

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อจัตุรัสโดยการสอดใส่แผ่นติดครีบริบตัวดับเบิลวี

Heat Transfer Enhancement in a Square Duct with Double V-Ribbed Strip Inserts

วิหิตดา เจษฎารัตนชัย, ดำริห์ จันทร์แสงสุข และ พงษ์เจต พรหมวงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

* ติดต่อ: E-mail: kppongje@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198,

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย แผ่นติดครีบริบ โดยทำการทดลองที่สภาวะผิวของท่อเป็นฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ในการทดลองโดยปรับใช้ความเร็วลมหลาย ๆ ค่าในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re = 4000 - 40,000$ โดยทำการเปรียบเทียบผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบกับท่อที่มีการสอดใส่แผ่นติดครีบริบตัวดับเบิลวีในแนวทแยงมุมภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำการ จัดวางแผ่นติดครีบริบที่มุม 10° , 20° และ 30° โดยครีบริบมีความสูง 15% ของเส้นผ่านศูนย์กลาง ไฮดรอลิกของ ท่อ เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนโดย แสดงในเทอมของ เลขนัสเซล (Nusselt number) และการสูญเสียความดันโดยแสดงใน เทอมของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor) จากการทดลองพบว่าชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบริบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบ และพบว่าท่อที่มีแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีทำมุม 30° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สุดตามด้วย แผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีมุม 20° ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีที่มุม 30° , 20° และ 10° ให้ค่าเลขนัสเซลเฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบ 3.64, 3.39 และ 2.93 เท่า ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าตัวประกอบเสียดทาน เฉลี่ยสำหรับแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีมีค่ามากกว่าท่อผนังเรียบ 25.80, 15.70 และ 7.49 เท่า สำหรับมุม 30° , 20° และ 10° ตามลำดับ

คำหลัก: ท่อจัตุรัส, ครีบริบรูปตัวดับเบิลวี, การถ่ายเทความร้อน, ความเสียดทาน

Abstract

This work presents a study of heat transfer in a heat exchanger duct fitted diagonally with double V-ribbed strip. The duct has a square section with uniform wall heat flux conditions. The experiments are carried out by varying airflow rate for Reynolds number ranging from 4000 to 40,000 and the results for different rib angles (10° , 20° and 30°) at similar rib height, $e = 15\%$ of duct diameter are compared with the smooth duct. The results in terms of Nusselt number and friction factor show that the ducts fitted with double V-rib strip provide higher heat transfer and friction factor than the smooth duct. In comparison, the 30° double V-rib gives higher heat transfer than the 10° and 20° ones. The average Nusselt number ratios are found to be about 3.64, 3.39 and 2.93 times over the smooth channel while the friction factor ratio are about 25.80, 15.70 and 7.49 times for the 30° , 20° and 10° double V-ribs, respectively.

Keywords: Square duct, Double V-ribbed, Heat transfer, Friction factor

1. บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานไปกับกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กระบวนการเผาไหม้, กระบวนการทำความเย็น, กระบวนการแลกเปลี่ยนทางความร้อน เป็นต้น ดังนั้นสรุปได้ว่ากระบวนการส่วนใหญ่ต้องมีอุปกรณ์หรือวัสดุเพื่อการแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีบทบาทสำคัญที่จะช่วยให้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและต้นทุนการผลิต เพราะฉะนั้นการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์จะทำให้เป็นการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตได้ การศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนหรือ การสร้างการไหลแบบปั่นป่วน สำหรับการสร้างการไหลแบบปั่นป่วนนั้นได้มีการใช้อุปกรณ์และวัสดุต่างๆ เข้ามาช่วย ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งครีบอกในลักษณะต่างๆ เช่น ครีบอกตัววี, ครีบอกตัวดับบริว หรืออาจใช้แผ่นกันมาช่วยสร้างการไหลแบบปั่นป่วน ทั้งนี้ในการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้นั้นจำเป็นต้องพิจารณาในหลายๆ ส่วน ทั้งส่วนของต้นทุนการผลิต ส่วนของประสิทธิภาพ ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของวัสดุอุปกรณ์นั้นๆ ด้วย ทั้งข้อจำกัดและตัวแปรต่างๆ ของวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน ได้มีการนำมาวิเคราะห์ศึกษา จากหน่วยงานองค์กรและผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ท่าน เช่น Tanda [1] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยใช้เทคนิคลิควิดคริสตัล สำหรับการทดลองในท่อขนานและท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบอก 45° และ 60° เพื่อพิจารณาการกระจายตัวของความร้อนและความสัมพันธ์ของมุมกับการไหลของของไหลที่ใช้ในการทดลองทำให้เข้าใจพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น Wright et al. [2] ได้ทำการ

ทดลองและศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย ในช่องขนานที่มีครีบอกตัววีและตัวดับบริว โดยทำการทดลองที่ $e/D=0.078$, $P/e=10$ และค่า $AR=10$ สำหรับการทดลองมีการศึกษาอยู่ในช่วงค่า $Re=10,000-40,000$ จากผลการทดลอง พบว่าช่องขนานที่เพิ่มครีบอกตัวดับบริวในทุกๆ กรณีมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าช่องขนานที่มีการเพิ่มครีบอกตัววี Layek et al. [3] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความร้อนและลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนในท่อเหลี่ยมที่มีพื้นผิวขรุขระแบบผสมระหว่างครีบอกและร่อง โดยทำการศึกษาที่ค่า $Re=3000-21,000$ ค่า P อยู่ในช่วง 4.5-10 มีการตัดมุมของครีบอก 5°-30° ที่ $e/D=0.022-0.04$ จากผลการทดลองพบว่าท่อที่มีการใช้ครีบอกแบบผสมให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อผิวเรียบหรือท่อเปล่า Chang et al. [4] ทำการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของผิวขรุขระที่มีครีบอกตัววีในการวางตัวลักษณะต่าง ๆ ในท่อเหลี่ยม โดยศึกษาในช่วง $Re=1000-30,000$ ผลการศึกษาวินิจฉัยพบว่าการติดตั้งครีบอกตัววีแบบ forward ให้ประสิทธิภาพมากกว่าครีบอกตัววีที่มีการติดตั้งแบบ backward ซึ่งมีค่ามากกว่าทั้งในช่วงการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน โดยการไหลในช่วงที่ราบเรียบจะให้ค่าที่แตกต่างกันน้อยกว่า SriHarsha et al. [5] ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความสูงของครีบอกสำหรับการกระจายตัวของความร้อนในผนังสองชั้นของท่อเหลี่ยม โดยการใช้ครีบอกที่มีมุมเท่ากับ 90° แบบต่อเนื่องและครีบอก 60° แบบแยก ทำการทดลองในช่วง $Re=10,000-30,000$ จากการทดลองเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของพฤติกรรมถ่ายเทความร้อน พบว่าครีบอก 90° จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงของครีบอกเพิ่มขึ้นและค่าความดันสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบที่ความสูงเดียวกัน พบว่าครีบอก 60° ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าครีบอก 90° เนื่องจากครีบอก 60° ให้ค่าความดันสูญเสีย

ที่น้อยกว่า Kumar et al. [6] ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความเสียดทานโดยใช้ครีบริบรูปตัวดับเบิลวีและครีบริบตรง มีการให้ความร้อนแบบด้านเดียวส่วนด้านอื่น ๆ ทำการหุ้มฉนวนทั้งหมด ในการทดลองมีค่า $AR=8$ ทดลองในช่วง $Re=3000-15,000$, $e/D=0.0168-0.0338$, $P/e=10$ และมุมที่ใช้ในการปะทะอยู่ในช่วง $30^\circ-75^\circ$ ผลที่ได้จากการทดลองจะนำไปเปรียบเทียบกับท่อเปล่าและสร้างสมการความสัมพันธ์

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การศึกษาทดลองนี้จึงได้นำข้อมูลทั้งหมดมาประยุกต์ใช้เพื่อ พิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่าน ในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบริบรูปตัวดับเบิลวีที่มีมุมต่าง ๆ กัน คือ มุม 10° , 20° และ 30° ที่ความสูงของครีบริบเป็น 15% ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ มีการวางตัวของครีบริบรูปตัวดับเบิลวีในแบบปลายวีชี้ทวนลมและมีการสอดใส่ในแนวเส้นทะแยงมุมของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยทำการศึกษาในช่วงการไหลปั่นป่วน ในช่วงค่า $Re=4000$ ถึง $40,000$

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสในเทอมของเลขนัสเซลโดยเลขเรย์โนลด์ในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากอัตราการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$), สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = VI \quad (2)$$

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

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

และ $\bar{T}_s = \sum T_s / 28 \quad (5)$

เทอม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังที่ถูกให้ความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส เมื่อ \bar{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยเทอม \dot{m} , C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ

เลขนัสเซลเฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (6)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (7)$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการ (4)

