

การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็น โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

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

สมจินต์ พวงเจริญชัย¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ
1381 ถนนพิบูลย์สงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800
โทร 0-2913-2424 ต่อ 193,129 โทรสาร 0-2913-2486 E-mail: nin99@hotmail.com

Somjin Puangcharoenchai¹

¹Mechanical Engineering Department, Rajamangala Institute of Technology North Bangkok Campus, 10800
1381 Piboonsongkram Road. Bangsue. Bangkok 10800
Tel: 0-2913-2424 Ext 193,129 Fax: 0-2913-2486 E-mail: nin99@hotmail.com

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปงานต่างๆของการทำความเย็น ส่วนใหญ่มักใช้ขดท่อทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ในการลดอุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี เราควรศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็นเสียก่อน การวิจัยนี้ขอเสนอการคำนวณเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของขดท่อทำความเย็น เมื่อทำการพิจารณาเป็นวัสดุพอร์น จากนั้นสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วทำการเขียนโปรแกรมหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิ และจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีการลดลงสู่สภาวะอิ่มตัว นั่นคืออุณหภูมิที่บริเวณขอบแบบจำลองขดท่อทำความเย็นจะลดลง เมื่อเพิ่มเวลานานขึ้นค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆโดยรอบจะลดลงตามลำดับ จนกระทั่งค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในแบบจำลองมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่บริเวณขอบของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น ดังนั้นผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับกรณีปัญหาในลักษณะเดียวกันด้วยวิธีการอื่นและสามารถนำไปประกอบการพิจารณาในปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

Abstract

In general for the refrigeration, the cooling coil is almost used to be the device to decrease the temperature. Thus, in order to design heat exchange, we should study the heat transfer into the cooling coil. This research proposes the numerical using finite element method for calculating the temperature at any position of the cooling point for considering to porous media. After that, to create an algebraic equation finite element for writing the program to search the solution by estimating the temperature. The research demonstrates that the changing of

temperature will be decreased to saturated condition, that is the temperature around the region of the cooling coil model edge will be decreased. The longer time, the lower temperature around each position will decrease respectively until the temperature at each position inside the model are the same as region of the cooling coil model edge. Therefore, this search result can be the basic for the comparison with the similar problem of others by using other method and can be proposed so as to consider in the real problems.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการปรับอากาศเป็นการควบคุมสภาวะของอากาศให้เหมาะสมกับสภาพต่างๆ ในส่วนของการทำความเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดนั้น ระบบการทำความเย็นส่วนใหญ่มักใช้ขดท่อทำความเย็น (Cooling Coil) เป็นอุปกรณ์ในการลดอุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบขดท่อทำความเย็นเราควรศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็นเสียก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบที่เหมาะสม โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็นสามารถที่จะอธิบายในทางฟิสิกส์ แล้วหาออกมาในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) และจากสมการเชิงอนุพันธ์นี้เองก็สามารถนำไปหาค่าผลเฉลย (Solution) ตามที่ต้องการ โดยวิธีในการหาค่าผลเฉลยนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น หาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) หาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Different Method) หรือหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยการหาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์นั้นจะกระทำได้ยุ่งยากกว่าอีก 2 วิธี ส่วนการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสืบเนื่องนั้น

จะมีข้อดีตรงที่ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจและรวมไปถึงความสะดวกในการเขียนโปรแกรม แต่จะไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและมีปัญหาในกรณีที่มีรูปร่างซับซ้อน และจากปัญหาดังกล่าวนี้เองวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณที่เหมาะสมกับปัญหาประเภทดังกล่าว [1] ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในเขตท่อทำความเย็นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการเขียนโปรแกรมหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) ศึกษาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเขตท่อทำความเย็นเพื่อหาตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- (2) ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- (3) เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการวิจัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- (1) หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในเขตท่อทำความเย็นแบบเชิงเส้นในสถานะชั่วคราว (Linear Transient Heat transfer)
- (2) ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการหาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเขตท่อทำความเย็น
- (3) ออกแบบและสร้างแบบจำลองเขตท่อทำความเย็น

