อิทธิพลของครีบที่มีผลต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Influence Fins Effect of Heat Exchanger

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์[1] และพงษ์เจต พรหมวงศ์[2]

Panuwat Hoonpong[1] and Pongjet Promvonge[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี E-Mail sompop2525@gmail.com

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง E-Mail kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส การทดลองนี้ใช้ค่าความเร็วสอดคล้องกับตัวเลขเรย์โนลดส์อยู่ในช่วงระหว่าง 4000 ถึง 25,000 มีมุมปะทะ(α=30°), ระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ (อัตราส่วนระยะพิตต์, P/H=PR=0.5, 1.0, 1.5 และ 2), ความสูงครีบต่อความสูงท่อ (อัตราส่วนการปิดกั้นการไหล e/H=BR=0.2) ผลการทดลองนี้ได้นำเสนอค่าอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนในรูปของนัสเซิลท์เรโชว์และค่าอัตราการสูญเสียความดันในรูปของอัตราส่วนของตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลองพบว่าการใส่ครีบจะให้ค่านัสเซิลท์เรโชว์และอัตราส่วนของตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีท่อผนังเรียบทุกกรณีศึกษา

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน เลขนัสเซิลท์ ตัวประกอบเสียดทาน ครีบ

Abstract

This work presents an experimental study on heat transfer and pressure loss characteristics in a square-duct. The experiments are carried out by varying the airflow rate in terms of Reynolds number based on the hydraulic diameter of the duct ranging from 4000 to 25,000. The ribs attack angle, (α=30°) was mounted in tandem, the ribs pitch to duct height ratio or pitch ratio (P/H=PR=0.5, 1.0, 1.5 and 2). The effect of three rib to duct height ratios or blockage ratio (e/H=BR=0.2) on heat transfer and pressure loss in the duct are investigated which presented in terms of Nusselt ratio friction ratio respectively. The experimental result reveals that the insertion of the angle-ribs provides considerably higher heat transfer and pressure loss values than the smooth duct for all cases.

Keywords: Heat Transfer, Nusselt Number, Friction Factor, Rib

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเข้ามามีบทบาทในสังคมมากขึ้น และมีนโยบายจากภาครัฐให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่าที่สุด โดยอุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ซึ่งการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรือช่วยลดการปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศโดยการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น จากการศึกษาพบว่าตัวแปรสำคัญสำหรับการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีสมรรถนะสูงขึ้นคือการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ให้สูงขึ้นในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นไม่สูงมาก สำหรับเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้อาศัยหลักการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากริบสามเหลี่ยมจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากมีการขัดขวางการไหลก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและเกิดการไหลแยกตัวจากริบไปกระแทกบริเวณพื้นผิวร้อนส่งผลให้เกิดทำลายชั้นความหนาระหว่างของอากาศกับผิวร้อนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นในบริเวณที่มีการตกกระทบนั้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

จิตกร กนกนัยการ และคณะ [1] ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนภายในช่องขนานจัตุรัสสอดด้วยแผ่นกั้นเอียง 45 องศา วางไขว้กัน โดยพิจารณาผลของตัวแปรความสูงครีบต่อความสูงท่อ (e/H=0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3) ภายใต้สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ในช่วงเลขเรย์โนลดส์ 4000-40,000

Promvonge [2] ได้รายงานถึงผลกระทบจากการใช้ลวดขดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อภายใต้ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับกรณีท่อที่ใช้ลวดขดหน้าตัดรูปวงกลม

Kwankaomeng และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 4,000- 25,000 สอดใส่ด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุม 45 องศา ในแนวเยื้อง ที่ด้านบน และด้านล่างของท่อ สัดส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ (PR) = 3 สัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 จากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นกั้น (e/H) = 0.4 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด นอกจากการใช้ใบบิดและลวดขดรูปแบบต่างๆซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนสำหรับการไหลภายไหลท่อกลมที่ได้รับความนิยมแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนในรูปแบบอื่นๆ

2. ทฤษฎีและหลักการ

เป็นการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number) และการสูญเสียความดันของพัดลม (Blower) ในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor) โดยมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

สมการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds numbe , Re)

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \qquad (1)$$

ค่าตัวเลขนัสเซิลล์ (Nusselt Number, Nu_D)

