

พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบริบ Heat Transfer Behavior in a Solar Air Heater with Ribs

สุภัทรรักษ์ สุวรรณพันธุ์¹, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง², พงษ์เจต พรหมวงค์¹ และ ณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ¹
¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
²มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000
โทรศัพท์ (662) 329-8350-1, โทรสาร (662) 329-8352
E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อจตุรัสที่ติดตั้งครีบริบมุม ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45°) โดยมีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ ($b/H = BR = 0.1$), และสัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ ($PR = 1$) ทำการทดลองที่สภาวะพลังค์ความร้อนที่ผิวคงที่ และความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรโนลด์ส์ (Re) อยู่ในช่วง 4000-23,000 โดยนำผลของท่อจตุรัสที่ติดตั้งครีบริบเปรียบเทียบกับท่อจตุรัสที่มีผนังเรียบ เพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งครีบริบมุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันสูงกว่ามุมอื่น ๆ ตามด้วยมุม 30° และ 20° ตามลำดับ
คำสำคัญ: ครีบริบ, การถ่ายเทความร้อน, ท่อจตุรัส

Abstract

This research presents a study of heat transfer enhancement and pressure loss in a square channel heat exchanger fitted with ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ and 45°) angled ribs. The rib to channel height ratio, $b/H = BR = 0.1$ and the rib pitch to channel height ratio, $PR = 1$ 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 23,000. The experimental result of heat transfer in the form of Nusselt number and pressure loss in terms of friction factor are compared between the channel mounted with $20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ angled ribs and the smooth channel. The angled rib with 45° gives higher heat transfer rate and friction factor than the one with 30° and 20° respectively.

Keywords: Rib, Heat transfer, Square channel

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รูปแบบพื้นผิวต่าง ๆ เพื่อนำความร้อนที่ได้นั้นไปใช้ประโยชน์และลดพลังงานที่นำไปใช้โดยการทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นและลดความเสียดทาน ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ (1) การลดการสร้างเงื่อนไขขอบเขตและเพิ่มระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, (2) เพิ่มพื้นผิวการถ่ายเทความร้อน และ (3) สร้างการหมุนวนและการไหลแบบชั้นที่สอง ในการออกแบบช่องทางของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ

ร้อน ตัวสร้างความปั่นป่วน (ครีบริบ) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เป็นผลให้ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กลงและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น การใช้ตัวสร้างความปั่นป่วน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการถ่ายเทความร้อน เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน, เพิ่มระดับความปั่นป่วน แต่ก็ส่งผลต่อการสูญเสียความดันด้วยเช่นกัน

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงาน ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ของครีบริบ ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทาน Lu และ Jiang [1] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีบริบเอียงทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางการไหล โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.001-0.0018 kg/s ครีบริบระยะพิชต์ 4 มิลลิเมตร ความสูง 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร พบว่าที่มุม 20° ให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดสุด Promvong และ Thianpong [2] ทำการศึกษสมรรถนะความร้อนของครีบริบสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม ครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วและสี่เหลี่ยม ที่ค่า $e/H = 0.3$ และ $P/e = 6.67$ ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องทางที่มี $AR = 15$ พบว่าการจัดวางครีบริบสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดแต่ครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด Thianpong et. al [3] ทำการศึกษสมรรถนะความร้อนของครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ค่า $e/H = 0.13, 0.2, 0.26$ เท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากันโดยสลับค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องทางที่มี $AR = 10$ พบว่าครีบริบแบบความสูงเท่ากันให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูงไม่เท่ากัน การจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากกว่าแบบเอียงกัน ครีบริบที่ความสูงมากที่สุดให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสูงสุด แต่ครีบริบที่ความสูงต่ำสุดจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด Gentry and Jacobi [4] นำเสนอการเพิ่มสมรรถนะความร้อน โดยการใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบต่าง ๆ ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 50-60% เมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ ใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบปีกรูปทรงเหมือนสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ติดตั้งแบบสมมาตรกับการไหล โดยมุมปะทะเป็นมุมที่วัดเทียบกับการไหลหลัก ปรับค่ามุมปะทะตั้งแต่ 25° ถึง 55° โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 40°

ระดับต่าง ๆ กัน โดยค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ในช่วง 4000 ถึง 23,000 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในท่อมของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ส์ในท่อมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิมิถุนกับอุณหภูมิอากาศ ($T_s - T_b$), 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 $\bar{T}_s = \sum T_s / 28 \quad (5)$

