

การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็น โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

A Modeling of Heat Transfer in Cooling Coil using Finite Element Method

สมจินต์ พวงเจริญชัย¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800
โทร 0-2913-2424 ต่อ 193,138 โทรสาร 0-2913-2486 E-mail: somjin_nbk@hotmail.com

Somjin Puangcharoenchai¹

¹Mechanical Engineering Department, Rajamangala University of Technology Phra nakhon
North Bangkok Campus, 10800
1381 Piboonsongkram Road, Bangsue, Bangkok 10800
Tel: 0-2913-2424 Ext 193,138 Fax: 0-2913-2486 E-mail: somjin_nbk@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอการคำนวณเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองขดท่อทำความเย็น โดยแบบจำลองสำหรับการวิจัยได้ทำการจำลองแบบมาจากชุดทดสอบขดท่อทำความเย็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะของกลุ่มท่อ (Tube) ภายในจัดวางเรียงแบบแนวเหลื่อมกันขนาด 80x282.5x350 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่ต้องการสำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแก่แบบจำลองนั้น กำหนดให้อุณหภูมิที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 35°C, 40°C และ 45°C ตามลำดับ และความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 5 m/s ส่วนผนังโดยรอบหุ้มฉนวน (ไม่มีการสูญเสียความร้อน) สำหรับบริเวณภายในแบบจำลองจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) มีค่าเท่ากับ 30°C จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองขดท่อทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ 35°C, 40°C และ 45°C จะพบว่าที่บริเวณขอบ (ตำแหน่งทางเข้า) ของแบบจำลองค่าของอุณหภูมิบริเวณดังกล่าวจะมีค่าสูงที่สุด และค่าของอุณหภูมิจะมีค่าลดลงตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองขดท่อทำความเย็นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าคงที่ หลังจากนั้นค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตาม ดังนั้นผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับการวิจัยปัญหาในลักษณะเดียวกันด้วยวิธีการอื่น และสามารถนำไปประกอบการพิจารณาในปัญหาทางานที่เกิดขึ้นจริง

Abstract

This research presented the numerical using finite element method to find the temperature inside cooling coil model at various positions. The research model was modeled from cooling coil set with 10 mm. diameter. The inside tubes were in stagger arrangement with the dimension of 80x282.5x350 mm. After that the finite element program was written to find the temperature at needed position. The model conditions were determining the entrance temperature at 35 °C, 40 °C and 45 °C, the air flow speed was 5 m/s, the wall around the model was covered with insulation (to prevent heat lose), the initial temperature inside the model 30 °C The finding found that the temperature was at the edge of (entrance position) the model when the heat around the cooling coil was at different temperatures (35 °C, 40 °C and 45 °C). The temperature was decreased gradually owing to the increased distance. When the time has gone by the temperature at each position in the cooling coil model was gradually decreased until constant. After that there was not any change of the temperature at each joint inside the model even if the time was increased. Therefore, this research result can be the basis data for comparing with the other research method of similar problem. Moreover, it can be used for considering the problem that will occur in the real work.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการปรับอากาศเป็นการควบคุมสภาวะของอากาศให้เหมาะสมกับสภาพต่าง ๆ ในส่วนของการทำความเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดนั้น ระบบการทำความเย็นส่วนใหญ่มักใช้ชุดทำความเย็น (Cooling Coil) เป็นอุปกรณ์ในการลดอุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบชุดทำความเย็นเราควรศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในชุดทำความเย็นเสียก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบที่เหมาะสม โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในชุดทำความเย็นสามารถที่จะอธิบายในทางฟิสิกส์ แล้วหาออกมาในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) และจากสมการเชิงอนุพันธ์นี้เองก็สามารถนำไปหาค่าผลเฉลย (Solution) ตามที่ต้องการ โดยวิธีในการหาค่าผลเฉลยนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น หาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) หาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสลับ (Finite Different Method) หรือหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยการหาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์นั้นจะทำได้ยุ่งยากกว่าอีก 2 วิธี ส่วนการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสลับนั้นจะมีข้อดีตรงที่ง่ายต่อการศึกษา และทำความเข้าใจและรวมไปถึง ความสะดวกในการเขียนโปรแกรม แต่จะไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและมีปัญหามากในกรณีที่มีรูปร่างซับซ้อน และจากปัญหาดังกล่าวนี้องค์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณที่เหมาะสมกับปัญหาประเภทดังกล่าว [1] ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในชุดทำความเย็น โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการเขียนโปรแกรมหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) ศึกษาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชุดทำความเย็น
- (2) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาค่าอุณหภูมิภายในชุดทำความเย็น
- (3) ศึกษาหาตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- (1) หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในชุดทำความเย็นแบบเชิงเส้นในสถานะชั่วคราว (Linear Transient Heat transfer)
- (2) ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในชุดทำความเย็น
- (3) ออกแบบและสร้างแบบจำลองชุดทำความเย็น