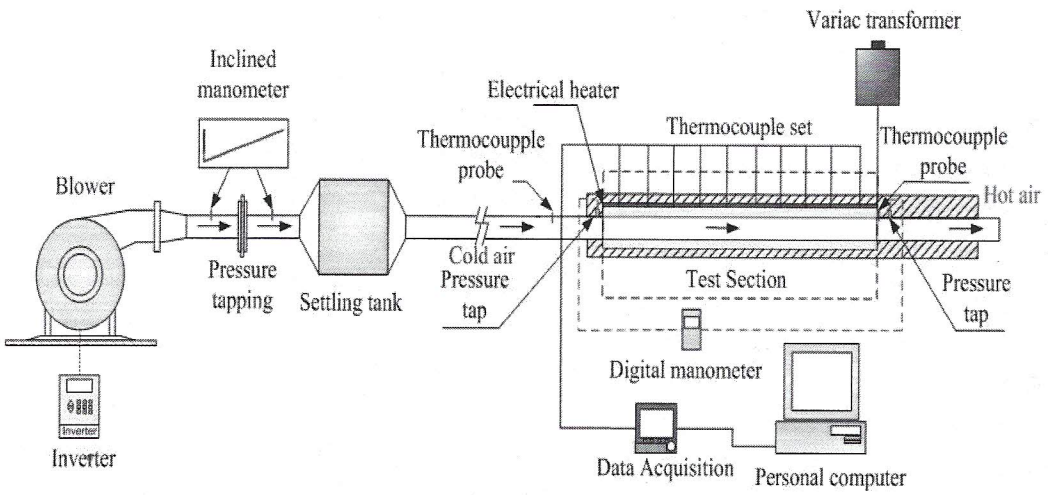
$$Nu_D = \frac{hD}{k} \qquad (2)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f)

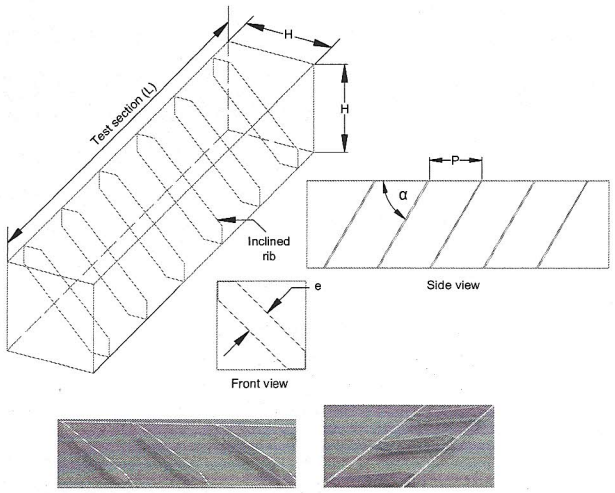
$$\mathrm{f} = \frac{2}{(\mathrm{L/D})} \frac{\Delta \mathrm{P}}{\rho \bar{\mathrm{V}}^2} \qquad (3)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน $\left(\eta_{pp}\right)$

$$\eta_{pp} = \left(Nu/Nu_o\right)/\left(f/f_o\right)^{1/3} \qquad (4)$$



รูปที่ 1 ชุดทดลอง



รูปที่ 2 ชิ้นงาน

3. การติดตั้งและวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานถูกจ่ายจากพัดลมความดันสูงขนาด 2 kW ความเร็วของพัดลมสามารถกระทำได้โดยการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice โดยใช้ Inclined manometer เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K จำนวน 56 ตัวถูกติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านข้างของช่วงท่อทดสอบและเทอร์โมคัปเปิ้ลอีกจำนวน 2 ตัวใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งหมดจะแสดงผลผ่านเครื่อง Data Logger ผนังด้านนอกของช่วงท่อทดสอบมีการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่ เครื่อง Digital differential pressure ถูกใช้สำหรับอ่านค่าความดันตกคร่อมที่วัดได้จากจุดวัดค่าความดันที่อยู่คร่อมช่วงท่อทดสอบ ทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลดส์ระหว่าง 4000 – 25,000

รูปที่ 2 ลักษณะของแผ่นครีบที่ใช้สำหรับสอดใส่ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อทำการทดสอบ แผ่นครีบทำจากแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.3 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงท่อท่อหรือระยะพิตช์ (PR = P/H) เป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยครีบมีความสูง (H) 0.45 มิลลิเมตร (BR = H/D = 0.2) ตามลำดับ