ท่อม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \bar{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิมิถุนในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยท่อม m , C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ 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 ถูกกำหนดที่อุณหภูมิมิถุนเฉลี่ย (T_b)

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนของการความร้อนเทียบกับการสูญเสียความดัน ที่กำลังขับเดียวกัน จากข้อเสนอแนะของ Webb [5]

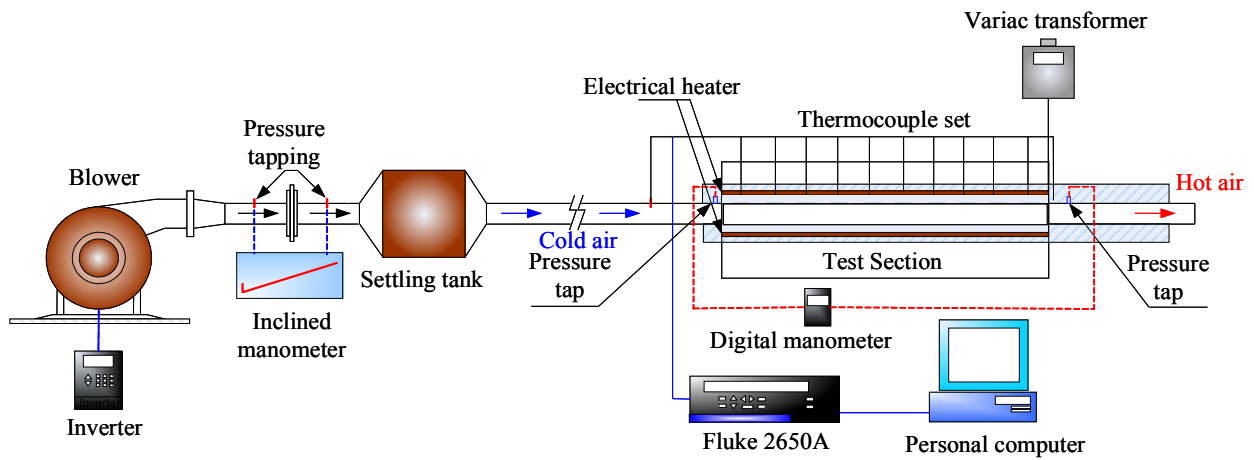
$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (8)$$

3. อุปกรณ์ทดลอง

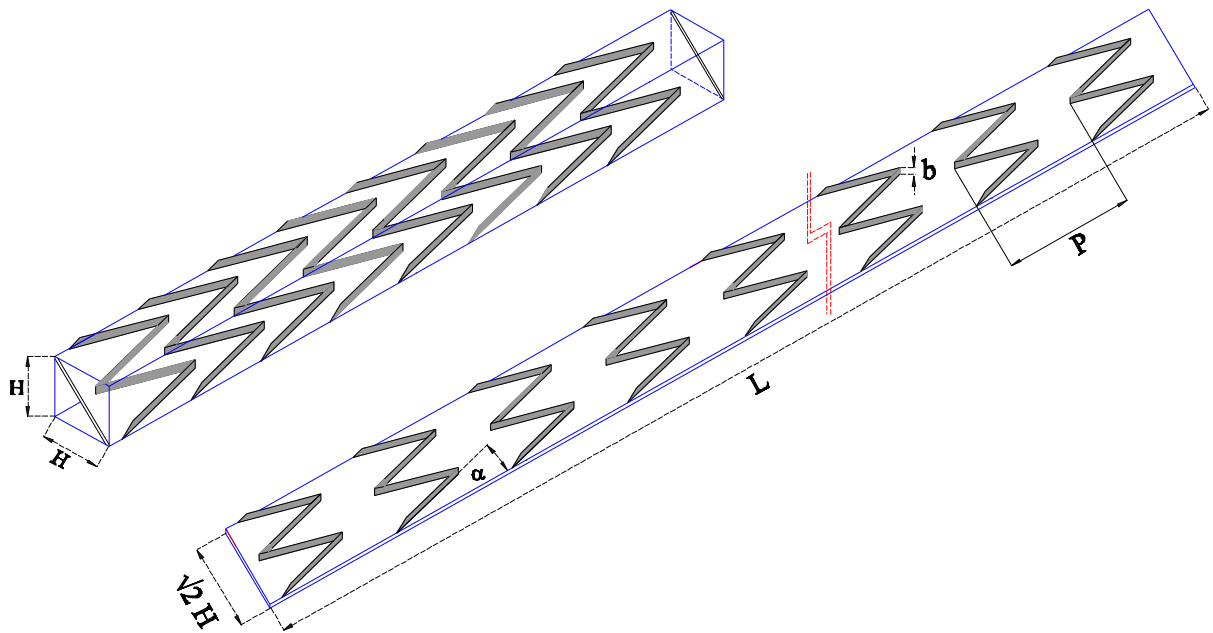
อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในภาพที่ 1 ท่อจตุรัสมีความสูงช่องขนาน (H) = 45 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร ครีบบีมีสัดส่วนความสูงครีบบีต่อความสูงท่อ ($b/H = BR = 0.1$) สัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงท่อ ($PR = 1$) ทำการติดตั้งครีบบีที่ส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 20° , 30° , 45° ซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน ดังแสดงในภาพที่ 2, 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 แบบปรับค่าโวลต์แดง TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโวลต์แดงให้กับแผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมพลังค์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิมิถุน 28 ตำแหน่ง, อุณหภูมิมิถุนทางเข้าและอุณหภูมิมิถุนทางออก เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว, เครื่องวัดความดันตกคร่อม TESTO 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

4. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง เริ่มโดยการเปิดพัดลม ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตามที่กำหนด ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4000 ถึง 23,000 ในแต่ละช่วงความเร็วอากาศที่ทดสอบ ก่อนทำการบันทึกค่าต้องให้อุณหภูมิมิถุนภายในส่วนทดสอบและอุณหภูมิมิถุนทางเข้า-ออกมีค่าคงที่ก่อน โดยอุณหภูมิมิถุนของส่วนทดสอบ วัดค่าทั้งหมด 28 จุด และอุณหภูมิมิถุนอากาศทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ 2 จุด ขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบด้วย



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



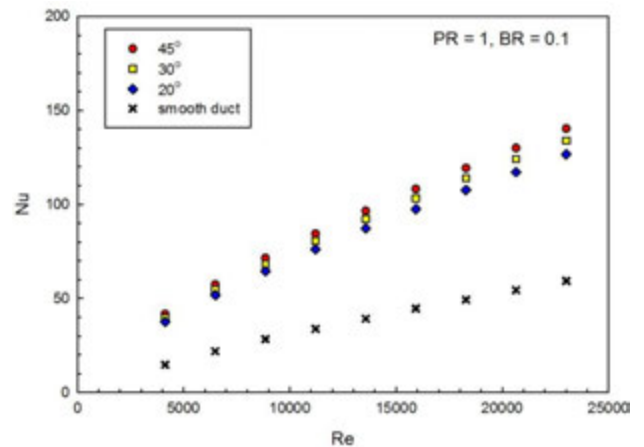
ภาพที่ 2 ชิ้นงานทดลอง

5. ผลการทดลอง

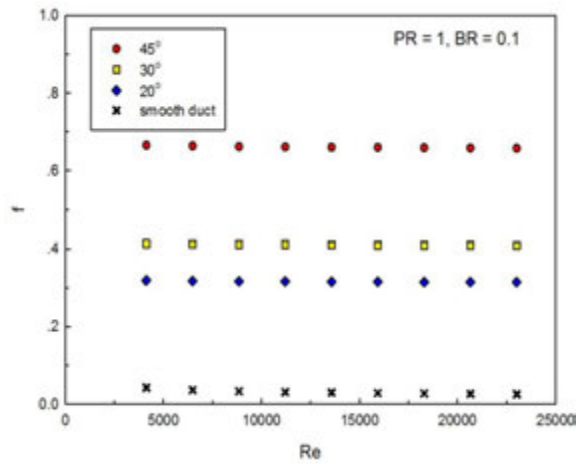
การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของช่องขนานโดยใช้ครีปในท่อจตุรัส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งครีปให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานผนังเรียบ ที่มุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เนื่องจากตัวสร้างความเป็นปั่นป่วนต่อการลดปริมาณการสร้างชั้นขอบเขตและเพิ่มระดับความเป็นปั่นป่วนของการไหล

