



พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบริบตัว-W

*ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹, สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด², สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรช³, สมพล สกกุลหลง⁴

พงษ์เจตพรหมวงศ์¹ และ วิฑาตา เจษฎารัตนชัย¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุงเขตลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 02-3298351

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

³มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

ผู้เขียนติดต่อ: พงษ์เจต พรหมวงศ์ E-mail:kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเข้ามามีบทบาทในสังคมมากขึ้นและมีนโยบายจากภาครัฐให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่า โดยอุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีบริบทำมุม (α) = 20°, 30° และ 45° โดยมีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ $e/H = 0.2$ และสัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ $PR = 2$ ทำการทดลองที่สภาวะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) และความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรโนลด์ (Re) มีค่าระหว่าง 4000 - 23,000 โดยนำผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีบริบตัว-W ที่ผิวบน - ผิวล่างเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งครีบริบตัว-W นั้นให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ผนังเรียบ

คำสำคัญ: ครีบริบ; เลขนัสเซลท์; ตัวประกอบเสียดทาน; ท่อจัตุรัส

1. คำนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญกับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมาก เช่น เครื่องอบแห้ง เครื่องทำความเย็น เป็นต้น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานค่อนข้างมากอีกด้วย ดังนั้นการหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและยังเป็นการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

ค่าการถ่ายเทความร้อน และคุณสมบัติความเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ถูกศึกษาโดย Benlu and Jiang [1] ใช้ครีบริบเอียงทำมุม 0 ถึง 90 องศา กับทิศทางการไหล ความสูงครีบริบ 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร ระยะพิตต์ 4 มิลลิเมตร และอัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 0.001 - 0.0018 kg/s จากการทดลอง ครีบริบเอียงทำมุม 60 องศา ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากที่สุด และแรงดันตกคร่อมมากที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ครีบริบเอียงทำมุม 20 องศา ให้สมรรถนะโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด และที่ระยะพิตต์ที่น้อยลงจะให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อน และแรงดันตกคร่อม

มากขึ้น โดยที่ระยะพิชิตซ์ที่ 1 และ 2 ให้สมรรถนะโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดใกล้เคียงกัน Tenda [2] ใช้ครีบริบรูปตัววีแบบแยกส่วน โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 8900- 28,500 สัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ $(e/H) = 0.15$ และ 0.25 ความขรุขระสัมพัทธ์ $(e/D_h) = 0.009$ และ 0.15 ระยะพิชิตซ์สัมพัทธ์ $(p/e) = 4, 8$ และ 13.5 จากการทดลอง เมื่อความสูงครีบริบมีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และที่ระยะพิชิตซ์ 0.05 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ระยะพิชิตซ์ 0.03 เมตร Promvong and Thianpong [3] ได้ทำการศึกษการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาน ที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 5000 -16,000 จากการทดลอง ครีบริบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วให้ค่าสมรรถนะความร้อนมากที่สุด และครีบริบรูปสามเหลี่ยมมุมฉากให้ค่าเลข นัสเซลท์ และ ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด Thianpong.et.al [4] ได้ทำการศึกษการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 4000- 25,000 สอดใส่ครีบริบแบบวางตรงกันที่สัดส่วนระยะพิชิตซ์ต่อความสูงท่อ $(PR) = 2$ มุมปะทะ 45 องศาจัดวางครีบริบด้านบนและด้านล่างของท่อและสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ $(e/H) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ และ 0.3 โดยครีบริบที่ $(e/H) = 0.3$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุดแต่ครีบริบ $(e/H) = 0.25$ ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด สกูลหลงและคณะ[5] ได้ทำการศึกษการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 5000- 23,000 โดยใช้ปีกสามเหลี่ยมสอดใส่แบบวางที่ผิวล่างที่สัดส่วนระยะพิชิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $(PR) = 2$ ที่มุมปะทะ 30 องศาจัดและมีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงช่องขนาน $(e/H) = 0.2, 0.3$ และ 0.4 หุ่นพงษ์และคณะ [6] ได้ทำการศึกษการถ่ายเทความร้อน ในช่องการไหลที่มีการสอดครีบริบเอียงทำมุม ช่องการไหลมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีสถานะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ที่ผนังทุกด้านโดยใช้ไหลของอากาศในช่วงเลขเรโนลด์ 4,000-40,000 ครีบริบที่วางเอียงมีระยะห่าง 3 เท่าของความสูง

