

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่ไบบิตดัดครีบริบตัววี

Thermal Characteristics in Circular Tube with V-Ribbed Twisted Tape Inserts

ชโยดม หินเช่า¹, นรินทร์ กุลนาค², พงษ์เจต พรหมวงศ์^{1*} และ ณัฏฐิภา เจียรระโนวชิระ¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ถนนมรุพงษ์ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

*ติดต่อ: kpongje@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-3298351, เบอร์โทรสาร 02-3298352

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอถึงการศึกษาดูผลเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยการสอดใส่ไบบิตที่มีการดัดครีบริบตัววี ภายใต้เงื่อนไขที่มีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวท่อภายนอกอย่างสม่ำเสมอ มีอากาศเป็นของไหลทำงานในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน อยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส (Re) ระหว่าง 5300-23,000 โดยทำการศึกษาดูถึงอิทธิพลของครีบริบตัววีที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($B_R=e/D$) เท่ากับ 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิทช์ ($P_R=P/W$) เท่ากับ 1, 2 และ 4 ซึ่งติดตั้งอยู่บนไบบิตที่มีอัตราส่วนการบิด ($Y=y/W$) เป็น 4 ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย โดยนำเสนอในรูปแบบของเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และลดอัตราส่วนระยะพิทช์ ส่วนค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) จะมีค่าลดลง เมื่อทำการทดลองที่เลขเรย์โนลด์สสูงขึ้น โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 1.43 จากกรณีการใช้ครีบริบที่มี $B_R=0.20$ และ $P_R=1$ ที่ Re เป็น 5300

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน, ไบบิต, ครีบริบตัววี, เลขนัสเซลท์

Abstract

This paper presents an experimental study on heat transfer enhancement in a tubular heat exchanger inserted with V-ribbed twisted tapes. A uniform heat-flux was applied to the outer surface of the test tube while air as the working fluid entered the tube in turbulent flow regime, Reynolds number from 5300 to 23,000. The experiments were carried out to investigate an effect of V-ribs attached on both edges of the twisted-tape having a single twist ratio ($Y=y/W$) of 4 with various rib blockage ratios ($B_R=e/D=0.15$ and 0.20) and pitch ratios ($P_R=P/W=1, 2$ and 4) on heat transfer and pressure loss characteristics. The heat transfer and pressure drop presented in terms of respective Nusselt number (Nu) and friction factor (f) show that the Nu and f increase with the increment of B_R but the decrease of P_R . The highest thermal enhancement factor of about 1.43 is achieved for the V-ribbed twisted tape with $B_R=0.20$ and $P_R=1$ at Reynolds number = 5300.

Keywords: heat transfer; twisted tape; V-ribs; Nusselt number

TSF-232

1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดต้นทุนและประหยัดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ด้วยวิธีการมากมาย แบ่งได้เป็นวิธีการแบบ Active และแบบ Passive โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่อุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ อาทิ ใบพัด ขดลวด หรือแผ่นกั้นลักษณะต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนมีส่วนช่วยลดการพัฒนาของชั้นขอบเขตบริเวณผิวของท่อ และช่วยให้เกิดการผสมกันของของไหลภายในท่อที่มากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามมา แต่ในทางกลับกันการใส่อุปกรณ์เหล่านี้ภายในท่อยังก่อให้เกิดความดันสูญเสียที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ด้วยเช่นกัน

