



การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับควบคู่กับการแผ่รังสีความร้อนในอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ท่อในมีอุณหภูมิคงที่

Heat Transfer by Combined Forced Convection and Radiation in Double-pipe Heat Exchanger with Isothermal Inner Pipe

สมชาติ ฉันทศิริวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121 อีเมล์ somchart@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่จะให้ผลเฉลยที่ไม่ถูกต้องถ้าพิจารณาแต่เพียง การพาความร้อนแบบบังคับภายในอุปกรณ์ เพราะในความเป็นจริง มีการแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นด้วย บทความนี้นำเสนอ วิธีการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ท่อในมีอุณหภูมิคงที่และท่อนอกหุ้มฉนวน วิธีนี้ พิจารณาทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ของไหลในอุปกรณ์คือ อากาศที่ไม่มีส่วนร่วมกับการแลกเปลี่ยนรังสี ความร้อน พื้นผิวของท่อในและท่อนอกแบ่งเป็นชิ้นประกอบซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ ระบบสมการแลกเปลี่ยนรังสี ความร้อน พื้นผิวของท่อในและท่อนอกแบ่งเป็นชิ้นประกอบซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ ระบบสมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน ระหว่างพื้นผิวของชิ้นประกอบเหล่านี้และสมการสมดุลพลังงานของอากาศเป็นระบบสมการไม่เชิงเส้น ผลเฉลยที่ได้คือ การ กระจายอุณหภูมิอากาศและฟลักซ์ความร้อนที่จ่ายให้ท่อใน ผลเฉลยนี้แตกต่างกับผลเฉลยที่ได้จากการพิจารณาเพียงการ พาความร้อน แม้ว่าจะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้รวมสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนสามารถทำให้โพร ไฟล์อุณหภูมิถูกต้อง แต่ไม่ได้ทำให้โพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนถูกต้อง **คำหลัก**: อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน, ไม่เชิงเส้น

Abstract

The analysis of double-pipe heat exchanger may yield incorrect results if only forced convection is considered as the only mode of heat transfer. In fact, there is also heat transfer by thermal radiation. This article presents a method of analyzing the operation of double-pipe heat exchanger in which the inner pipe is isothermal and the outer pipe is insulated. This method incorporates both forced convection and thermal radiation. The fluid is air that is transparent to radiation. The surfaces of the inner and outer pipes are divided into small elements that have uniform temperatures. The system of equations of radiative exchange, along with energy balance equations of air, is nonlinear. Solution consists of air temperature distribution and the distribution of heat flux supplied to the inner pipe. This solution differs from the solution obtained under the assumption that there is only forced convection. Adjustment of the overall heat transfer coefficient may yield the correct air temperature profile, but not the correct heat flux profile.

Keywords: Heat exchanger, Thermal radiation, Nonlinear

1. บทนำ

การวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ ร้อน (heat exchanger) ส่วนใหญ่มักสมมุติว่า รูปแบบ หลักของการถ่ายเทความร้อนมีเพียงการพาความร้อน (convection) สมมุติฐานนี้ใกล้เคียงความจริงถ้าของไหล ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นของเหลวหรือ



CST-40

อุณหภูมิในอุปกรณ์ไม่สูงมากนักซึ่งทำให้การแผ่รังสีความ ร้อน (thermal radiation) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการ พาความร้อน แต่สมมุติฐานนี้ไม่ถูกต้องถ้าของไหลเป็น ก๊าซและอุณหภูมิในอุปกรณ์มีค่าสูง ในกรณีนี้การวิเคราะห์ ควรพิจารณาทั้งการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความ ร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