ที่สภาวะกำลังขับ (Pumping power) เดียวกัน

$$(\dot{V}\Delta P)_0 = (\dot{V}\Delta P) \quad (8)$$

เมื่อ \dot{V} อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ ได้เป็น

$$(f Re^3)_0 = (f Re^3) \quad (9)$$

$$Re_0 = Re(f/f_0)^{1/3}$$

ค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ (η) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

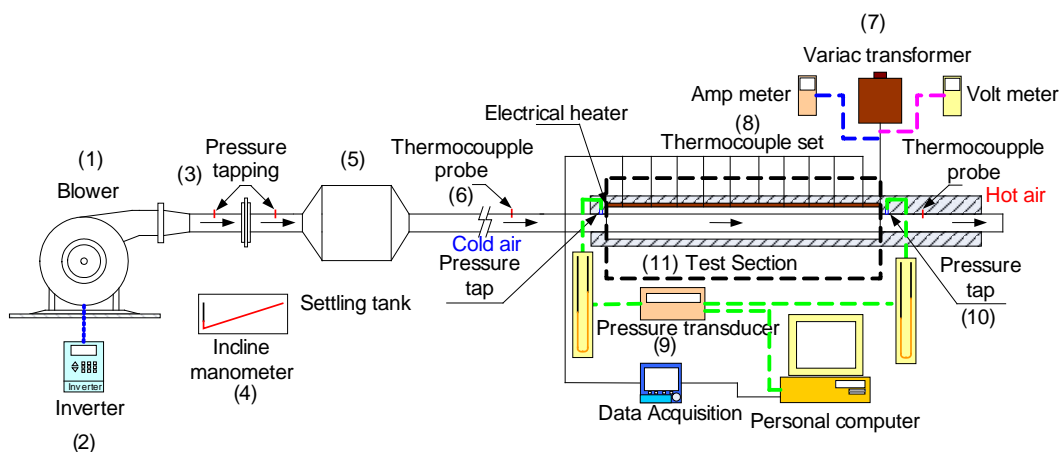
$$\eta = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (10)$$

3. อุปกรณ์

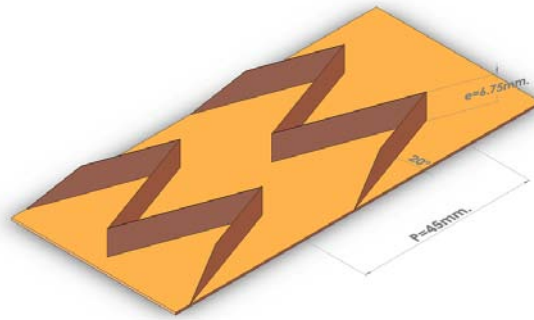
จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย (1) พัดลม (Blower) ขนาดพิกัด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดลม (2) Inverter TYPE FVR7.5E11S-4JE ถูกนำมาใช้ในการควบคุม

ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับ Blower ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตามที่กำหนด โดย Inverter สามารถปรับความเร็วรอบได้สูงสุดเท่ากับ 2400 rpm และมีค่าความละเอียดในการปรับความเร็วรอบในหลักหน่วย ใช้กระแสไฟฟ้า 380V-3 PHASES (3) Orifice meter เป็นชุดวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง (4) Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากความแตกต่างของระดับน้ำ Inclined manometer (5) air chamber ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด (6) ท่อปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น fully develop และไหลเข้าชิ้นงานทดสอบ (7) เครื่องควบคุมความร้อนฮีตเตอร์ แบบสไลด์โวลท์เทจ TDBC 2-3 kVA CAPACITY: 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโวลท์เทจที่ให้กับฮีตเตอร์ ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด โดยเครื่องควบคุมความร้อนสามารถ