1.4 ประโยชน์ของผลการวิจัย

- (1) ทำให้รู้ถึงพฤติกรรมและตัวแปรของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชุดทำความเย็น
- (2) สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ออกแบบชุดทำความเย็น

- (3) สามารถนำไปโปรแกรมไปใช้กับออกแบบงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้
- (4) ช่วยในการพัฒนาชุดทำความเย็นให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนในการทำวิจัย

- (1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- (2) ทาสมการในการถ่ายโอนความร้อนภายในชุดทำความเย็น
- (3) แก้ปัญหาโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- (4) เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- (5) หาค่าอุณหภูมิภายในชุดทำความเย็น
- (6) สรุปผลการวิจัย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎอนุรักษ์ของพลังงาน

สำหรับรูปแบบสมการของพลังงานสำหรับวัสดุพหุ สามารถแยกพิจารณาออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นเนื้อวัสดุ กับส่วนที่เป็นอากาศ โดยความพหุของวัสดุสามารถกำหนดโดยอัตราส่วนของปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดนั่นเอง นอกจากนั้นสำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านชุดทำความเย็นนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อน โดยการพาเพิ่มขึ้นมาอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลว [1] ดังนั้นสมการของพลังงานในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate System) ก็คือ

$$\rho_f c_{pf} \sigma \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \rho_f c_{pf} \phi \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) + q'' \quad (1)$$

2.2 เงื่อนไขขอบเขตและค่าเริ่มต้น

การหาค่าผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ เราต้องทราบเงื่อนไขขอบเขตและค่าเริ่มต้น (Boundary and Initial Condition) [1]

- (1) กำหนดอุณหภูมิที่ผิวคงที่
- (2) ฟลักซ์ความร้อนคงที่
 - ฟลักซ์ความร้อนมีค่าจำกัด
 - ที่ผิวไม่มีการสูญเสียความร้อนหรือติดฉนวน
- (3) มีการพาความร้อนที่ผิว

2.3 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นวิธีการเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าผลเฉลย โดยประมาณของตัวแปรที่ไม่รู้ค่า เช่น ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิ เป็นต้น โดยทำการแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ที่เรียกว่า (Elements) และในแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเชื่อมกันที่จุดต่อเรียกว่า (Nodes) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เราต้องการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณนั่นเอง โดยสรุปเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้ [1]

- (1) สร้างแบบจำลองของระบบแล้วแบ่งแบบจำลองเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ
- (2) เลือกฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Shape Function)
- (3) สร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equations) ที่ต้องการทราบคำตอบ
- (4) นำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มารวมกัน เป็นสมการรวมของระบบ (System Equations)
- (5) แทนเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในสมการรวมของระบบ
- (6) แก้สมการของระบบเพื่อหาค่าโดยประมาณของตัวที่ไม่รู้ค่า

2.4 การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาด้านความร้อน

สำหรับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาด้านความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้ [1]

$$[C] \{ \dot{T} \} + ([K_c] + [K_h] + [K_v]) \{ T \} = \{ Q_Q \} + \{ Q_{sh} \} + \{ Q_h \} \quad (2)$$