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแบบ Passive [1] ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่มีการใช้พลังงานจากภายนอกกระบวนเข้ามากระทำ ไม่ว่าจะเป็น ใบพัด โดย Eiamsa-ard และคณะ [2] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในท่อที่สอดใส่ใบพัดเดี่ยว ใบพัดคู่ และใบพัดคู่แบบเว้นระยะ ที่มีอัตราส่วนการบิด 3 ค่า ($Y=3.0, 4.0$ และ 5.0) สำหรับใบพัดคู่แบบเว้นระยะมีอัตราส่วนการเว้นระยะ 3 ค่า ($s/D=0.75, 1.5$ และ 2.25) ภายใต้สภาวะที่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับผิวท่อภายนอกอย่างคงที่ในช่วงของ Re เป็น $4000-19,000$ Murugesan และคณะ [3] ได้นำเสนอผลกระทบของใบพัดที่มีการตัดขอบเป็นรูปตัววีต่อการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียดทาน และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลม ที่อัตราส่วนการบิด 3 ค่า ($Y=2, 4.4$ และ 6) มีอัตราส่วนความลึก (D_R) และอัตราส่วนความกว้าง (W_R) ของรอยตัดรูปตัววีที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ค่า พบว่าค่า Nu และค่า f มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลด Y ลด W_R และเพิ่ม D_R ในทำนองเดียวกันนี้ Wongcharee และ Eiamsa-ard [4] ได้ศึกษาผลกระทบของการใส่ใบ

พัด สลับ แกนแบบตัดปีกเป็นรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมคางหมู ที่อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างปีก 3 ค่า ($d/W=0.1, 0.2$ และ 0.3) อัตราส่วนการบิดเป็น 4 มีมุมของระนาบใบพัดสลับแกนต่างกัน 60° พบว่าค่า Nu ค่า f และสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม d/W โดยปีกรูปสี่เหลี่ยมคางหมูให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงที่สุด Promvongse และคณะ [5] ได้รายงานผลของคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากการใช้ใบพัดคู่ที่มีอัตราส่วนการบิด (Y) ตั้งแต่ $2.17-9.39$ สอดใส่ภายในท่อผิวครีบบนแบบขดที่มีอัตราส่วนความสูงครีบบนต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (e/D_H) เป็น 0.06 และอัตราส่วนระยะพิทช์ (P/D_H) เป็น 0.27 ภายในช่วงของ Re ระหว่าง $6000-60,000$ โดยพบว่าใบพัดคู่ที่ $Y \approx 8$ ให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด

นอกจากการใช้ใบพัดหรือขดลวดรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ โดย Skullong และคณะ [6] ได้ศึกษาถึงผลกระทบของพื้นผิวเซาร่องติดครีบบน ที่อัตราส่วนความสูงของครีบบน ($B_R=b/H$) เป็น 0.25 มุมปะทะเป็น 45° และอัตราส่วนระยะพิทช์ทั้งหมด 3 ค่า ($P_R=P/H=0.5, 1$ และ 2) โดยมีลักษณะการวางครีบบนผิวคลื่นที่แตกต่างกัน 3 แบบ ต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งพบว่าการใช้พื้นผิวเซาร่องติดครีบบนที่ผิวท่อทดลองด้านที่รับความร้อนเพียงด้านเดียวให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด นอกจากนั้น Tandiroglu [7] ยังได้นำเสนอผลกระทบของรูปแบบการไหลต่อการพาความร้อน จากการใช้แผ่นกั้นรูปครึ่งวงกลม จัดวางที่อัตราส่วนระยะพิทช์ (P_R) ทั้งหมด 3 ค่า และปรับเปลี่ยนมุมการวางแผ่นกั้น (β) ทั้งหมด 3 มุม โดยแผ่นกั้นที่มี $\beta=90^\circ$ และ $P_R=1$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนด้วยอุปกรณ์ลักษณะต่างๆ พบว่าทั้งใบพัดและแผ่นครีบล้วนสามารถเพิ่ม