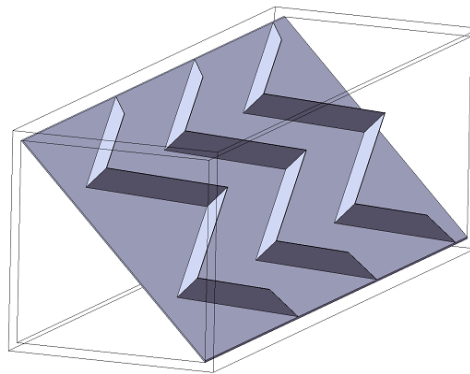
ปรับโวลท์เทจได้สูงสุดเท่ากับ 250 V (8), (9) เทอร์โมคัปเปิลและ Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์แสดงอุณหภูมิผิวครีบที่ตำแหน่งต่างๆ อุณหภูมิที่ทางเข้าครีบ และอุณหภูมิที่ทางออกครีบ โดยอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าออก และอุณหภูมิผิวภายในถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล type K จำนวนรวมทั้งสิ้น 28 จุด แล้วใช้คอมพิวเตอร์บันทึกในการบันทึกข้อมูลที่รับจาก Data Logger (10) เครื่องวัดความดันตกคร่อม TESTO 1445 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้า และตำแหน่งทางออกของครีบ (11) ทางเข้าสู่ชุดทดลองเป็นท่ออลูมิเนียมขนาดหน้าตัด 45x45 มิลลิเมตร และความยาว 2,420 มิลลิเมตร มีแผ่นบางติดครีบที่ทำจากอลูมิเนียมมีความสูง 15% ของ D_h (ตามรูปที่ 2) มุมของครีบรูปตัววีเท่ากับ 10° , 20° และ 30° ทุกครีบหนา 0.3 มิลลิเมตร มีระยะพิทช์ 45 มิลลิเมตร และแผ่นบางแต่ละอันจะติดครีบให้มีความพอดีกับช่วง test section โดยแผ่นช่องขนานดังกล่าวถูกทำให้ร้อนด้วย heater ไฟฟ้าขนาด 1,500 วัตต์ ติดตั้งประกบแผ่นคู่ขนานทั้ง 2 ด้าน



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ครีบริบรูปตัวดับเบิลวี



รูปที่ 3 ครีบริบรูปตัวดับเบิลวีที่วางในแนวเส้นทแยงมุมของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยทำการเปรียบเทียบผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบกับท่อที่มีการสอดใส่แผ่นติดครีบริบตัวดับเบิลวีในแนวทแยงมุมภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามรูปที่ 3 ทำการจัดวางแผ่นติดครีบริบโดยให้ปลายตัววีชี้ทวนลมที่มุม 10° , 20° และ 30° ครีบริบมีความสูง 15% ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ ทดลองที่ขนาดความสูงของท่อเหลี่ยมเท่ากับ 45 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะต้องมีการหุ้มฉนวนใยแก้วกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่น Heater ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

การทดลองทำการเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้อยู่ในช่วงที่ครอบคลุมค่าเลขเรย์โนลด์ให้มีความอยู่ระหว่าง 4000 ถึง 40,000 ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิว

ภายในท่อเหลี่ยมและอุณหภูมิอากาศเข้าออก มีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยอุณหภูมิผิวของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะทำการตรวจวัดทั้งหมด 28 จุด และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในขณะที่เดียวกันก็ทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังกล่าวด้วย

5. ผลการทดลอง

ในการทดลองมีการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของท่อเปล่าไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการสหสัมพันธ์ซึ่งผลเป็นที่ยอมรับได้เนื่องจากมีความผิดพลาดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลการทดลองจะมีการแสดงผลในรูปของค่าเลขนัสเซล , ตัวประกอบเสียดทานและประสิทธิภาพกับค่าเลขเรย์โนลด์ ซึ่งผลการทดลองจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อิทธิพลของมุมเอียงของครีบริบรูปตัวดับเบิลวีและประสิทธิภาพการเพิ่มความร้อน

5.1 อิทธิพลของมุมเอียงของครีบริบตัวดับเบิลวี

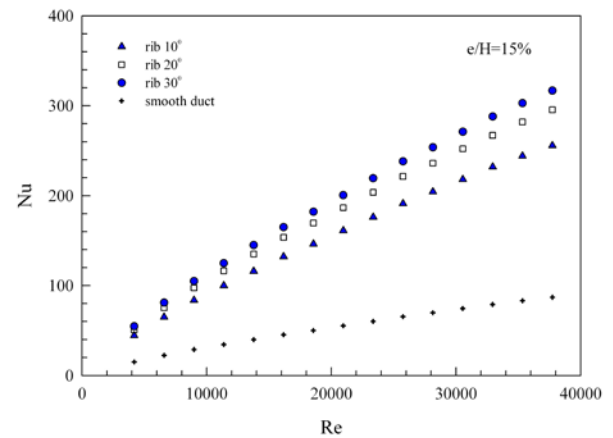
มุมที่ใช้ในการทดลอง คือ มุม 10° , 20° และมุม 30° ที่ค่าความสูงของครีบริบเป็น 15% ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ จากรูปที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซลและค่าเลขเรย์โนลด์ จากการทดลองพบว่าในช่วงการไหลปั่นป่วนท่อสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบริบตัวดับเบิลวีจะมีค่าเลขนัสเซลสูงกว่าท่อที่ไม่ได้มีการเพิ่มครีบริบและค่าเลขนัสเซลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ มีค่าสูงขึ้นสำหรับการทดลองในทุกๆ กรณี และพบว่าครีบริบตัวดับเบิลวีที่มีมุมเท่ากับ 30° จะมีค่าเลขนัสเซลสูงกว่าครีบริบตัวดับเบิลวีที่มีมุมเท่ากับ 20° และ 10° โดยค่าเลขนัสเซลของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° จะมีค่ามากกว่าท่อเปล่าเท่ากับ 3.64 เท่า และค่าเลขนัสเซลของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° และ 20° มีค่ามากกว่าท่อเปล่าเท่ากับ 2.93 และ 3.39 เท่า ตามลำดับ

