

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมด้วยการใส่ครีบริบตัววี

Study Behavior Heat transfer in a tube with V-ribs insert

วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง¹, โชติวุฒิ ประสพสุข¹ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์^{2*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 321 ถนนนารายณ์มหาราช
ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ: E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษา คุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและแรงดันตกคร่อมภายในท่อกลมที่มีการสอดแผ่นครีบริบตัววี โดยการทำการทดลองที่สภาวะผิวท่อเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ขนาดของครีบริบมีมุมปะทะ 30 องศา, อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, อัตราส่วนความสูงครีบริบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.15 ซึ่งในการทดสอบใช้อากาศเป็นของไหลในการทดสอบและในลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนที่ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000 ถึง 25000 โดยพบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.5 ที่ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ 5000

คำหลัก: ครีบริบตัววี, นัสซอล นัมเบอร์, ค่าตัวประกอบเสียดทาน, ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

Abstract

The paper presents a study on heat transfer and pressure drop characteristics in a round tube heat exchanger mounted with V-ribs. The tested round tube is at a uniform wall heat flux condition. The rib dimensions are at attack angle of 30°, at pitch ratio (PR) 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and the rib height to tube diameter ratios (BR) 0.15. The fluid flow friction and heat transfer characteristics are presented in a turbulent region for Reynolds numbers ranging from 5000 to 25,000. According to the experimental results, the maximum thermal performance factor is found for the rib at PR = 0.5 with Re = 5000

Keywords: V-rib, Nusselt Number, Friction Factor, Thermal Enhancement factor

1. บทนำ

อุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากทั้งในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ด้วยปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบันที่มีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การพัฒนาอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานได้เทียบเท่าหรือสูงกว่าเดิม โดยที่ใช้

พลังงานลดลง จึงเป็นที่สนใจกันอย่างแพร่หลายโดยทั้งทางด้านภาครัฐและภาคอุตสาหกรรม มีนโยบายการสนับสนุนเพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานในอนาคต ซึ่งการพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรและลดการปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดย

TSF-245

หลักการคือการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ให้สูงขึ้นในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานเท่าเดิม หรือเพิ่มขึ้นไม่สูงมาก โดยใช้หลักการการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากครีบริบตัววี ทำการขวางการไหลภายในท่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน[1] หรือตัวสร้างการไหลหมุนวนที่เรียกว่า turbulators เช่น ครีบริบ (ribs) [2] ที่ผ่านมามีผู้ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

Smith. [3] ได้ทดลองหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการไหลปั่นป่วนของ V-nozzle ภายในท่อกลมพบว่า การเพิ่ม V-nozzle ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่า ประสิทธิภาพสูงขึ้น [4] ผลกระทบที่เกิดจากการสอดใส่ V-Shape ที่มีมุมปะทะ 20° ของไหลเกิดการไหลปั่นป่วนจะมีผลกระทบต่อชั้นชั้นผิว และหน่วงการไหลของของไหลภายในท่อให้ยาวนานยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่า 100 - 200 เปอร์เซ็นต์ [4] ติดตั้งแผ่นกันเอียงบริเวณกึ่งกลางท่อ เอียงทำมุมปะทะ 30° สัดส่วนความสูงครีบริบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ เท่ากับ 0.05 และ 0.10 พิจารณาเปรียบเทียบกับท่อกลมผิวเรียบพบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของครีบริบจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

บทความนี้เป็นการศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในรูปของ เลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) และค่าตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor) โดยมีทฤษฎีในการคำนวณดังนี้

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) สามารถเขียนเป็นสมการได้

$$Re = UD/\nu \quad (1)$$

ค่าตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor)

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (2)$$

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient)

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(T_s - T_b)} \quad (3)$$

ค่าตัวเลขนัสเซล (Nusselt Number)

$$Nu = \frac{hD_k}{k} \quad (4)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal enhancement factor)

