

การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในแพ่งท่อให้ความร้อน โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Simulation of Heat Transfer in Heating Tube Bundle with Finite Element Method

สมจินต์ พ่วงเจริญชัย^{1*}

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอการคำนวณเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแบบจำลองของแพ่งท่อให้ความร้อนขนาด 80x282.5x350 มิลลิเมตร โดยลักษณะของกลุ่มท่อภายในจัดวางเรียงแบบแนวเหลื่อมกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแก่แบบจำลองนั้น กำหนดให้อุณหภูมิที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 20°C, 25°C 30°C และ 35°C ตามลำดับ ส่วนภายในแบบจำลองกำหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนคงที่ไว้ที่ 50°C, 60°C, 70°C และ 80°C ตามลำดับ ส่วนผนังหุ้มฉนวนโดยรอบ (ไม่มีการสูญเสียความร้อน) จากผลการวิจัยจะพบว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากมีผลทำให้เกรเดียนต์ของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะอิ่มตัว นั่นคือ ค่าของอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มตามลำดับและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไปค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่ หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Abstract

This research presented the simulation of heat transfer in heating tube bundle with finite element method for finding the temperature distribution inside heating tube bundle model at various positions with the dimension of 80x282.5x350 mm. The inside tubes group was in stagger arrangement with 10 mm. diameter. The model conditions were determining the entrance temperature at 20°C, 25°C, 30°C and 35°C, determining the outside surface temperature of heating tube bundle at 50°C, 60°C, 70°C and 80°C, the wall around the model was covered with insulation (to prevent heat loss). It was found that the different level of temperature led to increase gradient temperature, and the changing of temperature become saturated that is the temperature was consistently rising. After that the temperature at each position in the heating tube bundle model became constant. Then no matter how long it took, the temperature at each joint inside the model would no longer change.

คำสำคัญ : แพ่งท่อให้ความร้อน การจำลองการถ่ายโอนความร้อน ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Keywords : Heating Tube Bundle, Simulation of Heat Transfer, Finite Element Method

* ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ somjin_nbk@hotmail.com โทร. 081-915-3553

1. บทนำ

กระบวนการปรับอากาศเป็นการควบคุมสภาวะของอากาศให้เหมาะสมกับสภาพต่าง ๆ ในส่วนของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดนั้น ส่วนใหญ่มักใช้แผงท่อให้ความร้อนเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มอุณหภูมิดังนั้น ในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนควรศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อ ให้ความร้อนก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบที่เหมาะสม โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนสามารถอธิบายได้ในทางกายภาพ (Physical) แล้วหาออกมาในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) และจากสมการเชิงอนุพันธ์สามารถนำไปหาค่าผลเฉลย (Solution) ตามที่ต้องการได้ โดยวิธีในการหาค่าผลเฉลยนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น หาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) หาค่าผลเฉลยโดยประมาณวิธีผลต่าง (Finite Different Method) หรือหาค่าผลเฉลยโดยประมาณวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ การหาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์นั้น จะกระทำได้ยุ่งยากกว่า 2 วิธีที่กล่าวแล้ว ส่วนการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณวิธีผลต่างสลับเนื่องนั้นจะมีข้อดีตรงที่ง่ายต่อการศึกษา และการทำความเข้าใจ รวมไปถึงความสะดวกในการเขียนโปรแกรม แต่จะไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพราะมีปัญหาในกรณีที่รูปร่างซับซ้อน จากปัญหาดังกล่าวนี้องค์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงเป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณที่เหมาะสมกับปัญหาดังกล่าว การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการเขียนโปรแกรมหาค่า

ผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิภายในแผงท่อให้ความร้อนแบบเชิงเส้นในสถานะชั่วคราว (Linear Transient Heat Transfer) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนที่มีคุณภาพดีในขณะเดียวกันสามารถนำไปโปรแกรมไปใช้กับการออกแบบงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้