TSF-232

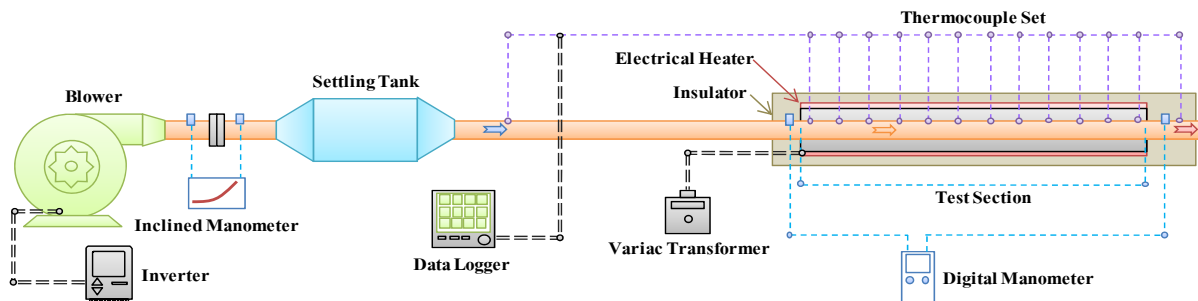
สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยบิดเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมในการใช้งานภายในท่อกลม ส่วนแผ่นครีบเหมาะสมในการใช้งานกับท่อที่มีพื้นผิวเป็นระนาบตรง ซึ่งงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้มาใช้งานร่วมกันยังปรากฏให้เห็นเป็นจำนวนน้อย งานวิจัยฉบับนี้จึงได้แนวคิดในการนำอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้ดียิ่งขึ้น โดยได้นำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของเลขนัสเซลล์ท์ ตัวประกอบความเสียดทาน และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

2. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

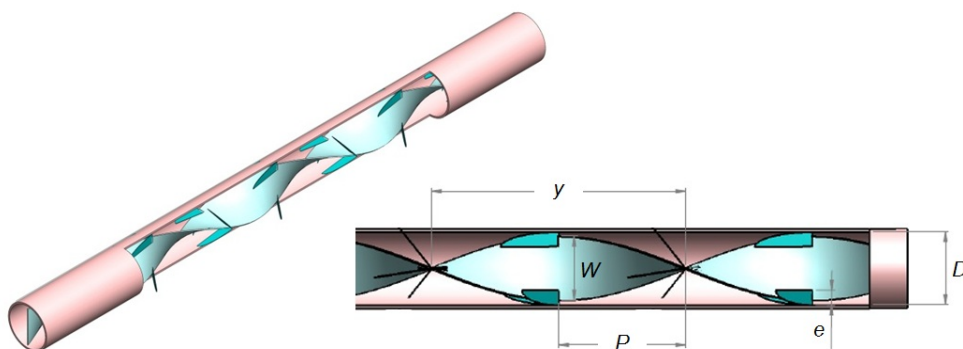
ลักษณะของชุดอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 1 อากาศที่ใช้เป็นของไหลในการทดลองถูกจ่ายผ่านพัดลมความดันสูงขนาด 1.5 kw ที่ถูกควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้อัตราการไหลตาม

ต้องการ โดยอัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากความดันตกคร่อมแผ่น Orifice ที่ทำการวัดด้วยமானมิเตอร์ชนิดท่อเอียง

ท่อทดลองทำด้วยทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 mm ความหนา 2 mm ที่ผิวด้านนอกของท่อตลอดความยาวของช่วงทดสอบ 1000 mm มีการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวท่ออย่างสม่ำเสมอ อุณหภูมิของท่อทำการวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล K-type ทั้งหมด 24 ตัว ที่ถูกติดตั้งที่ผิวท่อด้านบนและด้านข้างอย่างละ 12 ตัว ส่วนอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของอากาศทำการวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล K-type เช่นกัน ค่าอุณหภูมิทั้งหมดที่ได้จากการทดลองถูกแสดงผลผ่านเครื่อง Data Logger และค่าความดันตกคร่อมตลอดความยาวของช่วงทดสอบได้ถูกวัดด้วยเครื่อง Digital differential pressure โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงของ Re ระหว่าง 5300-23,000