โดยเมทริกซ์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$[C] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j \rho_f c_{pf} \sigma \{ N(\xi_i, \eta_j) \} [N(\xi_i, \eta_j)]^T [j(\xi_i, \eta_j)] \quad (3)$$

$$[K_c] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j [B(\xi_i, \eta_j)]^T k [B(\xi_i, \eta_j)] [j(\xi_i, \eta_j)] \quad (4)$$

$$[K_h] = \sum_{j=1}^{NG} w_j h \{ N(\xi, \eta_j) \} [N(\xi, \eta_j)]^T [j(\xi, \eta_j)] \quad (5)$$

$$[K_v] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j \rho_f c_{pf} \phi \{ N(\xi_i, \eta_j) \} [u \ v] [B(\xi_i, \eta_j)]^T [j(\xi_i, \eta_j)] \quad (6)$$

$$[Q_Q] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j q''' \{ N(\xi_i, \eta_j) \} [j(\xi_i, \eta_j)] \quad (7)$$

$$[Q_{sh}] = \sum_{j=1}^{NG} w_j q_{sh} \{ N(\xi, \eta_j) \} [j(\xi, \eta_j)] \quad (8)$$

$$[Q_h] = \sum_{j=1}^{NG} w_j h T_\alpha \{ N(\xi, \eta_j) \} [j(\xi, \eta_j)] \quad (9)$$

3. วิธีการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็นแบบเชิงเส้นสถานะชั่วครู่ โดยเลือกวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิ โดยทำการเขียนโปรแกรมหาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในขดท่อทำความเย็น

3.2 สมมุติฐานและข้อกำหนดสำหรับการวิจัย

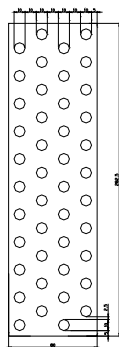
- (1) ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างขดท่อทำความเย็นกับสิ่งแวดล้อม โดยผนังโดยรอบเป็นฉนวน (Adiabatic Wall) ไม่มีการสูญเสียความร้อน
- (2) พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา
- (3) คุณสมบัติของขดท่อทำความเย็นมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา
- (4) สมการในการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิ เป็นสมการของพลังงานสำหรับวัสดุพรุนที่มีการเคลื่อนที่ของของไหล
- (5) พิจารณาคุณสมบัติของขดท่อทำความเย็นเป็นแบบเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous Material) และมีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดทุกทิศทาง (Isotropic Material)
- (6) ไม่พิจารณาการพาความร้อนโดยอิสระ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงลอยตัวที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น
- (7) ไม่พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงมวลความชื้น ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

3.3 ข้อมูลจำเพาะสำหรับการวิจัย

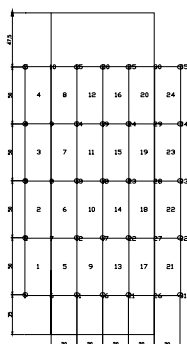
- เส้นผ่านศูนย์กลางขดท่อทำความเย็น 10 mm.
- ความกว้างของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 350 mm.
- ความยาวของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 80 mm.
- ความสูงของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 282.5 mm.
- จำนวนขดท่อของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 44 ขด
- ความพรุนของขดท่อทำความเย็น 90 %
- ความหนาแน่นของขดท่อทำความเย็น 2702 kg/m³
- สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขดท่อทำความเย็น 237 W/m.K
- ความจุความร้อนจำเพาะของขดท่อทำความเย็น 903 kJ/kg.K
- ความหนาแน่นของอากาศ 1.1614 kg/m³
- สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ 0.026 W/m.K
- ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ 1.007 kJ/kg.K

3.4 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองของขดท่อทำความเย็นสำหรับการวิจัยนั้น ได้ทำการจำลองแบบมาจากชุดทดสอบขดท่อทำความเย็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยลักษณะของกลุ่มท่อ (Tube) ภายในจัดวางเรียงแบบแนวเหลื่อมกันขนาด 80x282.5x350 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นจากแบบจำลองของขดท่อทำความเย็นเราสามารถแบ่งเป็นชั้นส่วนย่อยจำนวน 24 ชั้นส่วน ที่ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ โดยเป็นชั้นส่วนย่อยแบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม (Quadrilateral Element) ที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงลักษณะแบบจำลองขดท่อทำความเย็น



รูปที่ 2 แสดงลักษณะเอลิเมนต์ของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น