ของช่องการไหลและวางทำมุมเอียง 45 องศาวางอยู่ด้านล่างของผนังท่อทดสอบ ตัวครีบริบมีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ $(e/H) = 0.1, 0.3$ สัดส่วนระยะพิชิตซ์ต่อความสูงท่อ $PR = 1, 2$ ผลจากค่าการทดลองแสดงในรูปของตัวเลขเลขนัสเซลท์ และตัวเลขความเสียดทานซึ่ง $(e/H) = 0.3$ ที่ $PR = 1$ มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าสัดส่วนความสูงครีบริบอื่นๆ ส่วนค่าความเสียดทานก็สูงกว่าสัดส่วนความสูงอื่นๆตามลำดับ

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการศึกษการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่สอดใส่แผ่นกั้นวางเอียงทำมุม โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงเลขเรโนลด์ 4000-23,000 โดยใช้ครีบริบเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และเป็นการประหยัดพลังงานอีกด้วย

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในเทอมของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์สในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

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

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

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

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

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

เทอม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \tilde{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและ

ทางออกตามลำดับ โดยเทอม \dot{m} , C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

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

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาได้จาก

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

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 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส์ ได้เป็น

$$\begin{aligned} (f Re^3)_0 &= (f Re^3) \\ Re_0 &= Re(f/f_0)^{1/3} \end{aligned} \quad (9)$$

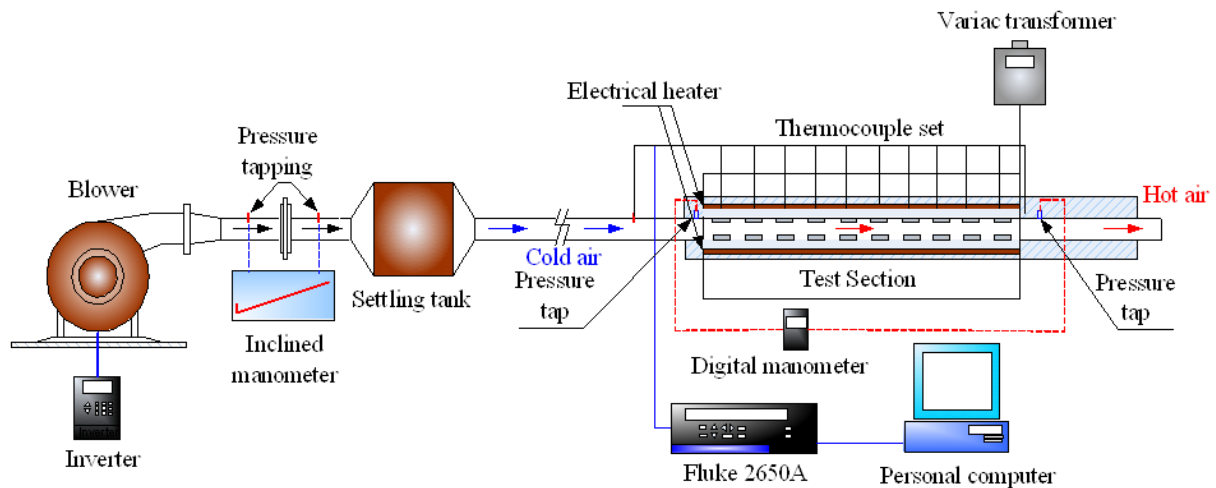
สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน จากข้อเสนอแนะของ Webb [7]