รูปที่ 1 แผนผังการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง



TSF-232

รูปที่ 2 ลักษณะของใบบิตติดครีบริบตัววีที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของใบบิตติดครีบริบตัววีที่ใช้ในการทดลอง โดยใบบิตทำจากอลูมิเนียมความหนา 1 mm มีอัตราส่วนการบิต ($Y=y/W$) เป็น 4 ถูกสอดให้มีลักษณะหลวม ลอยอยู่บริเวณแกนกลางของท่อทดลอง ขอบทั้งสองข้างของใบบิตถูกติดด้วยครีบริบทำจากอลูมิเนียมหนา 0.3 mm พับเป็นรูปตัววีทำมุมปะทะการไหล 30° ตัดขอบด้านหนึ่งให้โค้งเพื่อรับสัมผัสกับผิวท่อ และดำเนินการทดลองโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($B_R=e/D$) เท่ากับ 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิทช์ ($P_R=P/W$) เท่ากับ 1, 2 และ 4

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

พฤติกรรมกรรมการไหลของอากาศภายในท่อทดลอง ได้ถูกนำเสนอในรูปของเลขเรย์โนลด์ส ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ แสดงได้ดังนี้

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

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากผลการทดลองถูกนำเสนออยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์ โดยจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับกับปริมาณการพาความร้อนที่เกิดขึ้น จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแสดงดังต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (2)$$

$$\dot{m}C_p(T_o - T_i) = hA(\tilde{T}_s - T_b) \quad (3)$$

โดยที่ T_b คืออุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในท่อทดลอง สามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอากาศ ดังนี้

$$T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (4)$$

และ $\tilde{T}_s$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยของผิวท่อ ที่ได้จากการวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 24 ตัว

$$\tilde{T}_s = \sum T_s / 24 \quad (5)$$

ซึ่งพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้ดังสมการ

$$h = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A(\tilde{T}_s - T_b)} \quad (6)$$

โดยทำให้สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมาคำนวณหาค่าเลขนัสเซลท์ได้จาก

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (7)$$

ในส่วนของตัวประกอบความเสียดทานสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (8) โดยที่ ΔP คือความดันตกคร่อมบริเวณช่วงทดสอบ, ρ คือความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย, U คือความเร็วตามแนวแกน, L และ D คือความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อทดลองตามลำดับ

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (8)$$

ความสามารถในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกนำเสนอโดยตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ซึ่งพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มขึ้นของความสูญเสียจากความเสียดทานภายในท่อทดลอง ภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการโดยกำลังขับของปั๊มคงที่ แสดงได้ดังสมการ

TSF-232

$$\text{TEF} = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (9)$$

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1. การทดสอบท่อเปล่า

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของชุดอุปกรณ์การทดลองได้ถูกกระทำโดยการทดสอบหาค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อเปล่า แสดงผลในรูปของ Nu และ f ตามลำดับ แล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจากสมการสหสัมพันธ์ที่ได้รับการยอมรับ โดยได้เปรียบเทียบค่า Nu และค่า f ที่ได้กับค่าจากสมการสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และ Petukhov [8] ตามลำดับ