1.4 ประโยชน์ของผลการวิจัย

- (1) ทำให้รู้ถึงพฤติกรรมและตัวแปรของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเขตท่อทำความเย็น
- (2) สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ออกแบบเขตท่อทำความเย็น
- (3) สามารถนำโปรแกรมไปใช้กับออกแบบงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้
- (4) ช่วยในการพัฒนาเขตท่อทำความเย็นให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนในการทำวิจัย

- (1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- (2) หาสมการในการถ่ายโอนความร้อนภายในเขตท่อทำความเย็น
- (3) แก้ปัญหาโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- (4) เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- (5) เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการวิจัย
- (6) สรุปผลการวิจัย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎอนุรักษ์ของพลังงาน

สำหรับรูปแบบสมการของพลังงานสำหรับวัสดุพหุ สามารถแยกพิจารณาออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นเนื้อวัสดุ กับส่วนที่เป็นอากาศ
สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

โดยความพรุนของวัสดุสามารถกำหนดโดยอัตราส่วนของปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดนั่นเอง นอกจากนั้นสำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านเขตท่อทำความเย็นนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาเพิ่มขึ้นมาอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลว [1] ดังนั้นสมการของพลังงานในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate System) ก็คือ

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

2.2 เงื่อนไขขอบเขตและค่าเริ่มต้น

การหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ 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 โดยทำการแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า (Elements) และในแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเชื่อมกันที่จุดต่อเรียกว่า (Nodes) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เราต้องการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณนั่นเอง โดยสรุปเป็นขั้นตอนต่างๆ 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]

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

โดยเมตริกซ์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$[C] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} W_i W_j \rho_j c_{pf} \sigma \left\{ N(\xi_i, \eta_j) \right\} \left[N(\xi_i, \eta_j) \right] j(\xi_i, \eta_j) \quad (3)$$

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

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

$$[K_r] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} W_i W_j \rho_j c_{pf} \phi \left\{ N(\xi_i, \eta_j) \right\} \left[u \ v \right] \left[B(\xi_i, \eta_j) \right] j(\xi_i, \eta_j) \quad (6)$$

$$[Q_c] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} W_i W_j q'' \left\{ N(\xi_i, \eta_j) \right\} j(\xi_i, \eta_j) \quad (7)$$

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

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

3. วิธีการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็นแบบเชิงเส้นสถานะชั่วครู่ โดยเลือกวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิ โดยทำการเขียนโปรแกรมหาค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในขดท่อทำความเย็น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

3.2 สมมุติฐานและข้อกำหนดสำหรับการวิจัย

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

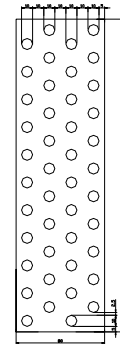
สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

3.3 ข้อมูลจำเพาะสำหรับการวิจัย

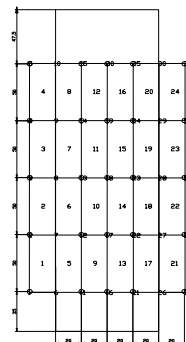
- เส้นผ่านศูนย์กลางขดท่อทำความเย็น 10 mm.
- ความกว้างของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 350 mm.
- ความยาวของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 80 mm.
- ความสูงของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 282.5 mm.
- จำนวนขดท่อของแบบจำลองขดท่อทำความเย็น 44 ขด
- ความพรุนของขดท่อทำความเย็น 90 %
- ความหนาแน่นของขดท่อทำความเย็น 2702 kg/m³
- 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 ดังแสดงในภาพที่ 1 ดังนั้นจากแบบจำลองของขดท่อทำความเย็นเราสามารถแบ่งเป็นชั้นส่วนย่อยจำนวน 24 ชั้นส่วน ที่ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ โดยเป็นชั้นส่วนย่อยแบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม (Quadrilateral Element) ที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะแบบจำลองขดท่อทำความเย็น



