

การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน
โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Simulation of Heat Transfer in Heating Tube Bundle With Finite Element Method

สมจินต์ พ่วงเจริญชัย¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เสนอการคำนวณเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองของแผงท่อให้ความร้อน โดยแบบจำลองสำหรับการวิจัยได้จำลองแบบมาจากชุดทดสอบแผงท่อให้ความร้อนขนาด 80x282.5x350 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะของกลุ่มท่อภายในจัดวางเรียงแบบแนวเหลื่อมกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่ต้องการ สำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแก่แบบจำลองนั้น กำหนดให้อุณหภูมิที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับ 20°C, 25°C 30°C และ 35°C ตามลำดับ ส่วนภายในแบบจำลองกำหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนคงที่ไว้ที่ 50°C, 60°C, 70°C และ 80°C ตามลำดับ ส่วนผนังหุ้มฉนวนโดยรอบ (ไม่มีการสูญเสียความร้อน) จากผลการวิจัยจะพบว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากมีผลทำให้เกรเดียนท์ของอุณหภูมิมียุคสูงขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะสมดุล นั่นคือค่าของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกของแผงท่อให้ความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไปค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่

คำสำคัญ : แผงท่อให้ความร้อน

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. This research was modeled from heating tube bundle set with the dimension of 80x282.5x350 mm. The inside tubes group was in stagger arrangement with 10 mm. diameter. After that the finite element program was used to investigate temperature profile in the tube group. The inlet temperature was set at 20, 25, 30 and 35 °C while the surface temperature of the tube bundle was 50, 60, 70 and 80 °C. In this model, the heat loss at side wall was neglected. From this research, it was found that the more temperature difference lead to an increase in temperature gradient and the change was continuous increased until it reached the equilibrium temperature. After that the temperature at each position in the heating tube bundle was constant.

Keywords : Heating tube bundle

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1. บทนำ

กระบวนการปรับอากาศเป็นการควบคุมสภาวะของอากาศให้เหมาะสมกับสภาพต่างๆ ในส่วนของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดนั้น ส่วนใหญ่มักใช้แผงท่อให้ความร้อน (Heating Tube Bundle) เป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มอุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนควรศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบที่เหมาะสม โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนสามารถอธิบายได้ในทางกายภาพ (Physical) แล้วหาออกมาในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) และจากสมการเชิงอนุพันธ์สามารถนำไปหาค่าผลเฉลย (Solution) ตามที่ต้องการได้โดยวิธีในการหาค่าผลเฉลยนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น หาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) หาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Different Method) หรือหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยการหาค่าผลเฉลยโดยวิธีการวิเคราะห์นั้นจะกระทำได้ยุ่งยากกว่าอีก 2 วิธี ส่วนการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณโดยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมนั้นจะมีข้อดีตรงที่ง่ายต่อการศึกษา และทำความเข้าใจและรวมไปถึงความสะดวกในการเขียนโปรแกรม แต่จะไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและมีปัญหามากในกรณีที่มีรูปร่างซับซ้อน และจากปัญหาดังกล่าวนี้เองวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณที่เหมาะสมกับปัญหาประเภทดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำการเขียนโปรแกรมหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิภายในแผงท่อให้ความร้อนแบบเชิงเส้นในสถานะชั่วคราว (Linear Transient Heat transfer) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น นอกจากนี้สามารถนำไปใช้กับการออกแบบงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้

2. วิธีการและขั้นตอนการวิจัย

ในการวิจัยได้ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน โดยทำการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ต้องการ โดยทำการแบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชั้นส่วนย่อยที่มีขนาดต่างกัน แล้วทำการป้อนข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วยจำนวนของชั้นส่วนย่อย จำนวนของจุดต่อ ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชั้นส่วน พิกัดของตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ จำนวนของชั้นส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต และจำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะคำนวณผลลัพธ์ที่ได้แล้วจึงทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงท่อให้ความร้อนได้จากสมการการอนุรักษ์พลังงานในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate System) [1] 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 คือความหนาแน่น (kg/m^3)

c คือความจุความร้อน (kJ/kg.K)

k คือสภาพการนำความร้อน (W/m.K)