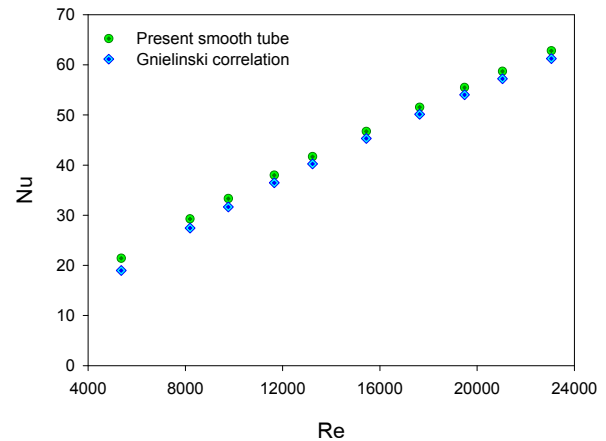
สมการสหสัมพันธ์ของ Gnielinski

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (10)$$

สมการสหสัมพันธ์ของ Petukhov

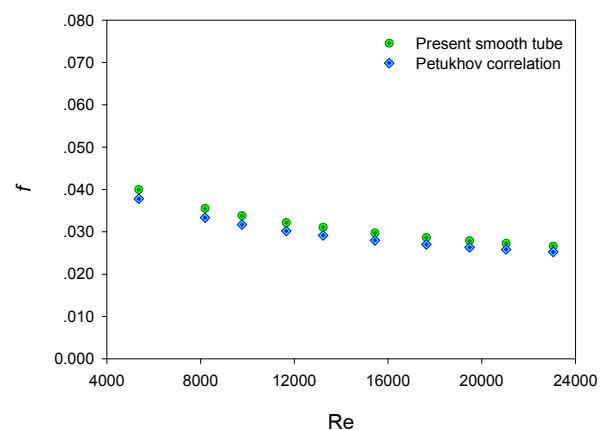
$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (11)$$

รูปที่ 3 และ 4 ได้แสดงถึงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของท่อเปล่ากับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และ Petukhov ตามลำดับ โดยพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากชุดทดลองมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ มีค่าความผิดพลาดอยู่ไม่เกิน 4%



รูปที่ 3 ค่าเลขนัสเซลท์ของท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าจากสมการสหสัมพันธ์

และค่า f ที่ได้จากชุดทดลองมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ มีค่าความผิดพลาดอยู่ไม่เกิน 6%



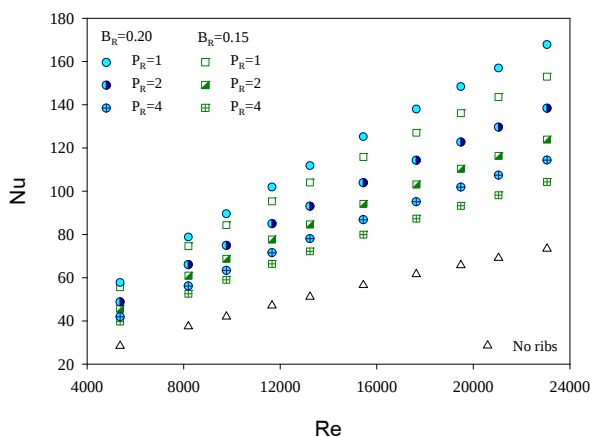
รูปที่ 4 ค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อเปล่าเปรียบเทียบกับค่าจากสมการสหสัมพันธ์

4.2. การถ่ายเทความร้อน

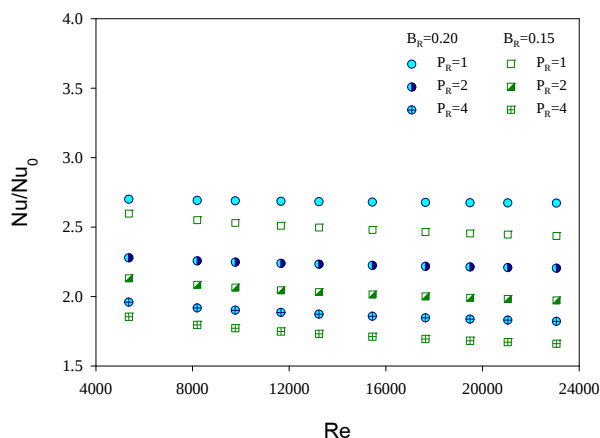
จากรูปที่ 5 พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้ไบบิตติคิริบรูปตัววีจะมีค่าสูงกว่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ท่อเปล่าทุกกรณีศึกษา โดยครีบทวีที่มี $B_R=0.20$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบทวีที่มี $B_R=0.15$ และการใช้ครีบทวีที่มีระยะห่างน้อยกว่าจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มความสูงของครีบทวีและการติดครีบทวีในระยะที่ใกล้กันนั้นจะช่วยหยุดยั้งการพัฒนาของชั้นขอบเขตบริเวณผิวของท่อได้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลได้มากขึ้น ในขณะเดียวกันไบบิตติคิริบจะสร้างกระแสการไหลแบบหมุนวนภายใน

