2015;7:1-10.
- [11] Incropera FP. *Fundamentals of heat and mass transfer*, 6th Edition. United States of America, John Willey & Sons; 2005.
- [12] Jomlapeiatikul A, Poomsa-ad N, Wiset L, Sopa P. Feasibility study of drying conditions by finite element method, *Journal of Science and Technology Mahasarakham University* 2013;32:494-8.
- [13] Tamna S, Promwong P. Numerical heat transfer study in a circular tube with 20° Inclined Horseshoe Baffles. *Engng.J.CMU* 2017;23(1):30-9. (In Thai)
- [14] Hii C.L, Law C. L, Law M.C, Simulation of heat and mass transfer of cocoa beans under stepwise drying conditions in a heat pump dryer, *Appl.Therm. Eng.* 2013, 54 264-71.
- [15] Kaya A, Aydin O, Dincer I. Numerical modeling of heat and mass transfer during forced convection drying of rectangular moist objects. *International Journal of heat and mass transfer* 2006;49: 3094-103.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ดร.ประยูร จอมหล้าพีรติกุล อาจารย์สาขาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น เลขที่ 150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000 เบอร์โทรติดต่อ 089-5547049 E-Mail. prayoon_eng@hotmail.com



ดร.อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล อาจารย์สาขาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น เลขที่ 150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000 เบอร์โทรติดต่อ 085-7160057 E-Mail. sesaku_cmu@hotmail.com