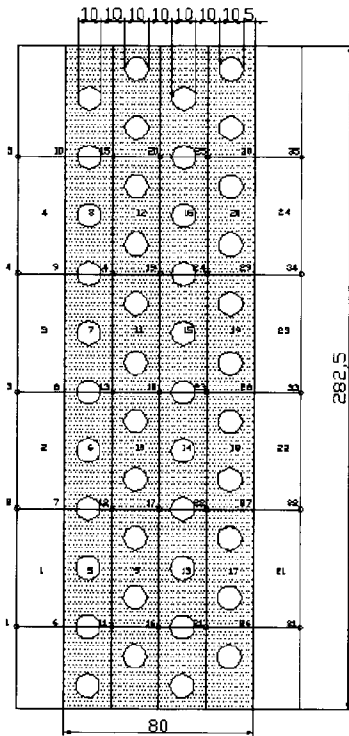
T คืออุณหภูมิ (K)

\dot{q} คือปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นเอง (W/m^3)

3.1 การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาด้านความร้อน

สำหรับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาด้านความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้ [4]

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



รูปที่ 2 แสดงลักษณะเอลิเมนต์ของแบบจำลองแพ่ง
ท่อให้ความร้อน

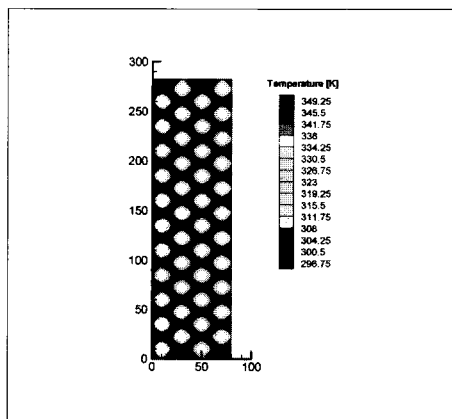
3.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลอง

จากลักษณะของแบบจำลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขขอบเขตของอุณหภูมิที่ทางเข้า (θ_{in}) ของแบบจำลองแพ่งท่อเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ ส่วนบริเวณโดยรอบของแบบจำลอง (ด้านบนและด้านล่าง) หุ้มฉนวนโดยรอบ (Adiabatic Wall) และกรณีปัญหาที่ขึ้นกับเวลาจำเป็นต้องทราบค่าเงื่อนไขเบื้องต้นก่อน (Initial Condition) โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial Temperature) ภายในแบบจำลอง เมื่อเวลาผ่านไปการกำหนดเงื่อนไขภายในแบบจำลองจะกำหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของท่อให้ความร้อนมีค่าคงที่