ตัวอย่างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการพา ความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในสัดส่วนที่ใกล้เคียง ้กันคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ (doublepipe heat exchanger) ที่ท่อในมีของไหลกำลังควบแน่นที่ ้อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับท่อนอก โดยที่มีก๊าซอุณหภูมิต่ำ ใหลระหว่างท่อในกับท่อนอก การวิเคราะห์อุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนนี้โดยพิจารณาเพียงการพาความ ร้อนอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากอุณหภูมิที่ แตกต่างกันมากระหว่างท่อในกับท่อนอกทำให้มีการแผ่ ้รังสีความร้อนในปริมาณที่ไม่อาจมองข้ามได้ การแผ่รังสี ความร้อนนี้จะส่งผลให้ก๊าซที่ไหลออกจากอุปกรณ์การ แลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิมากกว่าค่าที่ได้ถ้าคำนวณ โดยสมมุติว่ามีแต่เพียงการพาความร้อนเท่านั้น ถึงแม้ว่า อาจมีการทำให้คำนวณมีความแม่นยำขึ้นโดยการ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อนรวม (overall heat transfer coefficient) ให้รวมค่าสัมประสิทธิ์การถ่าย ความร้อนจากการแผ่รังสี (radiation heat transfer coefficient) แต่ก็ยังไม่ความชัดเจนว่าแนวทางนี้จะให้ผล การคำนวณที่แม่นยำเพียงใด

เท่าที่ผ่านมาได้มีความสนใจศึกษาการถ่ายเทความ ร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับควบคู่กับการแผ่รังสี ความร้อนในท่อหน้าตัดวงกลม [1,2] ในท่อหน้าตัดไม่ วงกลม [3] ในช่องว่างระหว่างแผ่นระนาบที่ขนานกันสอง แผ่น [4,5] ในท่อสี่เหลี่ยมที่มีแท่งทรงกระบอกอยู่ภายใน [6] ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา ความร้อนแบบบังคับควบคู่กับการแผ่รังสีความร้อนในก๊าซ ที่ไหลในช่องว่างระหว่างท่อนอกและท่อในที่มีจุด ศูนย์กลางเดียวกัน

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การทำงานของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ท่อในมีอุณหภูมิ ดงที่โดยพิจารณาทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความ ร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้มาจากสหสัมพันธ์ (correlation) ที่ได้รับการยอมรับความมีความแม่นยำ การ วิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนใช้วิธีแบ่งท่อนอกให้เป็นชิ้น ประกอบย่อยๆ ที่มีอุณหภูมิคงที่ และแก้ระบบสมการไม่ เชิงเส้นเพื่อหาค่าการกระจายอุณหภูมิก๊าซและท่อตาม ความยาวของท่อ

2. แบบจำลองคณิตศาสตร์

รูปที่ 1 แสดงภาพตัดขวางของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนแบบท่อคู่ L คือความยาวของอุปกรณ์ r, และ r_o คือรัศมีของท่อในและท่อนอกตามลำดับ ท่อในมีอุณหภูมิ คงที่เท่ากับ T, ท่อนอกหุ้มฉนวนด้านนอก อุณหภูมิของท่อ นอก T_o(x) เป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง ก๊าซไหลเข้าอุปกรณ์ ที่อุณหภูมิ T_{ro}







รูปที่ 2 ชิ้นประกอบที่ j ของท่อในและท่อนอก

เพื่อการคำนวณเชิงตัวเลข ท่อในและท่อนอกถูก แบ่งเป็นชิ้นประกอบ n ชิ้น แต่ละชิ้นมีอุณหภูมิคงที่ รูปที่ 2 แสดงชิ้นประกอบที่ j ของท่อในและท่อนอก ท่อในมี อุณหภูมิ T_i ท่อนอกมีอุณหภูมิ T_{o,j} ก๊าซไหลเข้าชิ้น ประกอบที่อุณหภูมิ T_{f,j-1} และไหลออกที่อุณหภูมิ T_{f,j} สมการสมดุลพลังงานของก๊าซคือ

$$C(T_{f,j} - T_{f,j-1}) = hP_i \Delta x \left[T_i - \frac{1}{2} (T_{f,j-1} + T_{f,j}) \right]$$

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 Mathematics 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา

CST-40

$$+hP_{o}\Delta x \left[T_{o,j} - \frac{1}{2} \left(T_{f,j-1} + T_{f,j}\right)\right]$$
 (1)

โดยที่ C คืออัตราความจุความร้อน (heat capacity rate) ซึ่งเป็นผลดูณของอัตราการไหลกับค่าความจุความร้อน จำเพาะ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน P_i และ P_o คือ ความยาวเส้นรอบรูป (perimeter) ของท่อในและท่อนอก ตามลำดับ