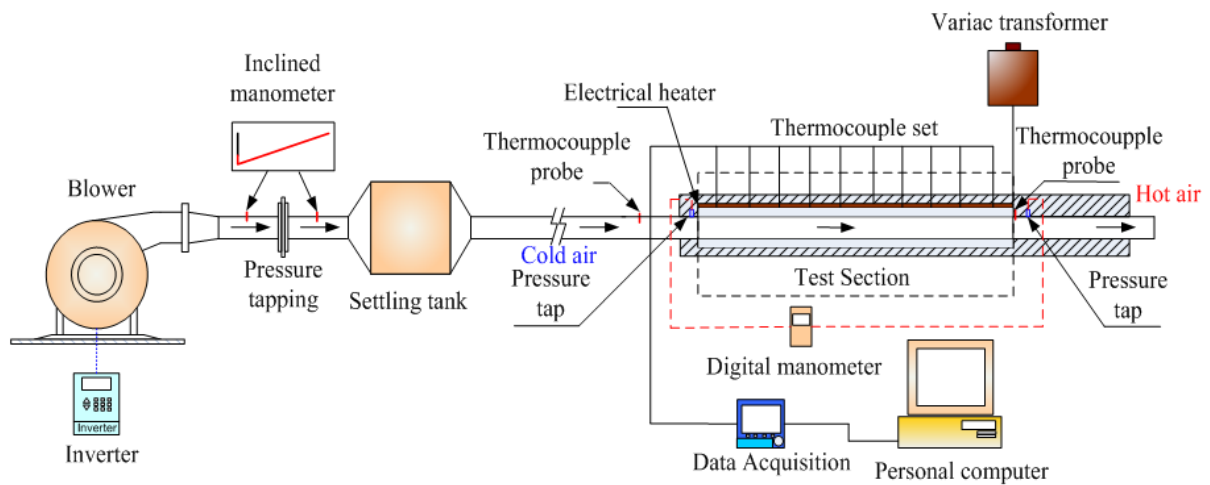
$$\eta = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (5)$$

3. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

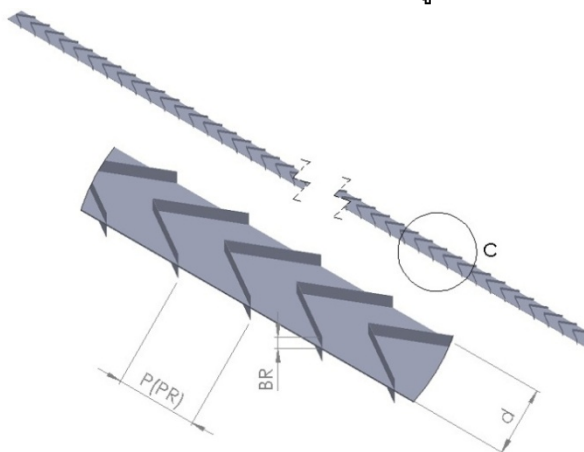
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานถูกจ่ายจากพัดลมความดันสูงขนาด 1.45 kW ความเร็วของพัดลมสามารถกระทำได้โดยการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิต โดยใช้มาตรมิเตอร์แบบเอียง ท่อทดสอบเป็นท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 50 มิลลิเมตร หนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของท่อเท่ากับ 4000 มิลลิเมตร ผนังด้านนอกของช่วงท่อทดสอบทำการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 28 ตัวติดตั้งที่ผนังด้านบน ด้านล่าง และด้านข้างของท่อ สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวตลอดแนวของช่วงทดสอบ และอีก 2 ตัว ติดตั้งที่บริเวณทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ เครื่องบันทึกข้อมูลจะทำหน้าที่บันทึกค่าอุณหภูมิทั้งหมดและจะแสดงผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ค่าความดันตกคร่อมช่วงท่อทดสอบวัดค่าโดยเครื่องวัดความดันแตกต่างแบบดิจิตอล การทดสอบอยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5000–25,000 รูปที่ 2 แสดงชิ้นงานที่ใส่ในท่อทดสอบลักษณะเป็นครีบริบตัววี ทำ