ภาพที่ 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

ในการวิจัยได้ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในขดท่อทำความเย็น โดยอาศัยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในขดท่อทำความเย็น โดยการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

- (1) การแบ่งส่วนของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่มีขนาดต่างกัน โดยแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเป็นแบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม (Quadrilateral Element) ที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อ
- (2) การป้อนข้อมูลที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องการ ประกอบด้วย
 - จำนวนของชิ้นส่วนย่อย
 - จำนวนของจุดต่อ
 - ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วน
 - พิกัดของตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ
 - จำนวนของชิ้นส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต
 - อุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่อต่างๆ และเงื่อนไขขอบเขตที่รู้ค่า
 - สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการเชิงอนุพันธ์
 - จำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา
- (3) คำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ ของการถ่ายโอนความร้อน
- (4) นำเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ มารวมกันเป็นสมการรวมของระบบ
- (5) แทนค่าอุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่อต่างๆ และเงื่อนไขขอบเขตลงในสมการรวมของระบบ
- (6) ทำการแก้สมการรวมของระบบ โดยใช้วิธีกาลเลอรืคิน
- (7) ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลจากการวิจัย

4. ผลของการวิจัย

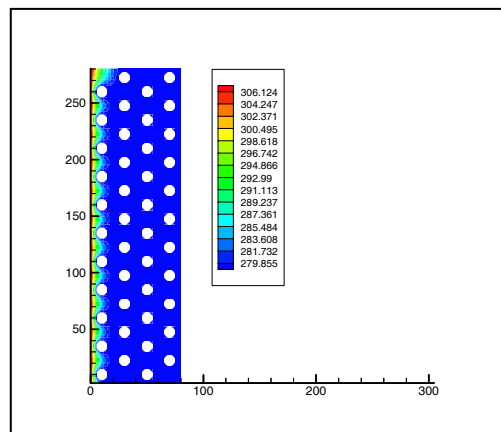
การวิจัยเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองออกเป็นจำนวน 24 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองโดยรอบ โดยที่ตำแหน่งทางเข้าเป็นการให้ความร้อนแบบคงที่ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C , 40°C และ 45°C ตามลำดับ ส่วนผนังโดยรอบไม่มีการสูญเสียความร้อนสำหรับเงื่อนไขขอบเขตภายในแบบจำลองจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ภายในแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 30°C เมื่อเวลาผ่านไปการกำหนดเงื่อนไขภายในแบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือกำหนดอุณหภูมิที่ขอบขดท่อทำความเย็นคงที่มีค่าเท่ากับ 5°C กับกำหนดค่าปริมาณความร้อนออกที่ขอบขดท่อทำ

สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

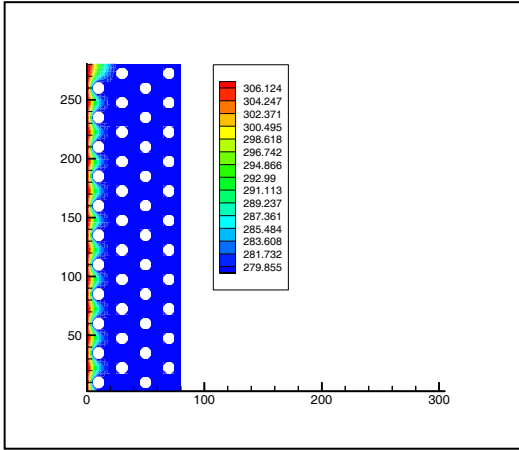
ความเย็น 3000 W/m จากนั้นกำหนดจำนวนเวลาทั้งหมดที่ทำการพิจารณา แต่เนื่องจากการแบ่งลักษณะเอลิเมนต์ดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นในการทดสอบจะทำการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์เพิ่มเป็น 2382 เอลิเมนต์ ที่ประกอบด้วยจุดต่อ 2735 จุดต่อ โดยทำการพิจารณาแบบต่างๆ ดังนี้ แบบที่ 1 ทำการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ขอบของขดท่อทำความเย็นคงที่ 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