3.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลอง

จากลักษณะของแบบจำลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า การให้ความร้อนแก่แบบจำลองขดท่อทำความเย็นเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ ส่วนบริเวณโดยรอบของแบบจำลองจะไม่มี การสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม (Adiabatic Wall) นอกจากนี้สำหรับกรณีปัญหาที่ขึ้นกับเวลา เราต้องทราบค่าเงื่อนไขตอนเริ่มต้น (Initial Condition) โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ภายในแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 30°C และความเร็วของอากาศที่ทางเข้า (Inlet Air Velocity) มีค่าเท่ากับ 5 m/s

3.6 วิธีการและขั้นตอนการวิจัย

ในการวิจัยได้ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็น โดยอาศัยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในขดท่อทำความเย็น โดยการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

- (1) การแบ่งส่วนของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่มีขนาดต่างกัน โดยแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเป็นแบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม (Quadrilateral Element) ที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อ
- (2) การป้อนข้อมูลที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องการ ประกอบด้วย
 - จำนวนของชิ้นส่วนย่อย
 - จำนวนของจุดต่อ
 - ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วน
 - พิกัดของตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ

- จำนวนของชิ้นส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต
- อุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่อต่างๆ และเงื่อนไขขอบเขตที่รู้ค่า
- สมบัติของตัวแปรในสมการเชิงอนุพันธ์
- จำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา

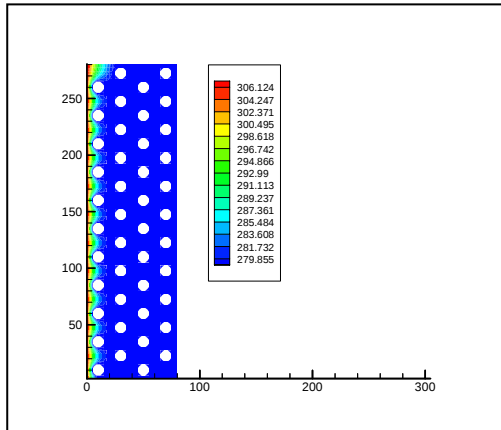
- (3) คำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ ของการถ่ายโอนความร้อน
- (4) นำเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ มารวมกันเป็นสมการรวมของระบบ
- (5) แทนค่าอุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่อต่างๆ และเงื่อนไขขอบเขตลงในสมการรวมของระบบ
- (6) ทำการแก้สมการรวมของระบบ โดยใช้วิธีกาลเลอรืคิน
- (7) ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการวิจัย

4. ผลของการวิจัย

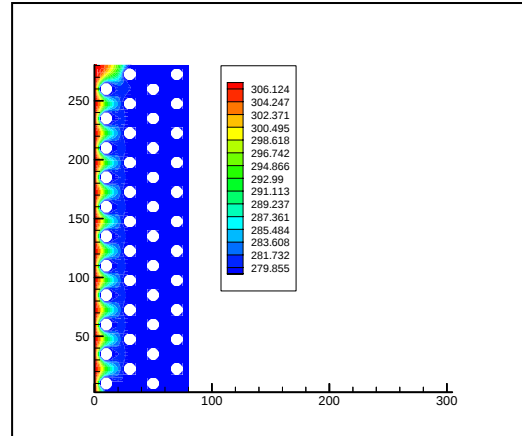
การวิจัยเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองออกเป็นจำนวน 24 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองโดยรอบ โดยที่ตำแหน่งทางเข้าเป็นการให้ความร้อนแบบคงที่ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C , 40°C และ 45°C ตามลำดับ ส่วนผนังโดยรอบไม่มีการสูญเสียความร้อนสำหรับเงื่อนไขขอบเขตภายในแบบจำลองจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ภายในแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 30°C เมื่อเวลาผ่านไปการกำหนดเงื่อนไขภายในแบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือกำหนดอุณหภูมิที่ขอบขดท่อทำความเย็นคงที่มีค่าเท่ากับ 5°C กับกำหนดค่าปริมาณความร้อนออกที่ขอบขดท่อทำความเย็น 3000 W/m จากนั้นกำหนดจำนวนเวลาทั้งหมดที่ทำการพิจารณา แต่เนื่องจากการแบ่งลักษณะเอลิเมนต์ดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นในการทดสอบจะทำการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์เพิ่มเป็น 2382 เอลิเมนต์ ที่ประกอบด้วยจุดต่อ 2735 จุดต่อ โดยทำการพิจารณาแบบต่างๆ ดังนี้ แบบที่ 1 ทำการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ขอบขดท่อทำความเย็นคงที่ โดยไม่พิจารณาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน แบบที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิที่ขอบของขดท่อทำความเย็นคงที่ โดยพิจารณาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน (5 m/s) แบบที่ 3 ทำการกำหนดค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน (ปริมาณความร้อนออก) ที่ขอบของขดท่อทำความเย็น โดยไม่พิจารณาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน แบบที่ 4 ทำการกำหนดค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน (ปริมาณความร้อนออก) ที่ขอบของขดท่อทำความเย็น โดยพิจารณาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน (5 m/s)