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

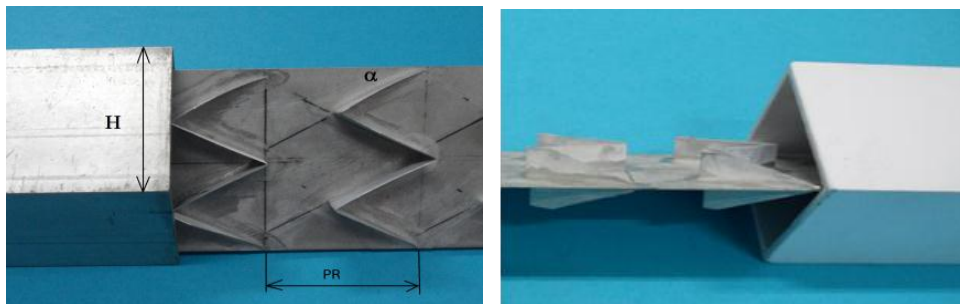
3. อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในรูปแบบที่ 1 ท่อจตุรัสมีความสูงช่องขนาน (H) = 45 มิลลิเมตร, ส่วน

ทดสอบ ยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร ตรีเบียงทำมุม มีสัดส่วนความสูงครึ่งต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.2 สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ $PR = 2$ ทำการติดตั้งครีบบนผิวล่างของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 20°, 30°, 45° ซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงในรูปแบบที่ 2 พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ, Control valve ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ, Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Inclined manometer, Settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด, ช่องขนานปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะเป็น Fully develop และไหลเข้าส่วนทดสอบ, แผ่นช่องขนานถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ ติดตั้งที่แผ่นด้านบนของช่องขนาน, เครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์ แบบปรับค่าโวลต์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโวลต์เตจที่ให้กับแผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมพลั๊กความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิว 28 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออก เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว, เครื่องวัดความดันตกคร่อม TESTO 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่ภายนอก



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

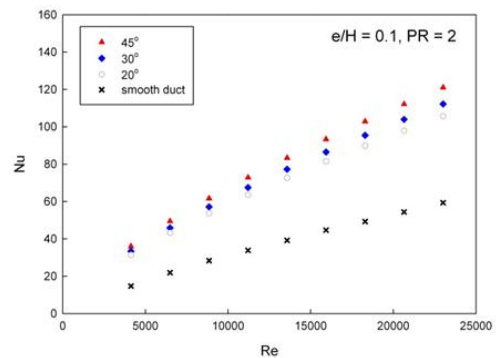


รูปที่ 2 ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีบริบตัว W

4. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของช่องขนานโดยใช้ครีบริบเอียงในท่อจตุรัส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งครีบริบเอียง ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานผนังเรียบ ช่องขนานที่มุม $= 45^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด

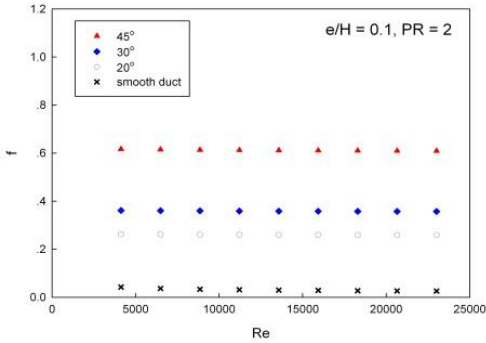


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์

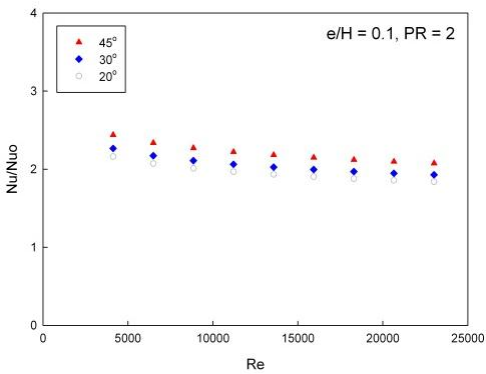
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบริบเอียงมีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อย ช่องขนานที่มุม $= 45^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดตามด้วย 30° , 20° และช่องขนานที่มีผนังเรียบตามลำดับ เนื่องมาจากการขวางการไหล (Flow Blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่า เป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (Reverse Flow)