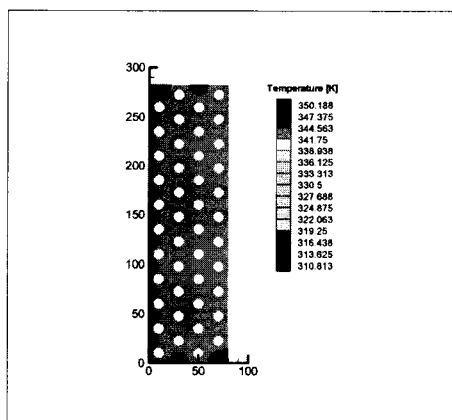
4. ผลและวิจารณ์ผลของการจำลอง

จากลักษณะของแบบจำลองที่แบ่งจำนวนเอลิเมนต์ เป็นจำนวน 24 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ แต่เนื่องจากเอลิเมนต์ดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกำหนดเงื่อนไขที่บริเวณผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนภายในแบบจำลองได้ ดังนั้นจึงทำการแบ่งจำนวน เอลิเมนต์เพิ่มเป็น 1630 เอลิเมนต์ ที่ประกอบด้วยจุดต่อ 1975 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองโดยรอบ โดยกำหนดอุณหภูมิที่ทางเข้าไว้ที่ 20°C, 25°C, 30°C และ 35°C ตามลำดับ ส่วนภายในแบบจำลองกำหนดอุณหภูมิที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนคงที่ไว้ที่ 50°C, 60°C, 70°C และ 80°C ตามลำดับ และอุณหภูมิเริ่มต้นภายในแบบจำลองไว้ที่ 20°C, 25°C, 30°C และ 35°C ตามอุณหภูมิที่ทางเข้า จากนั้นกำหนดจำนวนเวลาทั้งหมดที่ทำการพิจารณา ผลการจำลองกรณีต่างๆ จะพบว่ากรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 20°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 82.9 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 25°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 69.1 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 30°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 55.3 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 35°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 41.5 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 20°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 110.6 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 25°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ 96.8 K/m กรณีที่ผิวนอกของแพ่งท่อให้ความร้อน

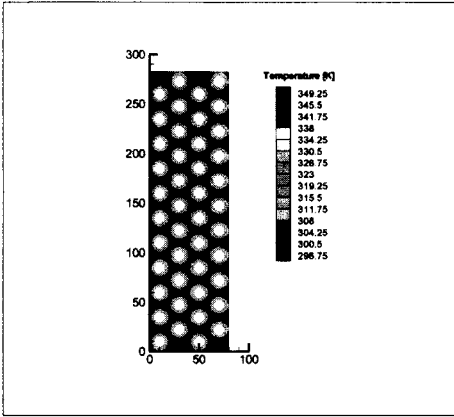
มีอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 30°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 82.9 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่า
 เท่ากับ 69.1 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 20°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 138.2 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 25°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่า
 เท่ากับ 124.4 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความ
 ร้อนมีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 30°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 110.6 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลมีค่าเท่า
 กับ 96.7 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 20°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 165.9 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 25°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 152.1 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 30°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหล มีค่าเท่ากับ
 138.2 K/m กรณีที่ผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อน
 มีอุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทางของการไหลมีค่าเท่ากับ
 124.4 K ดังนั้นจากผลของการจำลองจะเห็นว่าอุณหภูมิ
 ที่แตกต่างกันมากมีผลทำให้เกรเดียนท์ของอุณหภูมิมี่ค่าสูง
 ขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบ
 จำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะสมดุล



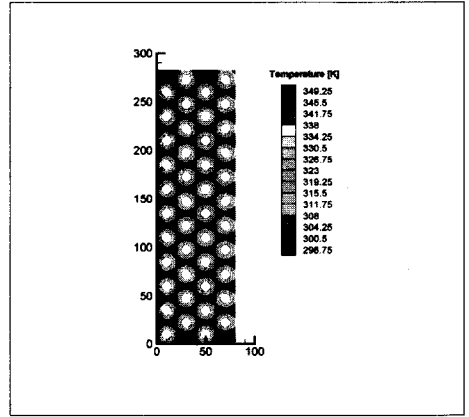
รูปที่ 3 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที



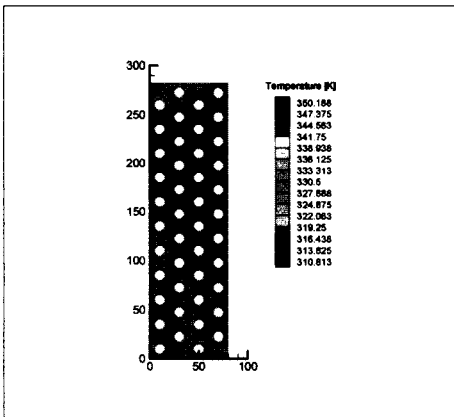
รูปที่ 4 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 50°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



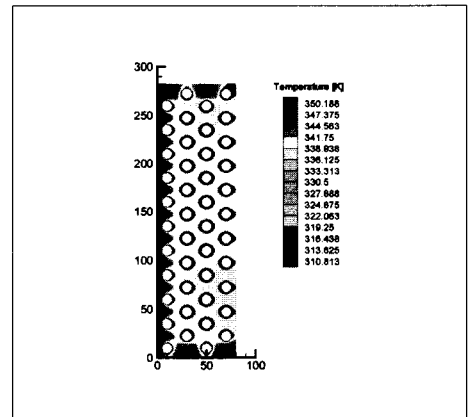
รูปที่ 5 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที