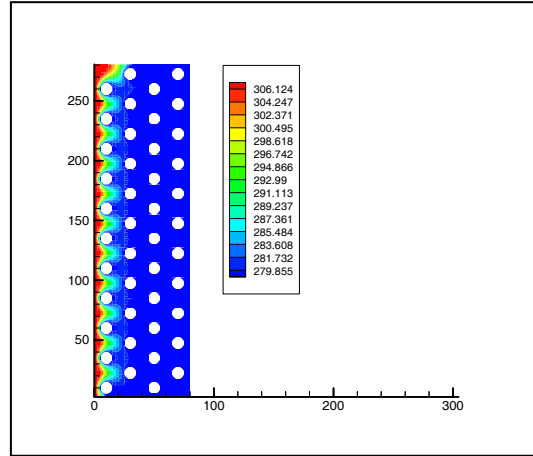
จากการให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองขดท่อทำความเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ 35°C , 40°C และ 45°C จะพบว่า ที่บริเวณขอบ (ตำแหน่งทางเข้า) ของแบบจำลอง ค่าของอุณหภูมิบริเวณดังกล่าวจะมีค่าสูงที่สุด (ตามเงื่อนไขที่กำหนด) และค่าของอุณหภูมิจะมีค่าลดลงตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองขดท่อทำความเย็นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ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



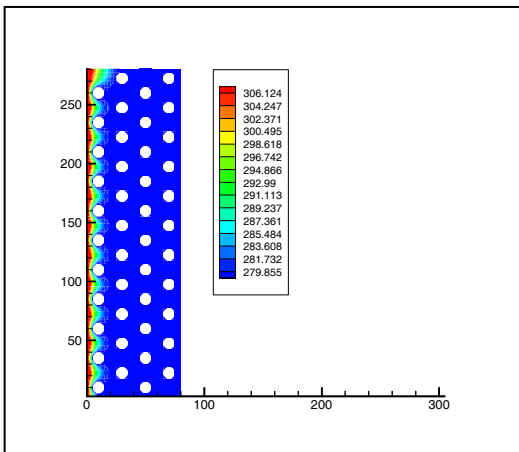
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลองขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 35°C เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



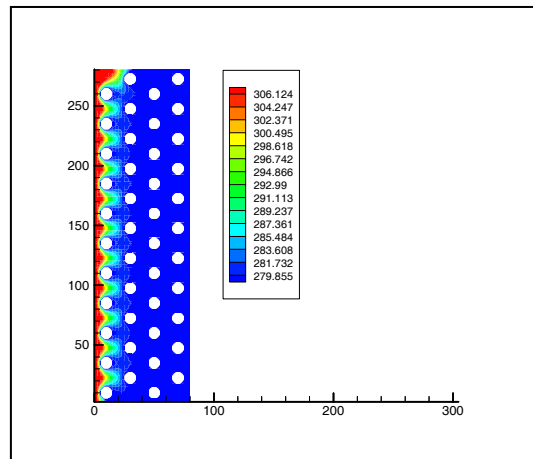
ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 40 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



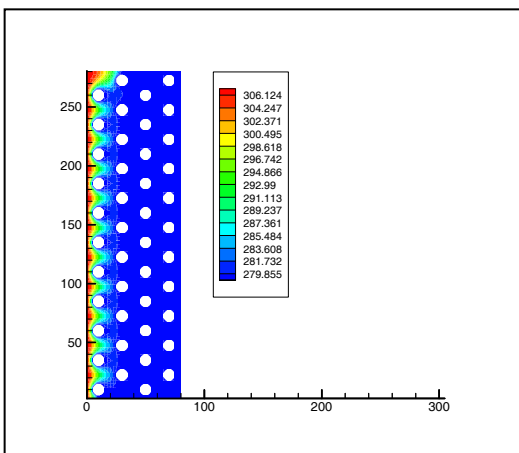
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 40 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