TSF-245

มุมปะทะ 30° และมีสัดส่วนระยะพิตต่อขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.5, 1, 1.5, 2 ตามลำดับ



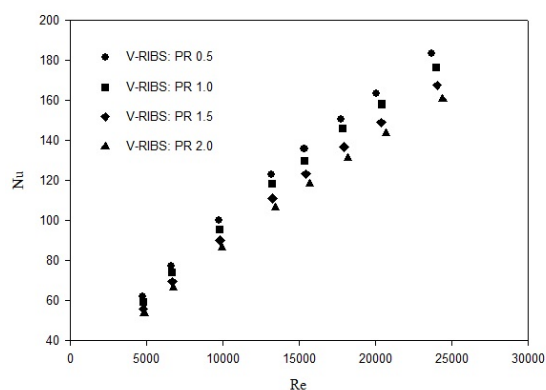
รูปที่ 1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะครีบริบตัววีและลักษณะของท่อช่วงทดสอบ

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ผลของการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้
ดังนี้

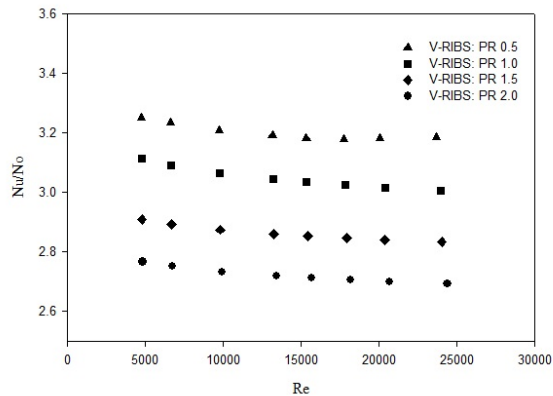


รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re

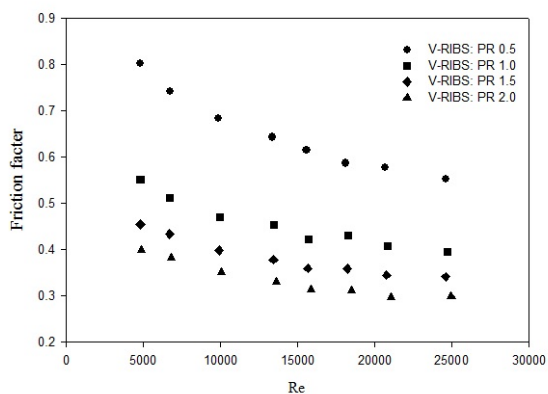
จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลข
นัสซอล กับค่าเรย์โนลด์ จากการทดลองพบว่าครีบริบตัว

วี PR = 0.5 ให้ค่าเลขนัสซอลมากที่สุด ตามด้วย PR
= 1.0, 1.5, 2.0 ตามลำดับ

TSF-245

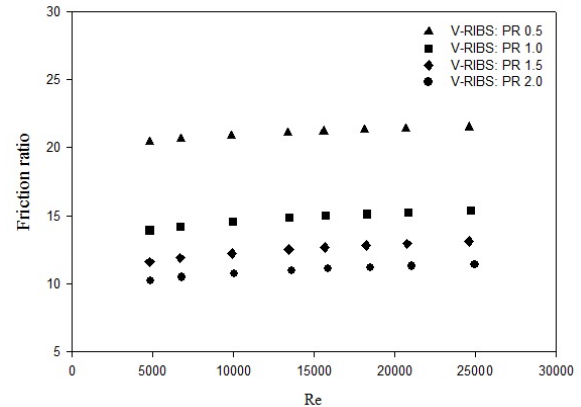


รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/No กับ Re
 จากรูปที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/No กับ Re ที่มีการใส่ครีบบนท่อที่มีค่า $PR=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 จากรูปพบว่าค่า Nu/No มีค่าลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น ท่อที่ใส่ครีบบนท่อที่มีค่า PR สูงจะให้ค่า Nu/No มากกว่าที่ค่า PR ต่ำกว่า เพราะว่าครีบบนท่อที่มีค่า PR สูงจะไปขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการปะทะเกิดการไหลแบบหมุนวนที่รุนแรงกว่าที่ค่า PR ต่ำ ซึ่งจากผลดังกล่าวมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