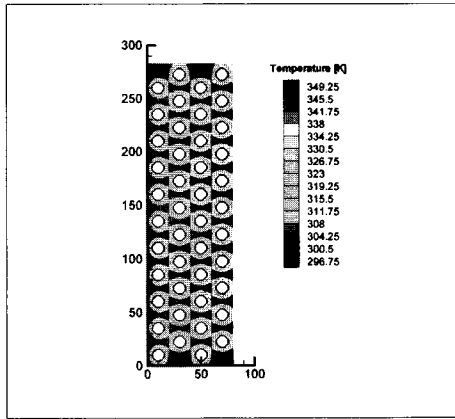
รูปที่ 7 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที



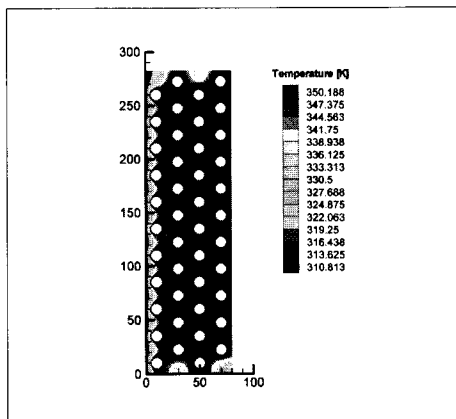
รูปที่ 6 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



รูปที่ 8 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง
 แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี
 อุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C
 เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที



รูปที่ 9 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี อุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 20°C เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที



รูปที่ 10 แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนภายในแบบจำลอง แผลงท่อให้ความร้อนเมื่อผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมี อุณหภูมิ 80°C และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า 35°C เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีผิวนอกของ แผลงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 50°C เกรเดียนท์ของ อุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางการไหลมีค่าเท่ากับ 62.2 K/m กรณีที่มีผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 60°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางการไหล มีค่า เท่ากับ 89.8 K/m กรณีที่มีผิวนอกของแผลงท่อให้ความร้อน มีอุณหภูมิ 70°C เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทาง ของการไหลมีค่าเท่ากับ 117.5 K/m และกรณีที่มีผิวนอก ของแผลงท่อให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 80°C เกรเดียนท์ ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางการไหลมีค่าเท่ากับ 145.1 K/m ดังนั้นจะพบว่าที่อุณหภูมิแตกต่างกันมากผล เกรเดียนท์ของอุณหภูมิมักมีค่าสูงขึ้นและลักษณะการเปลี่ยน แปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้น สู่ภาวะสมดุล นั่นคือ ค่าของอุณหภูมิที่บริเวณทางออก ของแผลงท่อให้ความร้อนจะมีค่าเพิ่มตามลำดับและมีอัตราการ เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไป ค่าของ อุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่ หลังจากนั้นไม่ ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตามค่าของอุณหภู มิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- (1) ทำการศึกษาการพาความร้อนแบบอิสระที่เกิด จากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอากาศ เนื่องมาจากการที่อากาศสัมผัสกับผิวของวัตถุที่ มีอุณหภูมิต่างกัน เพื่อให้ผลของคำตอบแม่นยำ ยิ่งขึ้น
- (2) ทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของมวลความ ชื้นของอากาศว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิมากน้อยเพียงใด
- (3) ทำการศึกษาการถ่ายโอนความร้อนแบบไม่เชิง เส้นภายใต้สถานะชั่วคราว เพื่อนำผลที่ได้มา ประกอบการเปรียบเทียบกับงานวิจัย เพื่อหาผล สรุปว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้นั้นมี ความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Bejan, "Convection Heat Transfer," Second Edition, Singapore, John Wiley, 1995., pp. 523-525.

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

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

[4] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537. หน้า 301.