สำหรับในส่วนผลการทดลองของตัวประกอบเสียดทานได้แสดงในรูปที่ 5 จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบเสียดทานในทุกๆ กรณีมีค่ามากกว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจากท่อเปล่า โดยค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าคงที่เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° มีค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° และ 20° ค่าตัวประกอบเสียดทานของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° มีค่าเท่ากับ 25.80 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า และค่าตัวประกอบเสียดทานของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° และ 20° เมื่อเทียบกับท่อเปล่า มีค่าเท่ากับ 7.49 และ 15.70 เท่า ตามลำดับ

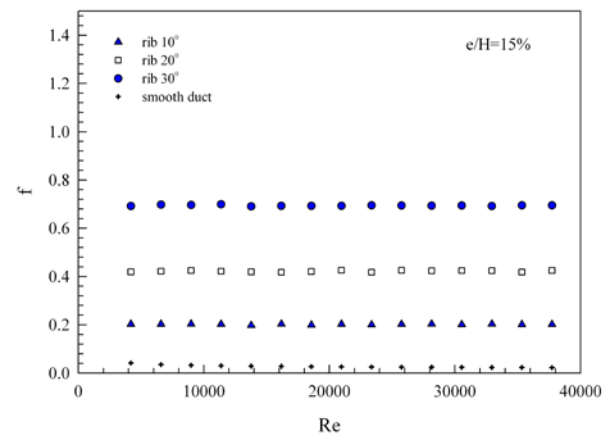
5.2 ประสิทธิภาพการเพิ่มความร้อน

ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซล Nu / Nu_0 เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเลขนัสเซลที่ได้จากการทดลองกับค่าเลขนัสเซลที่ได้จากการทดสอบท่อเปล่า ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 จากรูปพบว่า ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมีแนวโน้มคงที่เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้นสำหรับทุกๆ กรณี โดยค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลโดยเฉลี่ยของ

ครีบริบตัวดับเบิลวีที่มีมุมเท่ากับ 10° , 20° และ 30° มีค่าเท่ากับ 2.93, 3.39 และ 3.64 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์

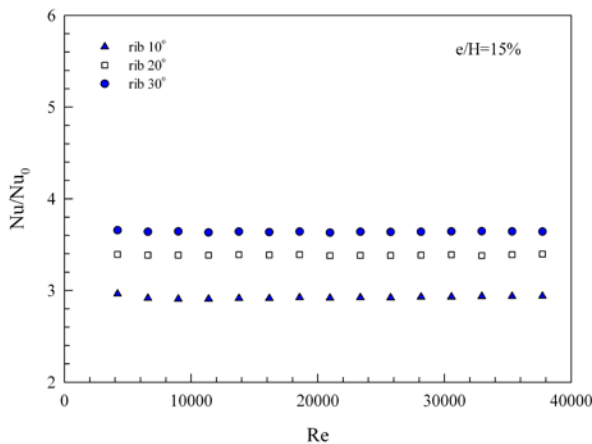


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์

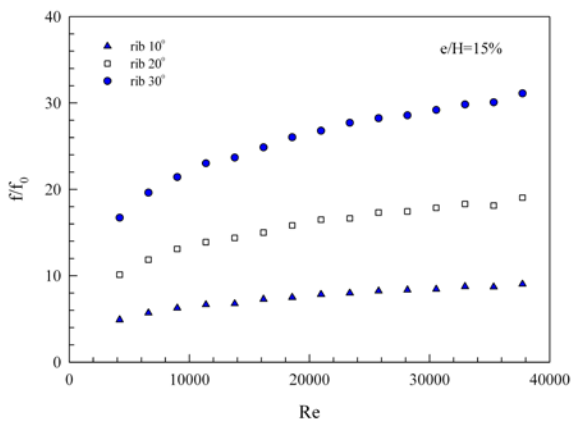
รูปที่ 7 แสดงค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน f / f_0 ที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้น โดยเห็นได้ชัดว่าครีบริบตัวดับเบิลวีที่มีมุม 30° มีแนวโน้มการเพิ่มของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° มีค่าเท่ากับ 25.80 และครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 20° และ 10° มีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 15.70 และ 7.49 ตามลำดับ

