

พฤติกรรมความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบางขวางตัดกัน Thermal Behavior in a Square Channel with Cross Ribs

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹, สมพล สุกุลทอง¹, อธิวัฒน์ ชมภูคำ², ภูติ ชัยดิกลพัฒน์กุล¹, จารุวัตร เจริญสุข¹ และ พงษ์เจต พรหมวงค์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 02 3298351 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

² ห้องวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

41/20 ตำบลมหาเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์: 043-754321-40 E-mail: teerapat.c@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีบบางขวางทำมุม (α) = 45° โดยมีสัดส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงท่อ $e/H = 0.1, 0.2, 0.3$ และสัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงท่อ $PR = 2$ ทำการทดลองที่สภาวะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) และความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 4000-40,000$ โดยนำผลของท่อจัตุรัสที่ติดตั้งครีบบางเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบ เพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor) จากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งครีบบางที่ $e/H = 0.3$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ตามด้วย $e/H = 0.2, 0.1$ และท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบตามลำดับ แต่ค่าตัวประกอบเสียดทานก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยครีบบางที่ $e/H = 0.3$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยครีบบางที่ $e/H = 0.2, 0.1$ และท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบตามลำดับ

คำสำคัญ: ครีบบางขวาง; เลขนัสเซลท์; ตัวประกอบเสียดทาน; ท่อจัตุรัส

Abstract

This research presents a study of heat transfer enhancement and pressure drop in a square channel heat exchanger fitted with 45° angled ribs. The rib to channel height ratio of 0.1, 0.2, 0.3 and the rib pitch to channel height ratio, $PR = 2$ are introduced in the present work. The tested channel has a constant wall heat flux condition. The experiments are carried out by varying airflow rate in terms of Reynolds number ranging from 4000 to 40,000. The experimental result of heat transfer in the form of Nusselt number and pressure drop in terms of friction factor are compared between the channel mounted with 45° angled ribs and the smooth channel. The angled rib with $e/H = 0.3$ gives higher heat transfer rate and friction factor than the one with $e/H = 0.2, 0.1$ and the smooth channel.

Keywords: cross ribs; Nusselt number; friction factor; square channel

1. บทนำ

โดยทั่วไปการพัฒนาในปัจจุบันใช้เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รูปแบบพื้นผิวแบบต่าง ๆ เพื่อเชื่อมโยงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ช่วยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยความเสียดทานมีค่าเพิ่มไม่มาก ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ (1) การลดการสร้างเงื่อนไขขอบเขตและเพิ่มระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, (2) เพิ่มพื้นผิวการถ่ายเทความร้อน และ (3) สร้างการหมุนวนและการไหลแบบชั้นที่สอง ในการออกแบบช่องทางของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีกถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เป็นผลให้ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น การใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการถ่ายเทความร้อน เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน, เพิ่มระดับความปั่นป่วน แต่ผลของรีเอสแทชเม้นต์ก็ส่งผลต่อการสูญเสียความดันด้วยเช่นกัน ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีก ยังช่วยให้เพิ่มสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนในระบบทางความร้อนแบบใหม่ โดยปีกเป็นตัวสร้างการหมุนวนและลดความเสถียรของการไหลหลัก ทำให้การสูญเสียความดันน้อยลงด้วย

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงาน ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ของครีบบาง ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานที่พื้นผิวสองด้านของส่วนทดสอบ Benlu, Pei-Xue Jiang [1] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีบบางทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางไหล โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.001-0.0018 kg/s ครีบบางพิทช์ 4 มิลลิเมตร ความสูง 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร พบว่าที่มุมครีบบาง 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากที่สุด แต่ที่มุม 20° ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด Promvongse and Thianpong [2] ทำการศึกษสมรรถนะความร้อนของครีบบางเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม ครีบบางเหลี่ยมหน้าจั่วและสี่เหลี่ยม ที่ค่า $e/H = 0.3$ และ $P/e = 6.67$ ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องทางที่มี $AR = 15$ พบว่าการจัดวางครีบบางเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดแต่ครีบบางเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด Thianpong et. al [3] ทำการศึกษสมรรถนะความร้อนของครีบบางเหลี่ยมหน้าจั่วที่ค่า $e/H = 0.13, 0.2, 0.26$ เท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากันโดยสลับค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องทางที่มี $AR = 10$ พบว่าครีบบางความสูงเท่ากันให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูงไม่เท่ากัน การจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากกว่าแบบเอียงกัน ครีบบางที่มีความสูงมากที่สุดให้

การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสูงสุด แต่ครีที่ความสูงต่ำสุดจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด และมีงานวิจัยอีกหลาย ๆ งานที่ให้ความสนใจในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยใช้ปีกแบบสามเหลี่ยม [4-7] ซึ่งปีกถูกออกแบบมาเพื่อสร้างการหมุนวนเพิ่มระดับความปั่นป่วนและเพิ่มการพาความร้อน เป็นผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนดีขึ้น และให้การสูญเสียความดันอยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก Gentry and Jacobi [4] นำเสนอการเพิ่มสมรรถนะความร้อน โดยใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบต่าง ๆ ซึ่งพบว่า สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 50-60% เมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ ใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบปีก รูปทรงเหมือนสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ติดตั้งแบบสมมาตรกับการไหล โดยมุมปะทะเป็นมุมที่วัดเทียบกับการไหลหลัก ปรับค่ามุมปะทะตั้งแต่ 25° ถึง 55° โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 40°

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำการศึกษากการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อจตุรัส ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ ในสภาวะผิวแบบปลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ครีเอียงมีค่าสัดส่วนความสูงครีต่อความสูงท่อ $e/H = 0.1, 0.2$ และ 0.3 สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ $PR = 2$ โดยทำการติดตั้งครีที่ผิวล่างของส่วนทดสอบ มุมปะทะ $\alpha = 45^\circ$ การทดลองใช้ความเร็วอากาศในระดับต่างๆ กัน โดยค่าเลขเรย์โนลด์ส Re อยู่ในช่วง 4000 ถึง 40,000 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในเทอมของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์สในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

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

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

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

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

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

เทอม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ $\tilde{T}_s$ คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้

จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยเทอม $\dot{m}$, C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าตามลำดับ
เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (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 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส ได้เป็น

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

$$Re_0 = Re(f/f_0)^{1/3} \quad (9)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน จากข้อเสนอแนะของ Webb [8]

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

3. อุปกรณ์ทดลอง

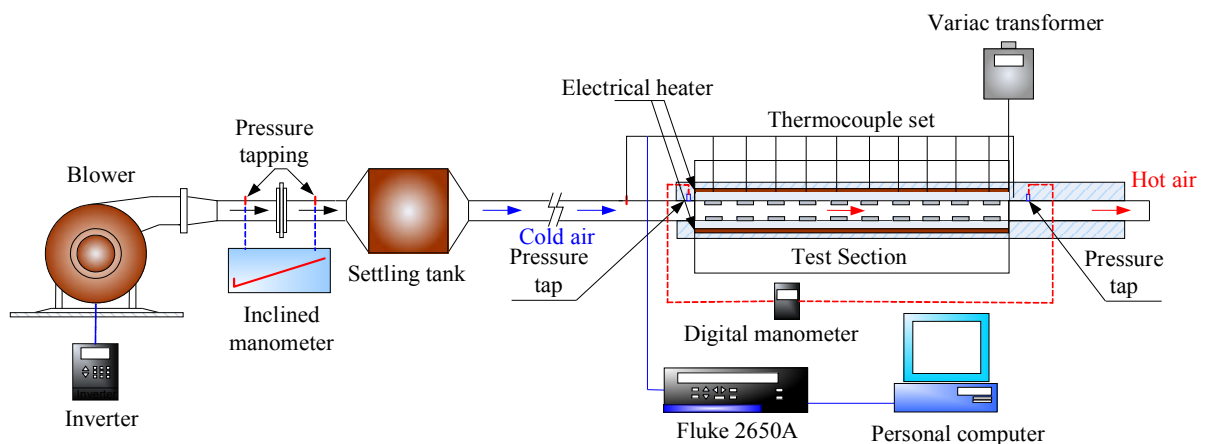
อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในภาพที่ 1 ท่อจตุรัสมีความสูงช่องขนาน (H) = 45 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร ครีเอียง มีสัดส่วนความสูงครีต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.2 และ 0.3 สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ $PR = 2$ ทำการติดตั้งครีที่ผิวล่างของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 45° ซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงในภาพที่ 2 พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ,

Control valve ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ, Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ 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 ในการควบคุมพลังความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิ 28 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออก เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว, เครื่องวัดความดันตกคร่อม TESTO 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตก

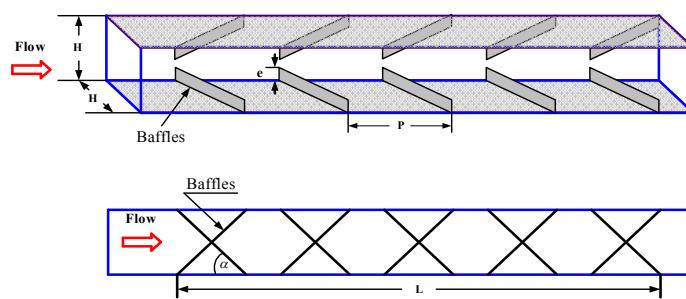
คร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

4. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง เริ่มโดยการเปิดพัดลม ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตามที่กำหนด ควบคุมความเร็วอากาศให้อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 13.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าเลขเรย์โนลด์สระหว่าง 4000 ถึง 40,000 ในแต่ละช่วงความเร็วอากาศที่ทดสอบ ก่อนทำการบันทึกค่าต้องให้อุณหภูมิผิวภายในส่วนทดสอบ และอุณหภูมิทางเข้า-ออกมีค่าคงที่ก่อน โดยอุณหภูมิผิวของส่วนทดสอบ วัดค่าทั้งหมด 28 จุด และอุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ 2 จุด ขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบด้วย



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



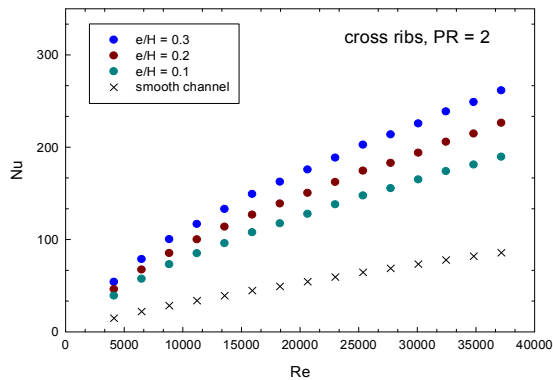
ภาพที่ 2 ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีว้างตัดกัน

5. ผลการทดลอง

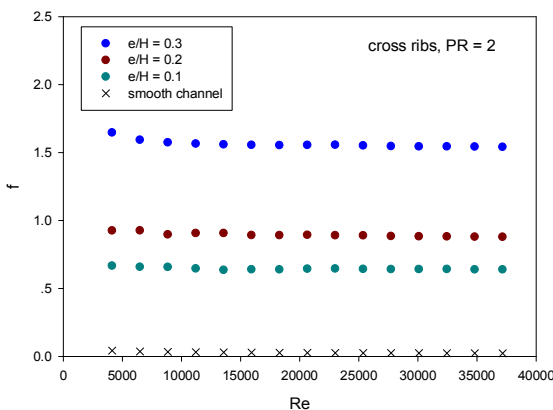
การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของช่องขนานโดยใช้ครีว้างในท่อยังดูได้ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน การติดตั้งครีว้าง ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อ

เปรียบเทียบกับช่องขนานผนังเรียบ (การทวนสอบผนังเรียบอ้างอิงจาก Thianpong et. al [3]) เนื่องจากตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีกส่งผลต่อการลดปริมาณการสร้างชั้นขอบเขตและเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหล

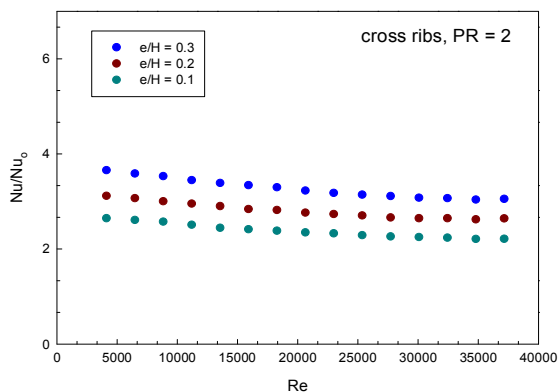


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

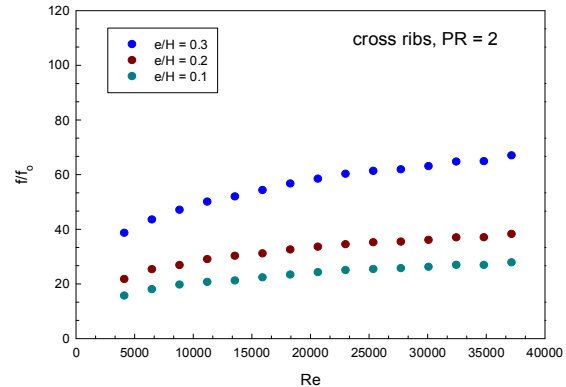


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส

ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นการติดตั้งครีบบี้อยู่มีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อย ช่องขนานที่ $e/H = 0.3$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.2$, $e/H = 0.1$ และช่องขนานที่มีผนังเรียบตามลำดับ เนื่องมาจากการขวางการไหล (Flow Blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่า เป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (Reverse Flow)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลท์ของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

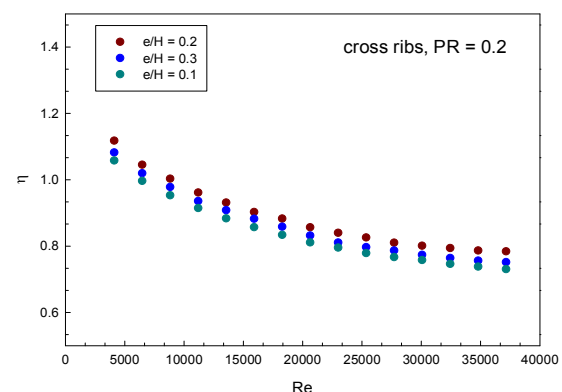


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลท์ของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ต่อเลขนัสเซลท์ของผนังเรียบค่อนข้างคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์สมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการติดตั้งครีบบี้อยู่ที่ $e/H = 0.3$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วย $e/H = 0.2$ และ $e/H = 0.1$ ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 3.27, 2.8 และ 2.37 เท่า

ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ครีบบี้อยู่ที่ $e/H = 0.2$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.3$ และ $e/H = 0.1$ ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าผนังเรียบ 56.2, 32.2 และ 23.22 เท่า

ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่ค่ากำลังขับเดียวกัน พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ที่ $e/H = 0.2$ ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่า $e/H = 0.3$ และ $e/H = 0.1$ ที่ทุกเลขเรย์โนลด์ส โดยค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.1, 1.08 และ 1.05 สำหรับครีบบี้อยู่ที่ $e/H = 0.2, 0.3, 0.1$ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อจัตุรัส โดยใช้ครีบริบเยี่ยงติดตั้งภายในส่วนทดสอบ $\alpha = 45^\circ$ และ $e/H = 0.5$ โดยทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่เลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 40,000 พบว่าการติดตั้งครีบริบเยี่ยงที่ $e/H = 0.1, 0.2, 0.3$ ให้การสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่ $e/H = 0.3$ แต่ให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีค่าสูงมากด้วย, $Nu/Nu_0 = 3.04-3.65, 2.63-3.11$ และ $2.21-2.64$ สำหรับครีบริบเยี่ยงที่ $e/H = 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีแนวโน้มเกือบคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มสูงขึ้น และต่อที่ $e/H = 0.2$ ให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่นๆ เนื่องจากเกิดการปั่นป่วนมากกว่าจึงส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า และจะเห็นว่าค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นมีค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

7. 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] 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.
- [3] 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.
- [4] Gentry, M.C. and Jacobi, A.M. (1997). Heat transfer enhancement by delta-wing vortex generators on a flat plate: vortex interactions with the boundary layer, *Experimental Thermal and Fluid science*, vol. 14, pp. 231-242.
- [5] Wu, J.M. and Tao, W.Q. (2007). Investigation on laminar convection heat transfer in fin-and-tube heat exchanger in aligned arrangement with longitudinal vortex generator from the viewpoint of field synergy principle, *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 2609-2617.
- [6] Joardar, A. and Jacobi, A.M. (2008). Heat transfer enhancement by winglet-type vortex generator arrays in compact plain-fin-and-tube heat exchangers, *Int. J. refrigeration*, vol. 31, pp. 87-97.
- [7] Chu, P., He, Y.L., Lei, Y.G., Tian, L.T. and Li, R. (2009). Three-dimensional numerical study on fin-and-oval-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 859-876.
- [8] Webb R. L. (1992). *Principles of Enhanced Heat Transfer*, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166-19.