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์

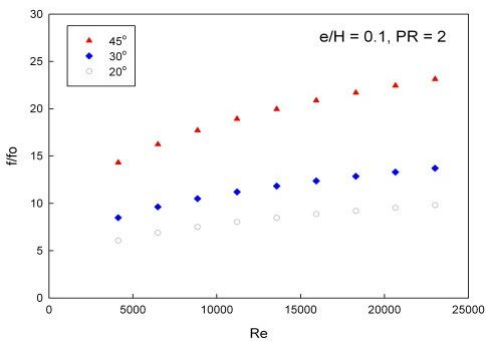
ต่อเลขนัสเซิลท์ของผนังเรียบก่อนข้างคองที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ส มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการติดตั้งครีบบที่มุม 45° ให้ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์สูงสุด ตามด้วย 30°, 20° ตามลำดับ โดยมีค่า อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 2.43, 2.26 และ 2.16 เท่า



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส



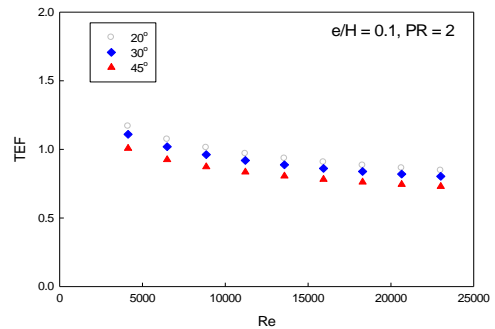
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน พบว่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน กรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบมีแนวโน้ม สูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ครีบบที่ 45° ให้ค่าอัตรา ส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย 30°, 20° ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ย

มากกว่าผนังเรียบ 23.13, 13.72 และ 9.82 เท่า ในขณะที่ ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน กับเลขเรย์โนลด์สแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่า เลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับ เดียวกัน พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมี แนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบบเอียง ที่ 20° ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่า ที่มุม 30° และ 45° ตามลำดับ โดยค่าสมรรถนะการเพิ่มการ ถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.17, 1.11 และ 1.01



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน กับเลขเรย์โนลด์ส

5.สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการ สูญเสียความดันในท่อจัตุรัส โดยใช้ครีบบติดตั้งที่ผิวบน-ล่าง ของส่วนทดสอบ มุมปะทะ $\alpha = 45^\circ, 30^\circ, 20^\circ$ โดยทดสอบ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่เลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 4000 ถึง 23,000 พบว่าการติดตั้งครีบบที่มุม 45° ให้การสูญเสียความ ดันเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง และทำให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีค่าสูงมากด้วย โดยอัตราการ การถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีแนวโน้มเกือบคงที่ เมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มสูงขึ้น และการติดตั้งครีบบที่มุม 20° ให้ สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่นอัน จะ เห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ครีบบให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการ ถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเหมาะแก่การนำไปพัฒนาต่อในอนาคต

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Benlu, Pei-Xue Jiang, (2006). Experimental and numerical investigation of convection heat

- transfer in a rectangular channel with angled ribs. *Experimental Thermal and Fluid science*, vol. 30, pp. 513-521.
- [2] Tanda, G. (2004). Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp. 229-243.
- [3] Promvong, P. and Thianpong, C. (2008). Thermal performance of turbulent channel flows over different shaped ribs, *Int Comm. Heat Mass Transfer*, vol. 35, pp. 1327-1334.
- [4] Thianpong, C. Chompookham, T. Skullong, S. and Promvong, P. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, vol. 36, pp. 712-717.
- [5] สมพล สกกุลหลง, มนต์ศักดิ์ พิมสาร และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. (2554). การเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่องขนานโดยใช้ปีกสามเหลี่ยม *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. จังหวัดชลบุรี*
- [6] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สมพล สกกุลหลง และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. (2555). การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบีเย่งทำมุม *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. จังหวัดเชียงใหม่*
- [7] Webb R. L. (1992). *Principles of Enhanced Heat Transfer*, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166-194.