TSF-232

ท่อทดลอง ซึ่งทั้งหมดได้ส่งผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับผิวของท่อที่มีอุณหภูมิสูง และการผสมกันของอากาศภายในท่อทดลองที่ดียิ่งขึ้น ภายใต้ขอบเขตการศึกษาจะเห็นว่าการใช้ไบบิตติคิริบรูปตัววีสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ประมาณ 1.66-2.70 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้ท่อเปล่า โดยแสดงในรูปอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของแต่ละกรณีศึกษาเทียบกับการถ่ายเทความร้อนของท่อเปล่า (Nu/Nu_0) ตามรูปที่ 6



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์ส



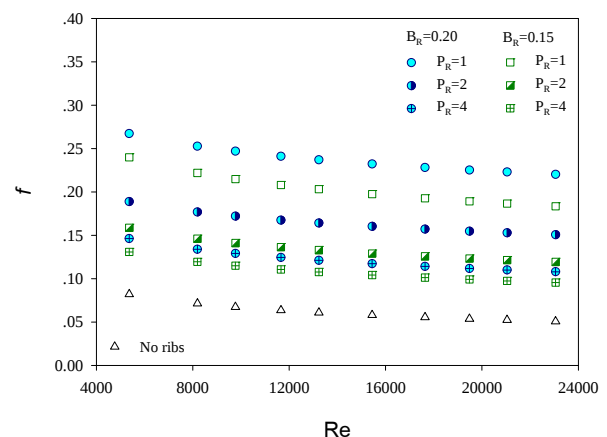
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์ส

4.3. ตัวประกอบความเสียดทาน

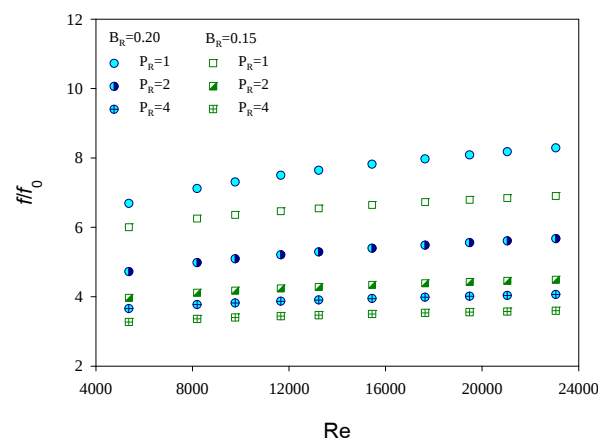
ความเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการใช้ไบบิตติคิริบรูปตัววีได้แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ในรูปของ f และ f/f_0

หรืออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของแต่ละกรณีศึกษาเทียบกับท่อเปล่าตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าค่า f มีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการทดลองที่ Re สูงขึ้น โดยการใช้ไบบิตติคิริบรูปตัววีจะให้ค่า f เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 3.27-8.28 เท่าของท่อเปล่า โดยครีที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล $B_R=0.20$ จะให้ค่า f สูงกว่าครีที่มี $B_R=0.15$ และ f จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะห่างของครีตัววี เนื่องจากความสูงของครีและจำนวนของครีที่มากขึ้นนั้นส่งผลทำให้เกิดการขวางกั้นกระแสการไหลของอากาศ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส



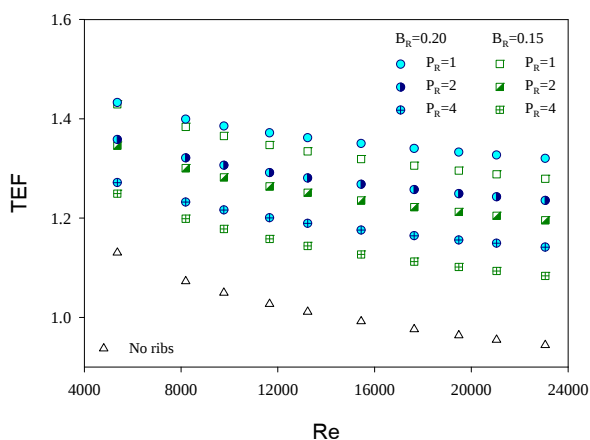
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส

ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความดันตกคร่อมตลอดความยาวของช่วงทดสอบเพิ่มสูงขึ้นตามมา

TSF-232

4.4. ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 9 แสดงค่า TEF ที่ Re ต่างๆ ของทุกกรณีศึกษา ซึ่งพบว่าแนวโน้มของค่า TEF จะมีค่าลดลงเมื่อทำการทดลองที่ Re สูงขึ้น โดยค่า TEF ล้วนให้ผลดีกว่าท่อเปล่าในทุกกรณีศึกษา ตลอดทุกช่วงของ Re มีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.08-1.43 สำหรับค่า TEF ที่สูงที่สุดได้จากการใช้การติดตั้งครีบริบตัวที่มี $B_R=0.20$ และ $P_R=1$ โดยทำการทดลองที่ Re เป็น 5300



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและเลขเรย์โนลด์ส

5. สรุปผล

จากการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้ใบบิดติดครีบริบตัวที่มี B_R เป็น 0.15 และ 0.20 และมี P_R เป็น 1, 2 และ 4 ภายใต้ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน พบว่า

- ค่า Nu และค่า f จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่ม B_R และลด P_R ของครีบริบตัว โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1.66-2.70 เท่า และ 3.27-8.28 เท่าสำหรับ Nu และ f ตามลำดับ

- ค่า TEF จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการทดลองที่ Re สูงขึ้น มีค่าอยู่ประมาณ 1.08-1.43 และค่าสูงสุดที่ได้เกิดจากการใช้ครีบริบตัวที่มี $B_R=0.20$, $P_R=1$ และทำการทดลองที่ Re เป็น 5300 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้ใบบิดติดครีบริบตัวนั้นให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อเปล่าในทุกกรณีศึกษา

- การทดลองโดยใช้ใบบิดติดครีบริบตัวให้ค่า TEF ที่สูงกว่าการใช้ใบบิดที่ไม่ติดครีบริบในทุกกรณีศึกษา เมื่อทำการทดลองที่ Re เดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้ใบบิดติดครีบริบเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการนำไปใช้เพื่อพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Webb, R.L. and Kim, N. (2005). *Principles of enhanced heat transfer*, 2nd edition, Taylor & Francis Group, Abingdon.
- [2] Eiamsa-ard, S. Thianpong, C. Eiamsa-ard, P. and Promvong, P. (2010). Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, 2010, pp. 39–46.
- [3] Murugesan, P. Mayilsamy, K. Suresh S. and Srinivasan, P.S.S. (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, 2011, pp. 329–334.
- [4] Wongcharee, K. and Eiamsa-ard, S. (2011). Heat transfer enhancement by twisted tapes with alternate-axes and triangular, rectangular and trapezoidal wings, *Chemical Engineering and Processing*, vol. 50, 2011, pp. 211-219.
- [5] Promvong, P. Pethkool, S. Pimsarn, M. and Thianpong, C. (2012). Heat transfer augmentation in a helical-ribbed tube with double twisted tape inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, 2012, pp. 953-959.
- [6] Skullong, S. Kwankaomeng, S. Thianpong, C. and Promvong, P. (2014). Thermal performance of turbulent flow in a solar air heater channel with rib-groove turbulators, *International*

TSF-232

Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 50, 2014, pp. 34-43.

[7] Tandiroglu, A. (2006). Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 49, 2006, pp. 1558-1567.

[8] Incropera, F., Dewitt, P.D. (1996) *Introduction to heat transfer, 3rd edition*, John Wiley & Sons Inc.