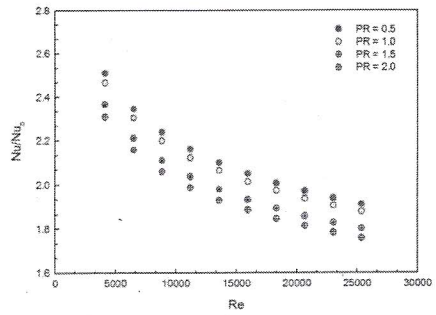
4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ผลของการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ดังนี้

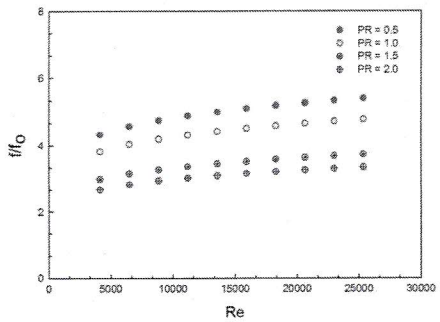
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ที่มีการใส่ครีบที่ค่า PR=0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 จากรูปพบว่าค่า Nu/Nu_0 มีค่าลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มสูงขึ้น ท่อที่ใส่ครีบที่มีค่า PR สูงจะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ค่า PR ต่ำกว่า เพราะว่าครีบที่มีค่า PR สูงจะไปช่วยการไหลของอากาศดีขึ้นกว่าที่ค่า PR ต่ำๆ ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้ได้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า ดังนั้นครีบที่มีค่า PR=0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ให้มีค่าการถ่ายเทความเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบ เท่ากับ 2.5, 2.45, 2.38 และ 2.3 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ที่ใส่ครีบที่ค่า PR = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่า ค่า f/f_0 เพิ่มสูงขึ้นตามค่า Re เมื่อใส่ครีบที่มีค่า PR สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า f/f_0 เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากครีบที่มี PR สูงจะไป

บล็อกการไหลมากกว่าครีบที่มีค่า PR ต่ำกว่า ดังนั้นครีบที่ค่า PR = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบเท่ากับ 5.6, 4.5, 3.6 และ 3.4 ตามลำดับ

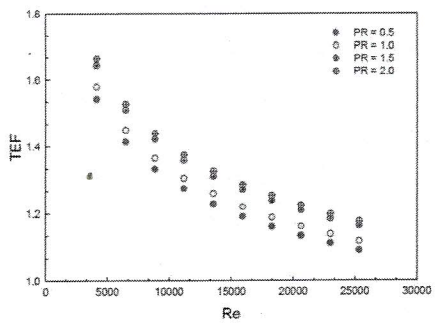


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re พบว่าเมื่อใส่ครีบที่ค่า PR ลดลง มีผลทำให้TEF สูงขึ้น โดยครีบที่ค่า PR=2.0 จะให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.72 ในช่วงค่า Re ที่ต่ำและค่อยๆ ลดลงที่ค่า Re เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ครีบที่มีค่า PR=1.0, 1.5 และ 2.0 ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.65, 1.58 และ 1.53 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

5. สรุปผลการทดลอง

การถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบเสียดทานและสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นครีบเอียงทำมุม 30°, มีอัตราส่วนการปิดกั้นการไหล BR=2.0 และมีสัดส่วนระยะพิตช์เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ในช่วงค่า Re=4000-25,000 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การติดตั้งครีบในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น โดยเฉพาะที่ PR=0.5 มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

2. การติดตั้งครีบที่ค่า PR=2.0 ให้ค่า TEF สูงสุด เนื่องจากให้ค่าตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่า PR=1.5, 1.0 และ 0.5 ค่อนข้างมาก และถ้าสำหรับนำไปประยุกต์ควรเลือกใช้ครีบที่ PR=2.0 เพราะให้ค่า TEF สูงสุด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] จิตกร กนกนัยการ, สมพล สกุลหลง และพงษ์เจต พรหมวงศ์ (2557). พฤติกรรมเชิงความร้อนภายในช่องขนานจัตุรัสสอดด้วยแผ่นกั้นเอียง 45 องศา วางไขว้กัน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28.

[2] P. Promvonge, (2008). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, Energy Conversion and Management, vol. 49, 2008, pp. 980–987.

[3] S. Kwankaomeng, S. Skullong, T. Teschareon and P. Promvonge. (2010). Thermal Characteristics in Square Channel with 45° Staggered Baffle inserts. International Conference on Energy and Sustainable Development.