2. วิธีการศึกษา

ในการวิจัยได้ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน โดยการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ กำหนดให้แบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ที่มีขนาดต่างกันแล้วทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ อันประกอบด้วยจำนวนของชิ้นส่วนย่อย จำนวนของจุดต่อ ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วน พิกัดตำแหน่งของจุดต่อต่าง ๆ จำนวนของชิ้นส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต และจำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา จากนั้นคอมพิวเตอร์จะคำนวณผลลัพธ์ที่ได้แล้วจึงทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงท่อให้ความร้อนได้จากสมการการอนุรักษ์พลังงานในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate System) ได้แก่

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \rho c \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \dot{q} \quad (1)$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

c คือ ความจุความร้อน (kJ/kg.K)

k คือ สภาพการนำความร้อน (W/m.K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$\dot{q}$ คือ ปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นเอง (W/m³)

2.2 การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาคานความร้อน

สำหรับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อปัญหา คานความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

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

โดยเมตริกซ์และโหลดเวกเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

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

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

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

$$[K_v] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j \rho c \{N(\xi_i, \eta_j)\} \{N(\xi_i, \eta_j)\}^T [B(\xi_i, \eta_j)] \{j(\xi_i, \eta_j)\} \quad (6)$$

$$\{Q_o\} = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} w_i w_j \dot{q} \{N(\xi_i, \eta_j)\} \{N(\xi_i, \eta_j)\}^T \{j(\xi_i, \eta_j)\} \quad (7)$$

$$\{Q_h\} = \sum_{j=1}^{NG} w_j h T_\infty \{N(\xi, \eta_j)\} \{N(\xi, \eta_j)\}^T \{j(\xi, \eta_j)\} \quad (8)$$

โดยที่

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m².K)

T_∞ คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของไหลโดยรอบ (K)

2.3 สมมติฐานที่ใช้ในการจำลองมีดังนี้

1. ไม่มีการสูญเสียความร้อนระหว่างแผงท่อ ให้ความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ผนังหุ้มฉนวนโดยรอบ (Adiabatic Wall)

2. พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา

3. สมการในการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเป็นสมการการอนุรักษ์พลังงาน

4. พิจารณาสมบัติของอากาศมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา

5. ไม่พิจารณาการพาความร้อนโดยอิสระ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงลอยตัวที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น

6. ไม่พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงมวลความชื้นของอากาศ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

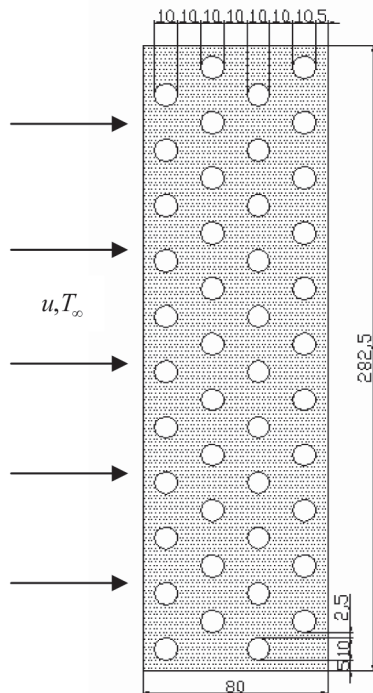
7. ไม่พิจารณาผลของการพาความร้อนของของไหลภายในท่อ

2.4 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองของแผงท่อให้ความร้อนสำหรับการวิจัยนั้น ได้ทำการจำลองแบบมาจากชุดทดสอบแผงท่อให้ความร้อนขนาด 80x282.5x350 mm. โดยลักษณะการจัดวางของกลุ่มท่อภายในเรียงแบบแนวเหลื่อมกันเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 44 ท่อ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้น จากแบบจำลองของแผงท่อให้ความร้อน สามารถแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อยจำนวน 24 ชิ้นส่วน ที่ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของเทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 2