พื้นผิวที่แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการแผ่รังสีมี จำนวน 2n + 2 พื้นผิว กำหนดดัชนีตั้งแต่ 1 ถึง 2n + 2 เริ่มจากพื้นผิวของท่อใน n พื้นผิว พื้นผิวของท่อนอก n พื้นผิวของท่อนอก พื้นผิวที่ปลายด้านซ้ายท่อ และพื้นผิวที่ ปลายด้านขวาท่อ กำหนดให้พื้นผิวทั้งหมดเป็นพื้นผิวของ วัตถุดำ (black body) ซึ่งมีค่าการเปล่ง (emissivity) เท่ากับ 1 สมการการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่าง พื้นผิวเป็นดังนี้ [7]

$$q_{j} + h \left[\frac{1}{2} \left(T_{f,j-1} + T_{f,j} \right) - T_{i} \right] = \sigma T_{i}^{4} - \sigma \sum_{k=1}^{n+2} F_{j,n+k} T_{o,k}^{4}$$
(2)

$$h\left[\frac{1}{2}\left(T_{f,j-1}+T_{f,j}\right)-T_{o,j}\right] = \sigma T_{o,j}^{4} - \sigma \sum_{k=1}^{n} F_{n+j,k} T_{i}^{4} - \sigma \sum_{k=1}^{n+2} F_{n+j,n+k} T_{o,k}^{4}$$
(3)

สำหรับ j = 1, 2, ..., n และ

$$0 = \sigma T_{o,n+j}^4 - \sigma \sum_{k=1}^n F_{n+j,k} T_i^4 - \sigma \sum_{k=1}^{n+2} F_{n+j,n+k} T_{o,k}^4$$
 (4)

สำหรับ j = n + 1 และ n + 2 ในสมการ (2) – (4) F_{j,k} หมายถึงวิวแฟกเตอร์ (view factor) จากพื้นผิว j ไป k ฟลักซ์ความร้อน q_j ในสมการ (2) เป็นฟลักซ์ความร้อนที่ จ่ายให้ชิ้นประกอบ j ของท่อในเพื่อให้มีอุณหภูมิคงที่ T_i ส่วน T_{o,n+1} และ T_{o,n+2} ในสมการ (2) – (4) หมายถึง อุณหภูมิของพื้นผิวที่ปลายด้านซ้ายและขวาของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งสมมุติว่าเป็นพื้นผิวของวัตถุดำ

3. วิวแฟกเตอร์

ในการแก้สมการ (1) – (4) จำเป็นต้องทราบค่าวิว แฟกเตอร์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรที่มีอยู่ใน เอกสารอ้างอิง Sparrow และคณะ [8] ให้สูตรการคำนวณ วิวแฟกเตอร์ระหว่างพื้นผิวนอกของท่อกับแผ่นวงแหวนที่ มีจุดศูนย์กลางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

$$F_{1,2} = \frac{B}{8RH} + \frac{1}{2\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{A}{B} \right) - \frac{1}{2\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{A}{B} \right) - \frac{1}{2\pi} \right\} \right\}$$

$$\frac{1}{2H} \left[\frac{(A+2)^2}{R^2} - 4 \right]^7 \cos^{-1} \left(\frac{AR}{B} \right) -\frac{A}{2RH} \sin^{-1} R \right]$$
(5)

โดยที่ R = r₁/r₂, H = h/r₂, A = H² + R² − 1 และ B = H² − R² + 1



รูปที่ 3 พื้นผิวนอกของท่อที่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความ ร้อนกับแผ่นวงแหวนที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกัน

Sparrow และคณะ [8] ให้สูตรการคำนวณวิวแฟก เตอร์ของพื้นผิวในของท่อนอกที่มีการแลกเปลี่ยนรังสี ความร้อนกันเองโดยมีท่อในที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกันดัง แสดงในรูปที่ 4 ดังนี้

$$F_{1,1} = \frac{1}{\pi R_2} \left\{ \pi (R_2 - R_1) + \cos^{-1} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) - \left(1 + 4R_2^2 \right)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\left[(1 + 4R_2^2) (R_2^2 - R_1^2) \right]^{1/2}}{R_1} + 2R_1 \tan^{-1} \left[2 (R_2^2 - R_1^2)^{1/2} \right] \right\}$$
(6)

โดยที่ R₁ = r₁/h และ R₂ = r₂/h



รูปที่ 4 พื้นผิวในของท่อนอกที่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความ ร้อนกันเองโดยมีท่อในที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกัน

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา



CST-40

Brockmann [9] ให้สูตรการคำนวณวิวแฟกเตอร์ ระหว่างพื้นผิวนอกของท่อในกับพื้นผิวในของท่อนอกที่มี จุดศูนย์กลางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนี้

$$F_{1,2} = \frac{1}{\pi R_1} \left\{ \frac{1}{2} \left(R_2^2 - R_1^2 - 1 \right) \cos^{-1} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) + \frac{\pi R_1 - \frac{\pi}{2} AB - 2R_1 \tan^{-1} \left(R_2^2 - R_1^2 \right)^{1/2} + \left[\left(1 + A^2 \right) \left(1 + B^2 \right) \right]^{1/2} \tan^{-1} \left[\frac{\left(1 + A^2 \right) B}{\left(1 + B^2 \right) A} \right]^{1/2} \right\}$$
(7)

โดยที่ R₁ = r₁/h, R₂ = r₂/h, A = R₂ + R₁ และ B = R₂ - R₁



รูปที่ 5 พื้นผิวนอกของท่อในที่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความ ร้อนกับพื้นผิวในของท่อนอกที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกัน

Brockmann [9] ให้สูตรการคำนวณวิวแฟกเตอร์ ระหว่างของพื้นผิวในของท่อนอกกับแผ่นวงแหวนระหว่าง ท่อนอกกับท่อในที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6 ดังนี้

$$F_{1,2} = \frac{1}{\pi} \left\{ R \left(\tan^{-1} \frac{X}{H} - \tan^{-1} \frac{2X}{H} \right) + \frac{H}{4} \left[\sin^{-1} \left(2R^2 - 1 \right) - \sin^{-1} R \right] + \frac{X^2}{4H} \left(\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} R \right) - \frac{\left[\left(1 + R^2 + H^2 \right)^2 - 4R^2 \right]^{1/2}}{4H} \left(\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} Y \right) + \frac{\left(4 + H^2 \right)^{1/2}}{4H} \left[\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} \left(1 - \frac{2R^2 H^2}{4X^2 + H^2} \right) \right] \right\}$$
(8)

โดยที่ H = h/r₂, X = $(1 - R^2)^{1/2}$, R = r₁/r₂ และ Y = R(1 - R² - H²) (1 - R² + H²)



รูปที่ 6 พื้นผิวในของท่อนอกที่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความ ร้อนกับแผ่นวงแหวนระหว่างท่อนอกกับท่อในที่มีจุด ศูนย์กลางเดียวกัน

Rea [10] ให้สูตรการคำนวณวิวแฟกเตอร์ระหว่าง พื้นผิวนอกของท่อในกับพื้นผิวในของท่อนอกที่มีจุด ศูนย์กลางเดียวกันแต่อยู่ตำแหน่งเยื้องกันดังแสดงในรูปที่ 7 ดังนี้

$$F_{1,2} = \frac{L+D}{L}f_{L+D} + \frac{Y+D}{L}f_{Y+D} - \frac{D}{L}f_D - \frac{L+D+Y}{L}f_{L+D+Y}$$
(9)

โดยที่

$$f_{\xi} = \frac{B_{\xi}}{8R\xi} + \frac{1}{2\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{A_{\xi}}{B_{\xi}} \right) - \frac{A_{\xi}}{2\xi R} \sin^{-1} R - \frac{1}{2\xi} \left[\frac{(A_{\xi} + 2)^2}{R^2} - 4 \right]^{1/2} \cos^{-1} \left(\frac{A_{\xi}R}{B_{\xi}} \right) \right\} (10)$$

$$\begin{split} & \text{ling } D = d/r_2, \ Y = y/r_2, \ L = l/r_2, \ R = r_1/r_2, \ A_\xi = \xi^2 + R^2 \\ & -1, \ B_\xi = \xi^2 - R^2 + 1 \end{split}$$



รูปที่ 7 พื้นผิวนอกของท่อในที่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความ ร้อนกับพื้นผิวในของท่อนอกที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกันแต่ อยู่ตำแหน่งเยื้องกัน

4. ผลและการวิจารณ์

กำหนดให้ r_i = 0.1 m, r_o = 0.2 m, L = 1 m, T_i = 400 K, T_{f,0} = 300 K ถ้ากำหนดความเร็วอากาศ (V) ที่