4.1 ผลการวิจัย

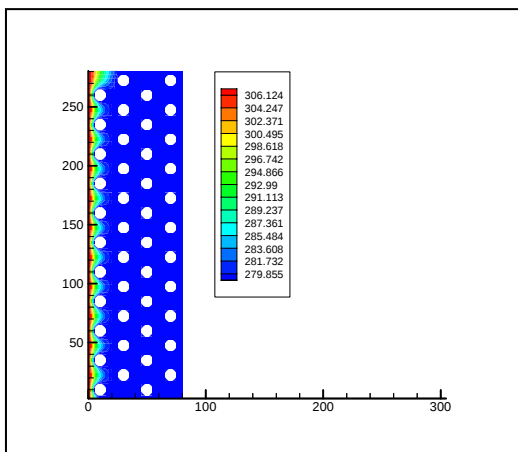
จากการให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองขดท่อทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ 35°C , 40°C และ 45°C จะพบว่า ที่บริเวณขอบ (ตำแหน่งทางเข้า) ของแบบจำลอง ค่าของอุณหภูมิบริเวณดังกล่าวจะมีค่าสูงที่สุด (ตามเงื่อนไขที่กำหนด) และค่าของอุณหภูมิจะมีค่าลดลงตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองขดท่อทำความเย็นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าจะคงที่ หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตาม ค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลง



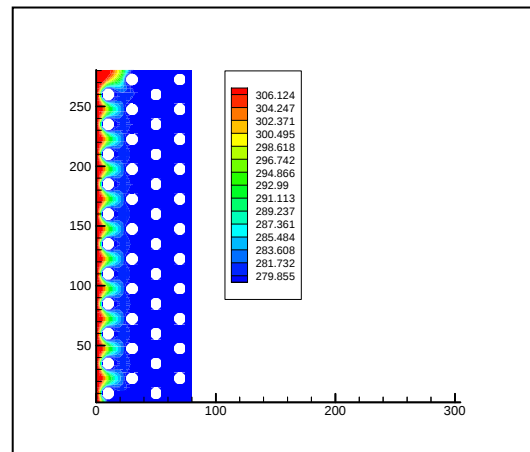
รูปที่ 3 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 35 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



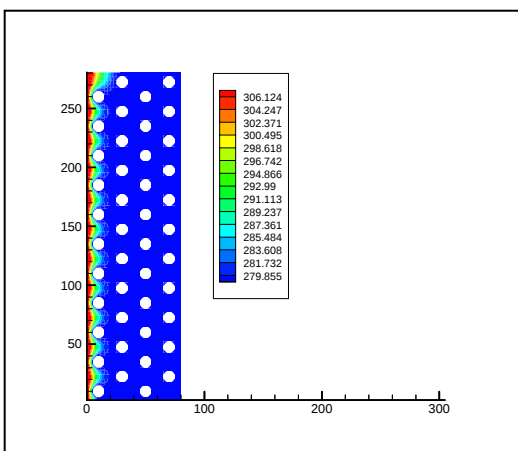
รูปที่ 6 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 35 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