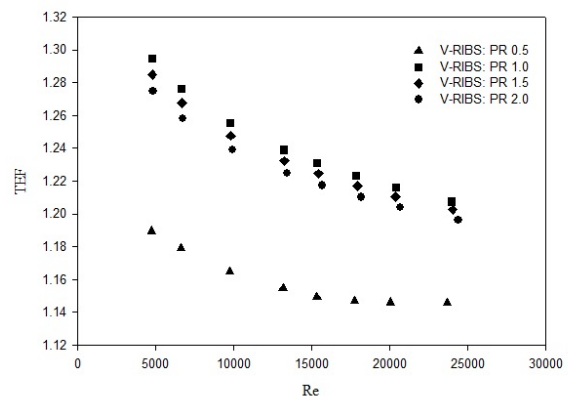


รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ จากการทดสอบพบว่า ครีบบนท่อที่มีค่า $PR=0.5$ มีค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดตามด้วย $1.0, 1.5, 2.0$ ตามลำดับ



รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re
 รูปที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ที่ใส่ครีบบนท่อที่มีค่า $PR = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่า ค่า f/f_0 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามค่า Re เมื่อใส่ครีบบนท่อที่มีค่า PR สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า f/f_0 เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากครีบบนท่อที่มีค่า PR สูงจะไปบล็อกการไหลมากกว่าครีบบนท่อที่มีค่า PR ต่ำกว่า รวมไปถึงผลของการไหลแบบย้อนกลับ โดยที่ค่า f/f_0 จะมีค่าสูงประมาณ 11.4-21.5 ตามการแปรผันของ f/f_0 และ Re



รูปที่ 7. ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re
 รูปที่ 7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re พบว่าเมื่อใส่ครีบบนท่อที่มีค่า PR ลดลง มีผลทำให้ TEF สูงขึ้น โดยครีบบนท่อที่มีค่า $PR=0.5$ จะให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.29 ในช่วงค่า Re ที่ต่ำและค่อยๆ ลดลงจึงกล่าวได้ว่า ที่ค่า Re ต่ำที่สุด ค่า TEF มีค่าสูงที่สุด

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองใส่แผ่นครีบบนท่อ จะทำให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการทำ

TSF-245

ให้พื้นที่ผิวภายในท่อที่ใส่ครีบก้นภายในเป็นการทำให้อากาศที่ไหลเกิดการปั่นป่วน โดยที่ $PR = 0.5$ จะทำให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) มีค่าสูงที่สุดที่ 1.21 - 1.29 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากการติดตั้งครีบริบตัววีทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ซึ่งสามารถใช้หลักการจากการทดลองติดตั้งครีบริบตัววีที่ท่อนี้ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องถ่ายเทความร้อนในงานอุตสาหกรรมได้โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและลดการใช้พลังงานได้ในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Promvong P. Thianpong C, (2008). Thermal performance assessment of turbulent channel flow over different shape ribs, Int. Common Heat Mass transfer Vol.35, 2008, pp. 1327-1334.
- [2] Yilmaz M. Comakli O. and Yapici S. (1999). Enhancement of heat transfer by turbulent decaying swirl flow, Energy Convention Management. Vol.40, pp.1365-1376
- [3] Smith Eiamsa-ard and Promvong P. Heat transfer augmentation in a circular tube using V-nozzle turbulator inserts and snail entry. ScienceDirect. 2007 pp.332-340
- [3] ปรัชญา ส้ารวยสินธุ์ (2013) การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยมีการสอดใส่แผ่นบางทรงวี 20 องศา. การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 12 หน้า 162-167
- [4] รัตน์ศักดิ์ พุ่มสลุต (2013) การจำลองการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นกั้นขวาง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 12 หน้า 202-208