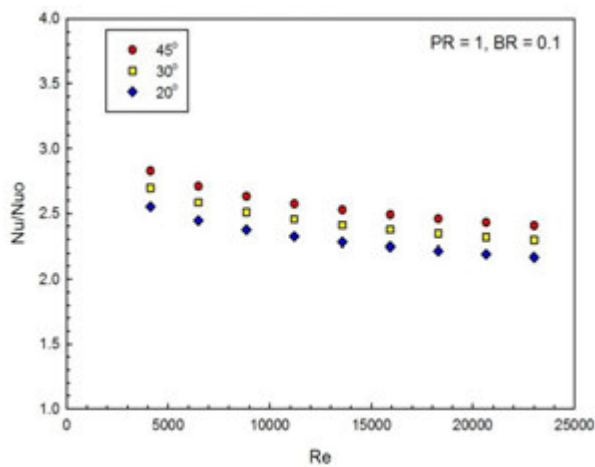
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นการติดตั้งครีปมีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อย ที่มุม 45° ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วยมุม 30° , 20° และกรณีที่มีผนังเรียบตามลำดับ เนื่องมาจากการขวางการไหล (Flow Blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่า เป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (Reverse Flow)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

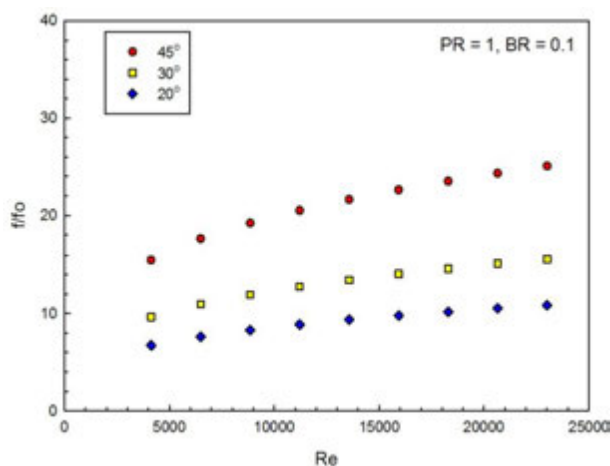


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส์



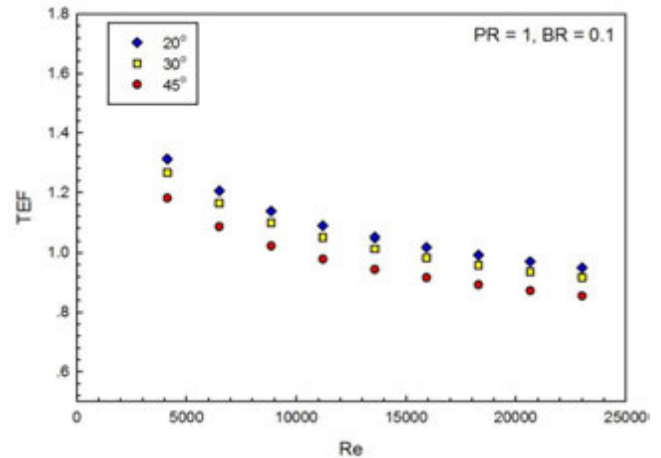
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลท์ของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส์ จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ต่อเลขนัสเซลท์ของผนังเรียบค่อนข้างคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการติดตั้งครีบทึ่มุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วยมุม 30° และ 20° ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์

ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส์ พบว่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของผนังเรียบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบทึ่มุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วยมุม 30° และ 20° ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่ค่ากำลังปั๊มขับเดียวกัน พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบทึ่มุม 20° ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่ามุม 30° และ 45° ที่ทุกเลขเรย์โนลด์ส์ โดยค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.32, 1.27 และ 1.18 ตามลำดับ

6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อจตุรัส โดยใช้ครีบทึ่มุมที่ส่วนทดสอบ มุมปะทะ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° , $b/H = BR = 0.1$ และ $PR = 1$ โดยทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่เลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 23,000 พบว่าการติดตั้งครีบทึ่มุม 20°, 30° และ 45° ให้การสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่มุม 45° ให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันมากกว่ากรณีอื่น ๆ และการติดตั้งครีบทึ่มุม 20° ให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ครีบทึ่มุมให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบ โดยพบค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

7. การอ้างอิง

- [1] Lu, B. and Jiang, P.X. (2005). “Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs.” *Exp. Thermal 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] Webb R. L. (1992). Principles of Enhanced Heat Transfer, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166-194