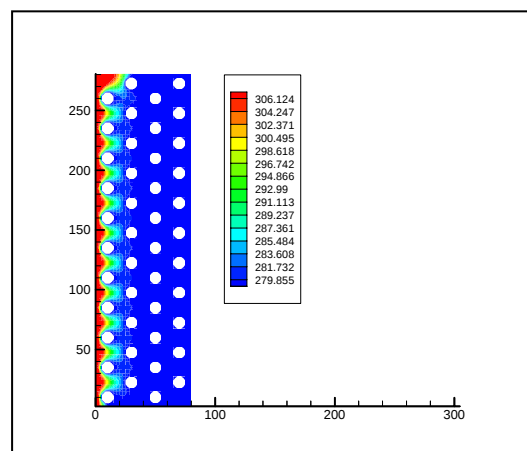
รูปที่ 4 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 40 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



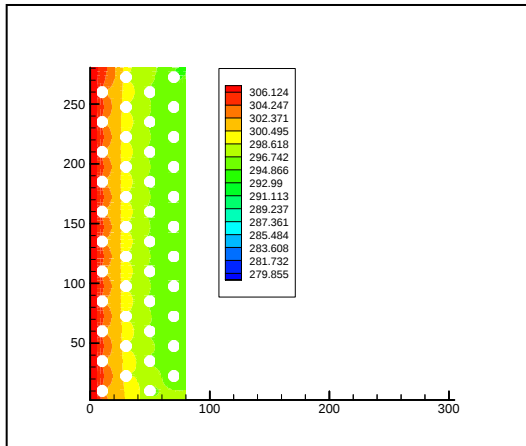
รูปที่ 7 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 40 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



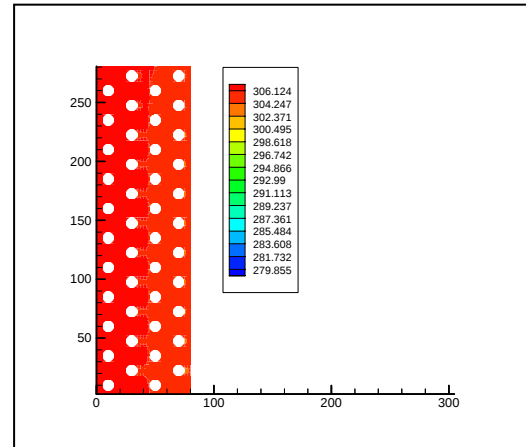
รูปที่ 5 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 45 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



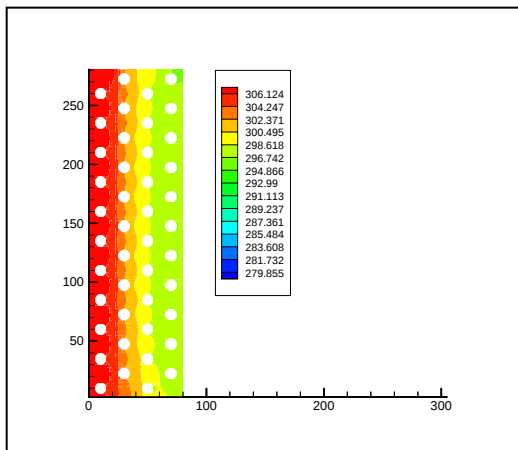
รูปที่ 8 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 45 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



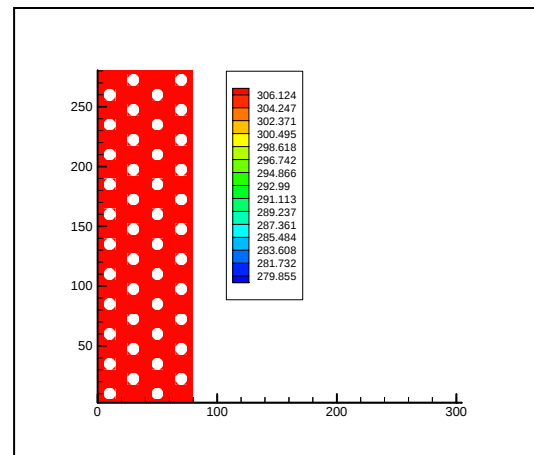
รูปที่ 9 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 35°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