2.5 เงื่อนไขขอบเขตแบบจำลอง

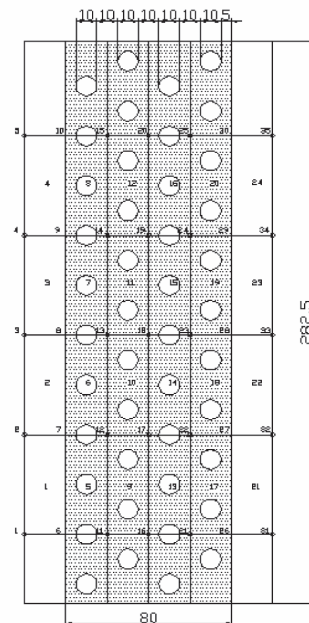
จากลักษณะของแบบจำลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขขอบเขตของอุณหภูมิที่ทางเข้า (T_{∞}) ของแบบจำลองแผงท่อเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ ส่วนบริเวณโดยรอบของแบบจำลอง (ด้านบนและด้านล่างหุ้มฉนวนโดยรอบและกรณีปัญหาที่ขึ้นกับเวลาจำเป็นต้องทราบค่าเงื่อนไขเบื้องต้น (Initial Condition) โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ภายในแบบจำลองเมื่อเวลาผ่านไปการกำหนดเงื่อนไขภายในแบบจำลองจะกำหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของท่อให้ความร้อนมีค่าคงที่



รูปที่ 1 ลักษณะแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากลักษณะของแบบจำลองที่แบ่งจำนวนเอลิเมนต์เป็นจำนวน 24 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ แต่เนื่องจากเอลิเมนต์ดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกำหนดเงื่อนไขที่บริเวณผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนภายในแบบจำลองได้ ดังนั้น จึงทำการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์เพิ่มเป็น 1630 เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยจุดต่อ 1975 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองโดยรอบ โดยกำหนดอุณหภูมิทางเข้า ไว้ที่ 20°C , 25°C , 30°C และ 35°C ตามลำดับ ส่วนภายในแบบจำลองกำหนดอุณหภูมิผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนคงที่ไว้ที่ 50°C , 60°C , 70°C และ 80°C ตามลำดับ และอุณหภูมิเริ่มต้นภายในแบบจำลองไว้ที่ 20°C , 25°C , 30°C และ 35°C ตามอุณหภูมิที่ทางเข้า จากนั้นกำหนดจำนวนเวลาทั้งหมดที่ทำการพิจารณา



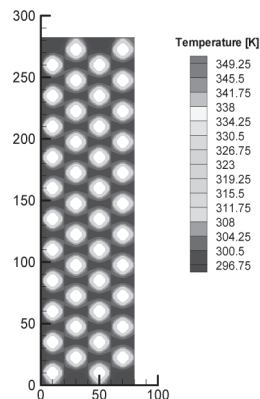
รูปที่ 2 ลักษณะเอลิเมนต์ของแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน

จากผลการวิจัยกรณีต่าง ๆ จะพบว่า
เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของ
การไหลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น
ดังตารางที่ 1

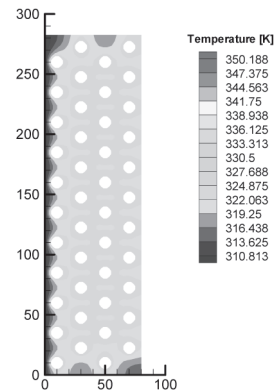
ตารางที่ 1 เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทาง
ของการไหล (K/m)

อุณหภูมิ อากาศ ทางเข้า	อุณหภูมิที่ผิวแผงท่อให้ความร้อน			
	50°C	60°C	70°C	80°C
20°C	82.94	110.59	138.23	165.88
25°C	69.11	96.76	124.41	152.06
30°C	55.29	82.94	110.59	138.23
35°C	41.47	69.11	96.76	124.41

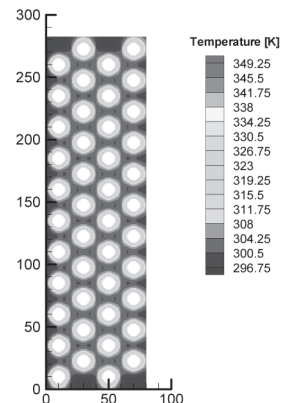
ทั้งนี้เพื่อประกอบการศึกษาจึงได้แสดงให้เห็น ดังรูปที่ 3-10



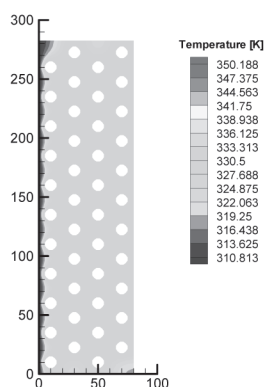
รูปที่ 3 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบ
จำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของ
แผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และ
อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C
ขณะที่เวลาผ่านไป 1 วินาที