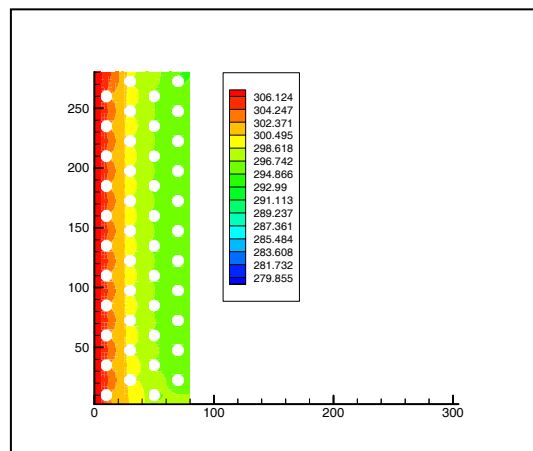
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 45 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



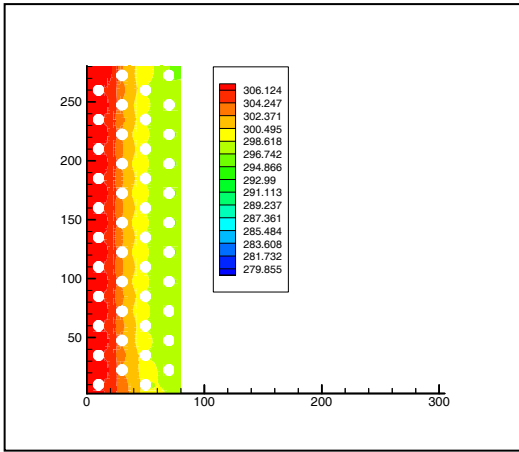
ภาพที่ 8 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 45 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



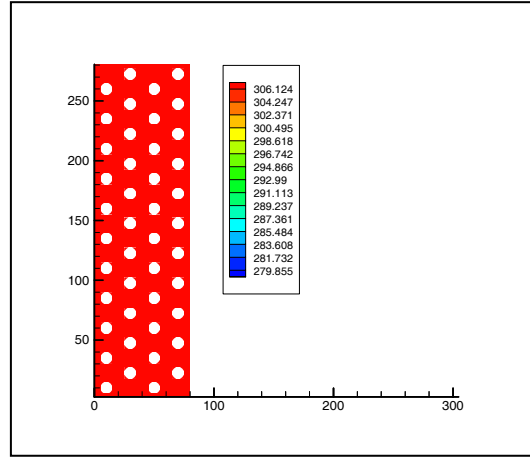
ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 35 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



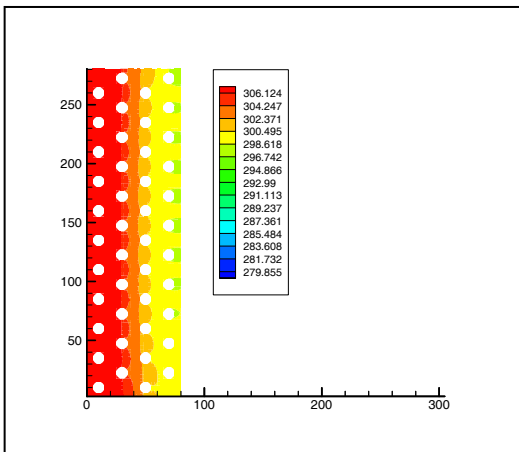
ภาพที่ 9 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
 ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 35 °C
 เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



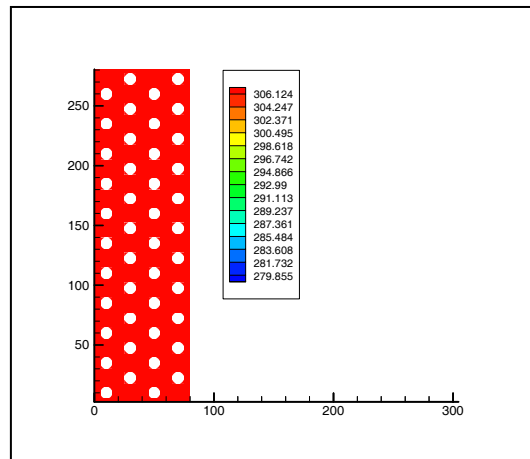
ภาพที่ 10 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 40 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที



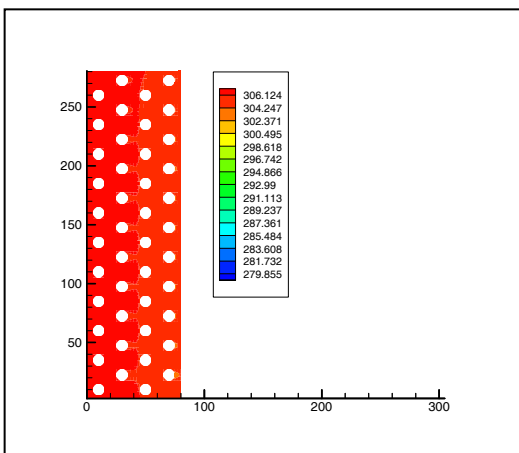
ภาพที่ 13 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในแบบจำลอง
ขดท่อทำความเย็นแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 40 °C
เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



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



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



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

สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองที่อุณหภูมิต่างๆ 35 °C, 40 °C และ 45 °C ตามลำดับ จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้น จะมีลักษณะการลดลงสู่สภาวะอิมิตวั้นนั้นคือ ค่าของอุณหภูมิที่บริเวณขอบขดท่อทำความเย็นจะมีค่าลดลงตามลำดับและมีอัตราการลดลงอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไปค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่ หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลอง จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากผลการทดสอบการคำนวณแบบที่ 1 กับแบบที่ 2 จะพบว่าเมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองที่อุณหภูมิ 35 °C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 0.40 % ที่อุณหภูมิ 40 °C ค่าอุณหภูมิ

ตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 0.45 % และที่อุณหภูมิ 45 °C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 0.51 % และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากผลการทดสอบการคำนวณแบบที่ 3 กับแบบที่ 4 จะพบว่าเมื่อให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลองที่อุณหภูมิ 35 °C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 3.26 % ที่อุณหภูมิ 40 °C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 3.72 % และที่อุณหภูมิ 45 °C ค่าอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ที่คำนวณได้แตกต่างกัน 4.18 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่มาใช้ในการคำนวณนั้นมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะหากว่าค่าของอุณหภูมิหรืออัตราการถ่ายโอนความร้อนไม่ถูกต้องแล้วจะส่งผลทำให้ค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้มีความผิดพลาดตามไปด้วย โดยตัวแปรต่างๆ (Parameters) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเขตท่อทำความเย็น สามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ความพรุนของวัสดุ
- (2) ค่าความหนาแน่นของอากาศและเขตท่อทำความเย็น
- (3) ค่าความจุความร้อนของอากาศและเขตท่อทำความเย็น
- (4) ค่าการนำความร้อนของอากาศและเขตท่อทำความเย็น
- (5) ค่าความเร็วของอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) ทำการศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอากาศ เนื่องมาจากการที่อากาศสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อให้ผลของคำตอบแม่นยำยิ่งขึ้น
- (2) ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของมวลความชื้นว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากน้อยเพียงใด
- (3) ทำการศึกษารายละเอียดของอัตราการถ่ายโอนความร้อนแบบไม่เชิงเส้นภายใต้สถานะชั่วคราว เพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการเปรียบเทียบกับงานวิจัย เพื่อหาผลสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด
- (4) ทำการหาค่าเฉลยของการถ่ายโอนความร้อนภายในเขตท่อทำความเย็นด้วยวิธีการอื่น เพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการเปรียบเทียบกับงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. ปราโมทย์ เตชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
2. มนตรี พิรุณเกษร, 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.