ค่าประสิทธิภาพ (η) ของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° , 20° และ 30° แสดงในรูปที่ 8 จากผลการ

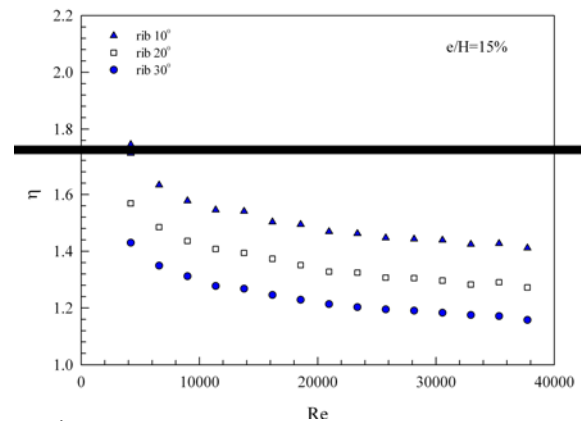
ทดลองพบว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° ให้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.50 สังเกตได้ว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° จะให้ค่าประสิทธิภาพมากกว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 20° และ 30° ถึงแม้ว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 20° และ 30° จะให้ค่าตัวเลขนัสเซลมากกว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° แต่ก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเหมือนกัน โดยค่าประสิทธิภาพของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 20° และ 30° มีค่าเท่ากับ 1.36 และ 1.24 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพกับเลขเรย์โนลด์

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มครีบริบตัวดับเบิลวีในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำให้ค่าเลขนัสเซลเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากครีบริบตัวดับเบิลวีทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ การเพิ่มขึ้นของค่าเลขนัสเซลจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของอากาศภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยการไหลปั่นป่วนจะทำให้ค่าเลขนัสเซลมีค่าสูงขึ้น รวมถึงการจัดรูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วย พบว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° จะให้ค่าเลขนัสเซลเพิ่มมากกว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° และ 20° เนื่องจากครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° ทำให้เกิดการหมุนวนมากที่สุดจากทุก ๆ กรณี อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° จะให้ค่าเลขนัสเซลมากกว่ามุมอื่น ๆ แต่ก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานหรือความดันสูญเสียสูงเช่นกัน จึงทำให้ครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 30° มีค่าประสิทธิภาพน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° ซึ่งให้ค่าเลขนัสเซลน้อยที่สุด แต่ก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุดเช่นกัน จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพของครีบริบตัวดับเบิลวีมุม 10° มีค่ามากที่สุด ซึ่งค่าประสิทธิภาพที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.75

7. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผ่านโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.)

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Giovanni Tanda (2004). Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.47 (2), pp. 229-243.
- [2] Lesley M.Wright, Wen-Lung Fu, Je-Chin Han (2004). Thermal Performance of Angled, V-Shaped, and W-Shaped Rib Turbulators in Rotating Rectangular Cooling Channels, ASME, *Journal of Turbomachinery*, vol.126, pp. 604-614.
- [3] Apurba Layek, J.S. Saini, S.C. Solanki (2007). Heat transfer and friction characteristics for artificially roughened ducts with compound turbulators, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.50 (23-24), pp. 4845-4854.
- [4] S.W. Chang, T.M. Liou, K.F. Chiang, G.F. Hong (2008). Heat transfer and pressure drop in rectangular channel with compound roughness of V-shaped ribs and deepened scales, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.51 (3-4), pp. 457-468.
- [5] V. SriHarsha, S.V. Prabhu, R.P. Vedula (2009). Influence of rib height on the local heat transfer distribution and pressure drop in a square channel with 90° continuous and 60° V-broken ribs, *Applied Thermal Engineering*, vol.29 (11-12), pp.2444-2459.
- [6] Arvind Kumar, J.L. Bhagoria, R.M. Sarviya (2009). Heat transfer and friction correlations for artificially roughened solar air heater duct with discrete W-shaped ribs, *Energy Conversion and Management*, vol.50 (8), pp. 2106-2117.