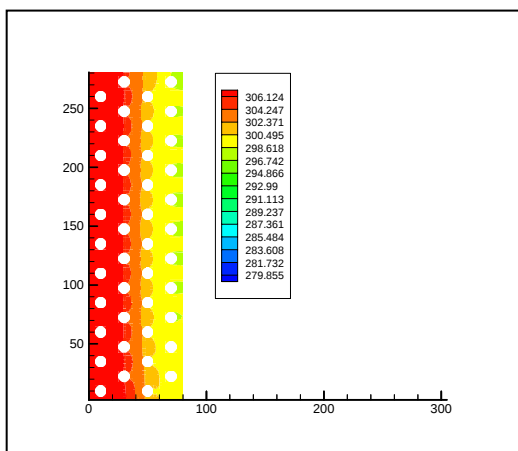
รูปที่ 12 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 35°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



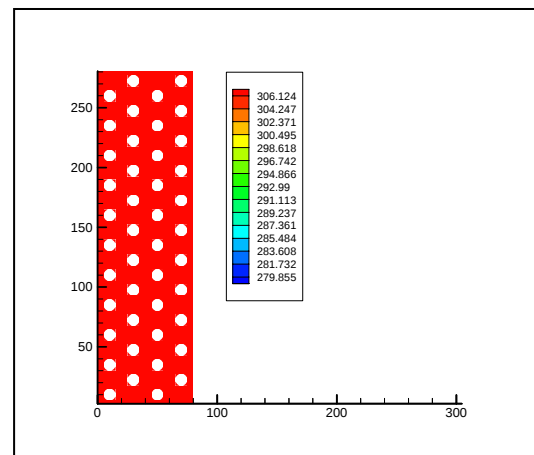
รูปที่ 10 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 40°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



รูปที่ 13 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 40°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



รูปที่ 11 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 45°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



รูปที่ 14 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 45°C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองที่อุณหภูมิต่างๆ 35°C , 40°C และ 45°C ตามลำดับ จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะลดลงสู่สภาวะอิ่มตัว นั่นคือค่าของอุณหภูมิที่บริเวณขอบเขตต่อทำ ความเย็นจะค่อยลดลงตามลำดับและมีอัตราการลดลงอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไป ค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่ หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากผลการทดสอบการคำนวณ แบบที่ 1 กับแบบที่ 2 จะพบว่าเมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลอง ที่อุณหภูมิ 35°C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 0.40 % ที่อุณหภูมิ 40°C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้ แตกต่างกัน 0.45 % และที่อุณหภูมิ 45°C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 0.51 % และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า อุณหภูมิจากผลการทดสอบการคำนวณแบบที่ 3 กับแบบที่ 4 จะพบว่า เมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองที่อุณหภูมิ 35°C ค่าอุณหภูมิ ตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 3.26 % ที่อุณหภูมิ 40°C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 3.72 % และที่ อุณหภูมิ 45°C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 4.18 % โดยตัวแปร (Parameters) ต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในเขตต่อทำความเย็น สามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ความพรุนของวัสดุ
- (2) ค่าความหนาแน่นของอากาศและเขตต่อทำความเย็น
- (3) ค่าความจุความร้อนของอากาศและเขตต่อทำความเย็น
- (4) ค่าการนำความร้อนของอากาศและเขตต่อทำความเย็น
- (5) ค่าความเร็วของอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) ทำการศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระที่เกิดจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอากาศ เนื่องมาจากการที่ อากาศสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อให้ผลของ คำตอบแม่นยำยิ่งขึ้น
- (2) ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของมวลความชื้นว่ามีผลต่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากน้อยเพียงใด
- (3) ทำการศึกษาการถ่ายโอนความร้อนแบบไม่เชิงเส้นภายใต้ สถานะชั่วคราว เพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการเปรียบเทียบกับ งานวิจัย เพื่อหาผลสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้ นั้นมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- [2] มนต์รี พิรุณเกษตร, การถ่ายเทความร้อน, กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์, 2545.

- [3] Incropera, Frank P., and DeWitt, David P. "Introduction to Heat Transfer," Second Edition, Singapore, John Wiley, 1985.
- [4] Reddy, J.N. "An Introduction to the Finite Element Method," Singapore, McGraw-Hill, 1993.
- [5] Sonntag, Richard E., Borgnakke, Claus., and Van Wylen, Gordon J. "Fundamentals of Thermodynamics," Sixth Edition, Singapore, McGraw-Hill, 2003.