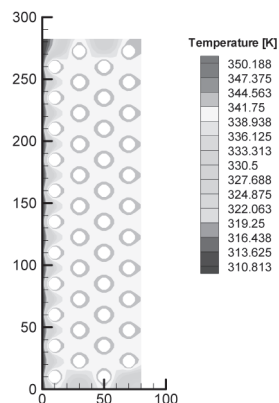
รูปที่ 4 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบ
จำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของ
แผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และ
อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C
ขณะที่เวลาผ่านไป 5 วินาที



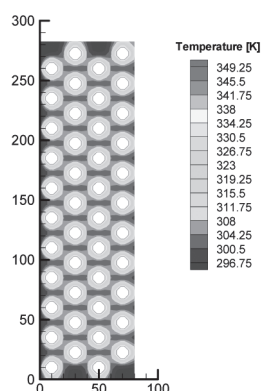
รูปที่ 5 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบ
จำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของ
แผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C และ
อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C
ขณะที่เวลาผ่านไป 1 วินาที



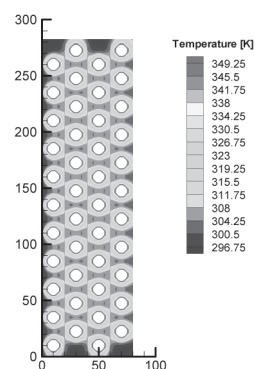
รูปที่ 6 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C ขณะที่เวลาผ่านไป 5 วินาที



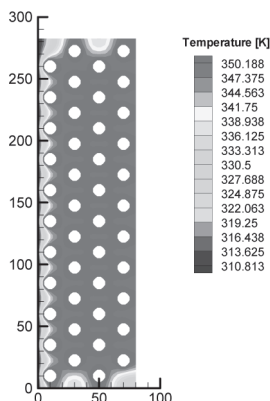
รูปที่ 8 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C ขณะที่เวลาผ่านไป 5 วินาที



รูปที่ 7 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C ขณะที่เวลาผ่านไป 1 วินาที



รูปที่ 9 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C ขณะที่เวลาผ่านไป 1 วินาที



รูปที่ 10 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C ขณะที่เวลาผ่านไป 5 วินาที

4. สรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 62.20 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 89.85 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 70°C เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหล มีค่าเท่ากับ 117.49 K/m และกรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 80°C เกรเดียนต์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 145.14 K/m ดังนั้น จะพบว่า ที่อุณหภูมิแตกต่างกันมาก ผลเกรเดียนต์ของอุณหภูมิมิมีค่าสูงชันและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบ

จำลองนั้นก็มีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะอิ่มตัว นั่นคือค่าของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกของแผงท่อให้ความร้อนจะมีค่าเพิ่มตามลำดับและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไปค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลง จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. พิจารณาศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอากาศ เนื่องจากการที่อากาศสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อให้ผลของคำตอบแม่นยำยิ่งขึ้น
2. พิจารณาศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงมวลความชื้นของอากาศว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากน้อยเพียงใด
3. พิจารณาศึกษาการถ่ายโอนความร้อนแบบไม่เชิงเส้นภายใต้สถานะชั่วคราว เพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการเปรียบเทียบกับงานวิจัย เพื่อหาผลสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้นั้นต่างกันเพียงใด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2537. **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bejan, A. 1995. **Convection Heat Transfer**, Second Edition, Singapore, John Wiley, pp. 523-525.

Incropera, F.P. and Dewitt, D.P. 2002. **Introduction to Heat Transfer**, Fourth Edition, United States of America, John Wiley & Sons Inc.

McQuiston, F.C. and Parker, J.D. 1994. **Heating Ventilating and Air Conditioning**, Fourth Edition, United States of America, John Wiley & Sons Inc.

Stroecker, W.F. and Jones, J.W. 1982. **Refrigeration & Air Conditioning**, Second Edition, Singapore, McGraw-Hill Inc.