CST-40

ใหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน C สามารถคำนวณ ได้จาก

$$C = \rho V \pi \left(r_o^2 - r_i^2 \right) c_p$$
 (11)

และ h คำนวณจากสหสัมพันธ์ของการไหลภายในแบบ ปั่นป่วนโดย Gnielinsky [11]

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \left[1 + \left(\frac{D_h}{L}\right)^{2/3}\right]$$
(12)

$$f = (0.79 \ln \text{Re} - 1.64)^{-2}$$
 (13)

ความยาวลักษณะเฉพาะใน Nu และ Re คือ ความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter)

$$D_h = 2(r_o - r_i) \tag{14}$$

อุณหภูมิที่ใช้หาสมบัติของอากาศเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของ อากาศระหว่างทางเข้ากับทางออกจากอุปกรณ์



รูปที่ 8 โพรไฟล์อุณหภูมิอากาศเมื่อพิจารณาเพียงการพา ความร้อน (เส้นประ) เปรียบเทียบกับเมื่อพิจารณาการพา ความร้อนควบคู่กับการแผ่รังสีความร้อน (เส้นทึบ)

กำหนด V = 1 m/s รูปที่ 8 แสดงโพรไฟล์อุณหภูมิ อากาศในท่อที่ได้จากการแก้สมการ (1) – (4) โดย เปรียบเทียบกับโพรไฟล์อุณหภูมิอากาศในท่อในกรณีที่มี เพียงการพาความร้อน ผลเฉลยที่แสดงในรูปที่ 8 ได้จาก การใช้จำนวนซิ้นประกอบ n = 10 ถ้าใช้ซิ้นประกอบ จำนวนมากขึ้น ผลเฉลยก็เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นผล เฉลยนี้จึงมีสภาพลู่เข้า (convergence) แล้ว รูปที่ 9 เปรียบเทียบโพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนที่ท่อในกรณีที่มีการ พาความร้อนควบคู่กับการแผ่รังสีความร้อนและกรณีที่มี เพียงการพาความร้อนซึ่งคำนวณจาก

$$q = h \left(T_i - T_f \right) \tag{15}$$

รูปที่ 8 และ 9 แสดงให้เห็นว่า การสมมุติว่ามีเพียงการพา ความร้อนในท่อจะให้โพรไฟล์อุณหภูมิและฟลักซ์ความ ร้อนที่ต่ำกว่าการสมมุติว่ามีทั้งการพาความร้อนและการ แผ่รังสีความร้อนซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่า



รูปที่ 9 โพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนที่ท่อในเมื่อพิจารณาเพียง การพาความร้อน (เส้นประ) เปรียบเทียบกับเมื่อพิจารณา การพาความร้อนควบคู่กับการแผ่รังสีความร้อน (เส้นทึบ)

การวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ ร้อนนิยมใช้สมมุติฐานว่ามีเพียงการพาความร้อนเนื่องจาก การวิเคราะห์ที่พิจารณาทั้งการพาความร้อนและการแผ่ รังสีความร้อนมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก ดังนั้นถ้า สามารถปรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนให้สูงขึ้นและ ทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาแต่เพียงการพาความร้อนก็ อาจทำให้ผลที่ได้มีความแม่นยำเทียบเท่ากับการวิเคราะห์ ที่พิจารณาทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอาจมีการ เปลี่ยนแปลงด้วยสูตรต่อไปนี้

$$h' = h + h_r \tag{16}$$

โดยที่ h_r เป็นสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer coefficient)

$$h_r = \omega \sigma \left(T_i + T_{f,n/2} \right) \left(T_i^2 + T_{f,n/2}^2 \right)$$
(17)

T_{f,n/2} เป็นอุณหภูมิอากาศที่กลางท่อ และ ω เป็นแฟกเตอร์ แก้ (correction factor) รูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่า การ คำนวณโพรไฟล์อุณหภูมิอากาศที่สมมุติว่ามีเพียงการพา ความร้อนและใช้ h' แทนที่ h จะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ โพรไฟล์อุณหภูมิอากาศในท่อที่ได้จากการแก้สมการ (1) – (4) ถ้า ω มีค่าที่เหมาะสม ในกรณีนี้ ω มีค่าประมาณ 0.5 แต่ถ้ามีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของปัญหา ω จะมีค่า แตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่า วิธี นี้ไม่ได้ให้โพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนที่ถูกต้อง

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา

คำนวณจากสหสัมพันธ์ที่ได้รับการยอมรับว่ามีความ แม่นยำ ระบบสมการที่ใช้หาค่าการกระจายอุณหภูมิ อากาศและฟลักซ์ความร้อนที่ท่อในประกอบด้วยสมการ อนุรักษ์พลังงานของอากาศและสมการการแลกเปลี่ยนรังสี ความร้อนระหว่างชิ้นประกอบของท่อในและท่อนอกซึ่งแต่ ละชิ้นประกอบมีอุณหภูมิคงที่ ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ สมการในกรณีตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิอากาศ และฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้ถ้าสมมุติว่ามีเพียง การพาความร้อนในอุปกรณ์ การปรับค่าสัมประสิทธิ์การ พาความร้อนให้สูงขึ้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่พิจารณา เพียงการพาความร้อนมีความแม่นยำขึ้นทำให้โพรไฟล์ อุณหภูมิอากาศมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องแต่ไม่ได้ทำให้ โพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนถูกต้อง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Perlmutter, M. and Siegel, R. (1962). Heat transfer by combined forcedconvection and thermal radiation in a heated tube, *Journal of Heat Transfer*, vol. 84(4), pp. 301-311.

[2] Schuler, C. and Campo, A.. (1988). Numerical prediction of turbulent heat transfer in gas pipe flows subject to combined convection and radiation, *Internal Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 9(3), pp. 308-315.

[3] Yang, G., Ebadian, M.A. and Campo, A. (1991). Radiation convection in a thermally developing duct flow of noncircular cross section, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, vol. 5(2), pp. 224-231.

[4] Tsai, J.R. and Ozisik, M.N. (1989). Combined convection and radiation in participating laminar flow inside a parallel-plate duct with flux boundary conditions, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 16(6), pp. 861-874.

[5] Al-Amri, F.G. and El-Shaarawi, M.A.I. (2010). Combined forced convection and surface radiation between two parallel plates, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, vol. 20(2), pp. 218-239.



รูปที่ 10 โพรไฟล์อุณหภูมิอากาศเมื่อพิจารณาเพียงการ พาความร้อนและใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (เส้นประ) เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ผลรวมของค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ความร้อน (เส้นทึบ)



รูปที่ 11 โพรไฟล์ฟลักซ์ความร้อนที่ท่อในเมื่อพิจารณา เพียงการพาความร้อนและใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความ ร้อน (เส้นประ) เปรียบเทียบกับเมื่อใช้ผลรวมของค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ความร้อน (เส้นทึบ)

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การทำงานของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่โดยพิจารณาทั้ง การพาความร้อนแบบบังคับและการแผ่รังสีความร้อน ของ ไหลในท่อในมีการเปลี่ยนสถานะซึ่งทำให้ท่อในมีอุณหภูมิ คง ของไหลในช่องว่างระหว่างท่อนอกกับท่อในเป็น อากาศที่ไม่มีส่วนร่วมกับการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน ผิว ของท่อในและท่อนอกมีค่าการเปล่งเท่ากับ 1 สัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับท่อในและท่อนอก



CST-40

[6] Dong, Z.F., Ebadian, M.A. and Bigzadeh, E. (1993). Convective-radiative heat transfer in a square duct with a centered circular core, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 14(1), pp. 68-75.
[7] Siegel, R. and Howell, J.R. (1992). *Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd Ed.*, Hemisphere Publishing, Washington.

[8] Sparrow, E.M., Miller, G.B., and Jonsson, V.K. (1962). Radiative effectiveness of annular-finned space radiators, including mutual irradiation between radiator elements, *Journal of Aerospace Science*, vol. 29(11), pp. 1291-1299.

[9] Brockmann, H. (1994). Analytic angle factors for the radiant interchange among the surface elements of two concentric cylinders, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 37(7), pp. 1095-1100.

[10] Rea, S.N. (1975). Rapid method for determining concentric cylinder radiation view factors, *AIAA Journal*, vol. 13(8), pp. 1122-1123.

[11] Gnielinsky, V. (1990). Forced convection in ducts. In *Handbook of Heat Exchanger Design*, ed.Hewitt, G.F. Hemisphere Publishing, New York.